

TECNOLOGÍA Y DESARROLLO SUSTENTABLE: AVANCES EN EL APROVECHAMIENTO DE RECURSOS AGROINDUSTRIALES

Ma. Guadalupe Bustos Vázquez
José Alfredo del Ángel del Ángel



La GENERACIÓN del
CONOCIMIENTO
con VALORES

Tecnología y desarrollo sustentable: avances en el aprovechamiento de recursos agroindustriales

Ma. Guadalupe Bustos Vázquez
José Alfredo del Ángel del Ángel

**Tecnología y desarrollo sustentable:
avances en el aprovechamiento
de recursos agroindustriales**

Ma. Guadalupe Bustos Vázquez
José Alfredo del Ángel del Ángel



C.P. Enrique C. Etienne Pérez del Río
Presidente

Dr. José Luis Pariente Fragoso
VICEPRESIDENTE

Dr. Héctor Cappello García
Secretario Técnico

C.P. Guillermo Mendoza Cavazos
Vocal

Dr. Marco Aurelio Navarro Leal
Vocal

Mtro. Luis Alonso Sánchez Fernández
Vocal

Mtro. José David Vallejo Manzur
Vocal

CONSEJO EDITORIAL DE PUBLICACIONES UAT

Dra. Lourdes Arizpe Slogher, Universidad Nacional Autónoma de México • Dr. Amalio Blanco, Universidad Autónoma de Madrid, España • Dra. Rosalba Casas Guerrero, Universidad Nacional Autónoma de México • Dr. Francisco Díaz Bretones, Universidad de Granada, España • Dr. Rolando Díaz Loving, Universidad Nacional Autónoma de México • Dr. Manuel Fernández Ríos, Universidad Autónoma de Madrid, España • Dr. Manuel Fernández Navarro, Universidad Autónoma Metropolitana México • Dra. Juana Juárez Romero, Universidad Autónoma Metropolitana México • Dr. Manuel Marín Sánchez, Universidad de Sevilla, España • Dr. Cervando Martínez, University of Texas at San Antonio, EUA • Dr. Darío Páez, Universidad del País Vasco, España • Dra. María Cristina Puga Espinosa, Universidad Nacional Autónoma de México • Dr. Luis Arturo Rivas Tovar, Instituto Politécnico Nacional México • Dr. Aroldo Rodríguez, University of California at Fresno, EUA • Dr. José Manuel Valenzuela Arce, Colegio de la Frontera Norte México • Dra. Margarita Velázquez Gutiérrez, Universidad Nacional Autónoma de México • Dr. José Manuel Sabucedo Cameselle, Universidad de Santiago de Compostela, España • Dr. Alessandro Soares da Silva, Universidad de São Paulo, Brasil • Dr. Alexandre Dorna, Universidad de CAEN, Francia • Dr. Ismael Vidales Delgado, Universidad Regiomontana, México • Dr. José Francisco Zúñiga García, Universidad de Granada, España • Dr. Bernardo Jiménez, Universidad de Guadalajara, México • Dr. Juan Enrique Marcano Medina, Universidad de Puerto Rico-Humacao • Dra. Úrsula Oswald, Universidad Nacional Autónoma de México • Arq. Carlos Mario Yory, Universidad Nacional de Colombia • Arq. Walter Debenedetti, Universidad de Patrimonio Colonia, Uruguay • Dr. Andrés Piqueras, Universitat Jaume I. Valencia, España • Dr. Yolanda Troyano Rodríguez, Universidad de Sevilla, España • Dra. María Lucero Guzmán Jiménez, Universidad Nacional Autónoma de México • Dra. Patricia González Aldea, Universidad Carlos III de Madrid, España • Dr. Marcelo Urra, Revista Latinoamericana de Psicología Social • Dr. Rubén Ardila, Universidad Nacional de Colombia • Dr. Jorge Gissi, Pontificia Universidad Católica de Chile • Dr. Julio F. Villegas, Universidad Diego Portales, Chile • Ángel Bonifaz Ezeta, Universidad Nacional Autónoma de México.

Tecnología y desarrollo sustentable: avances en el aprovechamiento de recursos agroindustriales

Ma. Guadalupe Bustos Vázquez
José Alfredo del Ángel del Ángel

Primera edición, 2017

Tecnología y desarrollo sustentable / Abigail Reyes Munguía ... [et al.] ; María Guadalupe Bustos Vázquez, José Alfredo del Ángel del Ángel coord. .— Ciudad de México: Colofón ; Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2017

406 p. ; 21.5 x 27.9 cm

I. Tecnología – Desarrollo económico 2. Desarrollo sustentable
I. Reyes Munguía, Abigail, coaut. II. Bustos Vázquez, María Guadalupe, coord.
III. Ángel del Ángel, del, José Alfredo, coord.

LC: HC59.E5 T42 Dewey: 330.9 T42

D. R. © 2017, Universidad Autónoma de Tamaulipas
Matamoros, s.n, Zona Centro, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. C.P. 87000

Consejo de Publicaciones UAT

Tel. (52) 834 3181-800 • extensión: 2948 • www.uat.edu.mx

Diseño de portada: Inventor Studio



Fomento Editorial Una edición del Departamento de Fomento Editorial de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

Edificio Administrativo, planta baja, CU Victoria
Ciudad Victoria, Tamaulipas, México
Libro aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT

Unidad Académica Multidisciplinaria Mante

Boulevard Enrique Cárdenas González 1201 pte.

Col. Jardín, Cd. Mante, Tamaulipas

C.P. 89840. México

Colofón S.A. de C.V.

Franz Hals 130,

Col. Alfonso XIII,

Delegación Álvaro Obregón, C.P. 01460

Ciudad de México, 2017.

www.paraleer.com • Contacto: colofonedicionesacademicas@gmail.com

ISBN: 978-607-8513-40-6

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra incluido el diseño tipográfico y de portada, sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento por escrito del Consejo de Publicaciones UAT.

Impreso en México • *Printed in Mexico*

El tiraje consta de 1,000 ejemplares

Este libro fue dictaminado y aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT mediante un especialista en la materia. Asimismo fue recibida por el Comité Interno de Selección de Obras de Colofón Ediciones Académicas para su valoración en la sesión del primer semestre de 2016, se sometió al sistema de dictaminación a “doble ciego” por especialistas en la materia, el resultado de ambos dictámenes fueron positivos.

Índice de contenido

Presentación

Ambiente:

Calidad y uso de agua en la industria agroalimentaria: de su extracción al reúso 13

Fabián Fernández-Luqueño, Angelina González-Rosas, Juan Marcelo Miranda-Gómez, Fernando López-Valdez 25

Uso de lodos residuales para el sector agroindustrial: tratamiento, reúso y valor para un futuro sustentable 37
Fernando López-Valdez, Fabián Fernández-Luqueño, Minerva Rosas-Morales, Ada María Ríos-Cortés

Minimización de residuos agroindustriales: formulación de adsorbentes ecológicos atrapados en esferas de alginato para el tratamiento de aguas residuales de origen vitivinícola
Vecino X., Pérez-Ameneiro M., Cruz J. M., Moldes A.B.

Desarrollo sustentable:

Avances en la producción sustentable de alimento animal a partir de residuos fibrosos de la agroindustria azucarera en México 47
Diana Isis Llanes Gil López, Jorge Aurelio Lois Correa, María Elena Sánchez Pardo, Gabriela Magdalena Ortega Mulia

Potencial de los fertilizantes biológicos fermentados para la producción sustentable de hortalizas en el sur de Tamaulipas 57
Hermilo Lucio Castillo, Epifanio Mireles Rodríguez, Sergio Castro Nava, Rolando Ávila Ayala y Joel Ávila Valdez

Inocuidad y calidad en la industria alimentaria 65
Nubia R. Rodríguez Durán, Ofelia Bustos Vázquez, Alfredo del Ángel, Nadia A. Rodríguez Durán y Ma. Guadalupe Bustos Vázquez

Germinación y aptitud agronómica de cuatro ecotipos de chile piquín (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) en el sur de Tamaulipas 75
Epifanio Mireles-Rodríguez, Norma Leticia Moctezuma-Balderas, Sergio Castro-Nava, Rolando Salazar-Hernández, Hermilo Lucio-Castillo y Clarisa Pérez Jasso

Virus y Geminivirus transmitidos por el Biotipo B de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), análisis de la situación actual 87
Epifanio Mireles-Rodríguez, Sergio Castro-Nava, Rolando Salazar-Hernández, Hermilo Lucio-Castillo y Clarisa Pérez Jasso

Desarrollo sostenible de alimento para engorda de ganado bovino a partir de *Pennisetum sp* (Maralfalfa) 101
Gabriela Magdalena Ortega Mulia, Jorge Aurelio Lois Correa, José Luis Horak Loya, Diana Isis Llanes Gil López

Factores presionantes sobre la sostenibilidad en la agroindustria de azúcar de caña en México 109
Jorge A. Lois Correa, Diana I. Llanes Gil López, María E. Sánchez Pardo, Vanessa N. Orta Guzmán

Pulpa fresca de cítricos: una alternativa para la alimentación de rumiantes	121
<i>Juan Carlos Martínez González, Benigna Faustino Lázaro, Froylán Andrés Lucero Magaña y Sonia Patricia Castillo Rodríguez</i>	
Uso potencial, factibilidad, perspectivas y ventajas de los biofertilizantes en la agricultura	133
<i>M. A. García-Delgado; A.M. García-Zúñiga; H. Mata-Vázquez; J.E. Cervantes-Martínez</i>	
Tecnologías de transformación de frijol bajo un enfoque sustentable: Comunidad indígena, Xiliapa, SLP.	147
<i>Karina Ramírez Sedeño, Oscar Manuel Portilla, Carmen del Pilar Suárez Rodríguez, Maribel Ovando Martínez, Vicente Espinosa Solís</i>	
Aprovechamiento de cogollo de caña de azúcar en la alimentación de ganado bovino de engorde	165
<i>Vanessa Natalie Orta Guzmán, Jorge Aurelio Lois Correa, Elvia Margarita Romero Treviño</i>	
Alternativas de uso de los subproductos y residuos de la agroindustria	173
<i>Nadia A. Rodríguez Durán, Ma. Guadalupe Bustos Vázquez, Alfredo del Ángel del Ángel, Nubia R. Rodríguez Durán y Plácido D. Hernández M.</i>	
Energía:	
Influencia de la composición y arreglo de los electrodos en el proceso de formación de biopelículas en celdas de combustible microbiano	183
<i>Arturo Salinas Martínez, Liliana Reynoso Cuevas y Miguel Ángel López Zavala</i>	
Adaptación de genotipos no tóxicos de <i>Jatropha curcas</i> L. La planta del biodiesel, en municipios del Centro y Sur de Tamaulipas, México	193
<i>M. A. García-Delgado; M. L. Martínez-Saldívar; J.E. Cervantes-Martínez; H. Mata-Vázquez</i>	
Biorrefinerías, una alternativa para la sustentabilidad	
<i>Benigno Ortiz-Muñiz, Jorge Arturo Mendoza-Sosa, Javier Gómez-Rodríguez, María Guadalupe Aguilar-Uscanga</i>	
Eficiencia energética en el sector agroindustrial	207
<i>Angelina González-Rosas, Juan Marcelo Miranda-Gómez, Fabián Fernández-Luqueño</i>	
Nueva tecnología de producción de etanol 2G a partir de hidrolizado de bagazo de caña de azúcar	215
<i>Dussán K.J.; Silva D.D.V.; Brumano L.P.; Silva S.S.</i>	
Obtención de bioetanol a partir de jugo de sorgo dulce (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench)	229
<i>Benigno Ortiz-Muñiz, Javier Gómez-Rodríguez, Noé Montes-García y María Guadalupe Aguilar-Uscanga</i>	
Desarrollo tecnológico:	
Obtención de moléculas bioactivas a partir de la cáscara de café	251
<i>Thamires de Fátima Andrade Duro, Juan Daniel Rivaldi, Boutros Sarrouh</i>	
Biotecnologías en la mejora genética en animales de interés agropecuario en México	265

<i>Adelfa del Carmen García Contreras, Camelia Alejandra Herrera Corredor, Óscar Manuel Portilla Rivera, María Dolores Saavedra Leos</i>	
Evaluación del aislamiento de hongos filamentosos de interés biotecnológico a partir de la cáscara de café	271
<i>Thamires de Fátima Andrade Durso, Boutros Sarrouh</i>	
Cultivo <i>in vitro</i> , estudios fitoquímicos y actividad biológica de pitayas y pitahayas en el Laboratorio de Micropropagación de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL	281
<i>Ma. Eufemia Morales Rubio, Ruth Amelia Garza Padrón, Ramón G. Rodríguez Garza, Jaime Fco. Treviño Neávez</i>	
Bionanotecnología para la producción de alimentos: Retos y Perspectivas	293
<i>Fabián Fernández-Luqueño, Fernando López-Valdez, Angelina González-Rosas, Juan Marcelo Miranda-Gómez</i>	
Aplicación de la fermentación en estado sólido para el tratamiento de residuos agroindustriales	307
<i>Guillermo Arzate-Martínez</i>	
Producción biotecnológica de aditivos alimentarios	321
<i>Guadalupe C. Rodríguez Castillejos, Octelina Castillo Ruíz, Adriana L. Perales Torres</i>	
Aprovechamiento del bagazo de sorgo dulce (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench) para la obtención de productos de interés industrial	329
<i>María Guadalupe Aguilar-Uscanga, Benigno Ortiz-Muñiz, Javier Gómez-Rodríguez y Noé Montes-García</i>	339
Aprovechamiento biotecnológico de la cáscara de naranja	
<i>María Luisa Carrillo, Abigail Reyes, José Manuel Domínguez, Óscar Manuel Portilla Rivera</i>	
Potencial de bacterias ácido lácticas como método de biocontrol contra microorganismos patógenos	349
<i>Francisco Javier Yépez Ramírez, Lorenzo Jarquín Enríquez, Gabriela Medina Ramos, María Dolores Saavedra Leos, Óscar Manuel Portilla Rivera</i>	
Levaduras productoras de etanol: Aislamiento, selección y evaluación	359
<i>Adrián González Leos, José Alfredo del Ángel, José Luis González, C. Plácido D. Hernández M. y Ma. Guadalupe Bustos V</i>	
La biotecnología y las tecnologías limpias	369
<i>José Alfredo del Ángel del Ángel, Nubia R. Rodríguez D., Ma. Guadalupe Bustos V y Nadia A. Rodríguez D.</i>	
Posibilidades de los biosurfactantes como ingredientes en formulaciones cosméticas	377
<i>Xanel Vecino, Ana Belén Moldes, L.R Rodríguez</i>	
Nuevas posibilidades para los licores de lavado de maíz: fuente de biosurfactantes	387
<i>Xanel Vecino, María Pérez-Ameneiro, José Manuel Cruz, Ana Belén Moldes</i>	
El agave tequilero: una perspectiva de aprovechamiento biotecnológico	395
<i>Ma. Guadalupe Bustos Vázquez, Nadia A. Rodríguez Durán, Alfredo del Ángel del Ángel, Nubia R. Rodríguez Durán y José Luis González Castillo</i>	

Presentación

La situación mundial en estos días se caracteriza por un incremento de la población, por la contaminación y el agotamiento de recursos naturales y materias primas. El aprovechamiento de productos y subproductos o residuos generados durante el proceso de la industrialización de algunos recursos agrícolas, constituye una fuente atractiva y útil para obtener otros productos de elevado valor comercial.

Es necesario integrar esfuerzos de los grupos que trabajan en los diferentes campos de la ciencia, la tecnología y la innovación; reunir las herramientas necesarias para la transformación de las estructuras productivas, la explotación racional de los recursos naturales, el cuidado de la salud, la alimentación, la educación y otros requerimientos sociales.

El conocimiento científico y las innovaciones tecnológicas son herramientas de las sociedades contemporáneas; elementos indispensables para impulsar el desarrollo económico y social, mediante el fortalecimiento institucional, la formación de investigadores y tecnólogos, la creación de instrumentos de vinculación y la difusión de los avances científicos y tecnológicos entre la ciudadanía. El Cuerpo Académico “Ciencia y Tecnología Agroalimentaria” de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, participa y propone a través de esta obra, difundir los avances científicos y tecnológicos que se han generado por los diferentes grupos de trabajo nacionales e internacionales, así como establecer redes de colaboración entre los participantes de las diferentes áreas del conocimiento.

Guadalupe Bustos Vázquez

Calidad y uso de agua en la industria agroalimentaria: de su extracción al reúso

Quality and use of water in the agro-food industry: from extraction to reuse

*Fabián Fernández-Luqueño¹
Juan Marcelo Miranda-Gómez²
Angelina González-Rosas
Fernando López-Valdez³

Resumen

¹*Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav, Unidad Saltillo). Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25900, Coahuila, México. Teléfono: +52 844 4389625. *Contacto: cinves.cp.cha.luqueno@gmail.com*

²*Universidad Tecnológica de Tulancingo. Área Electromecánica Industrial. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México*

³*Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, México*

El agua es un recurso natural esencial, que desempeña un papel vital como materia prima en muchas actividades económicas favoreciendo la calidad de la vida y la salud ambiental. El agua es también una mercancía que tiene un valor económico en todos sus usos competitivos. Cada día es más difícil extraer agua de calidad, por lo que antes de que ésta ingrese a un proceso de producción, es necesario realizar algunos análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Se analizaron las aguas de 75 pozos, en el estado de Coahuila, México; se determinó que el agua analizada es de calidad, sin embargo, se encontró que algunas variables están por arriba de los límites máximos permisibles. En diversos pozos se encontró la presencia de elementos, compuestos químicos y microorganismos patógenos. A pesar de que esa agua puede tratarse y reusarse, este manejo implica un costo económico y tiempo. Como parte de las tecnologías para tratar agua, las nanotecnologías, a través del uso de nanopartículas y nanodispositivos ofrecen alternativas para mitigar los problemas de calidad, disponibilidad y reúso de agua. No obstante, se deben tomar consideraciones ambientales para fortalecer un desarrollo sustentable.

Abstract

Water is an essential natural resource, which plays a vital role as input into many economic activities adding to the quality of human life and supporting the environmental health. Additionally, water is also a commodity which has an economic value in all its competing uses. Analyses performed at 75 water's wells from Coahuila, Mexico were used to determine that the analyzed water is of good quality; however, there are some water characteristics above the guideline values. Thus, water from several wells has the presence of elements, chemical compounds and pathogenic microorganisms. However, although this water could be treated and reused, this operation implies an economic cost and time. As part of technologies for treating water, nanotechnology, through the use of nanoparticles and nanodevices offer alternatives to mitigate the problems of quality, availability and reuse of water. However, environmental considerations must be made to strengthen sustainable development.

Introducción

Los recursos hídricos y cuerpos de agua han sido afectados alrededor del mundo por la actividad humana durante los últimos años, por lo que los seres humanos y sus actividades económicas enfrentan la escasez de agua de calidad (Fernández-Luqueño et al., 2013). En general, el agua de nuestro planeta podría estar contaminada por elementos, compuestos u organismos. Los metales pesados son ejemplo de los elementos que podrían contaminar el agua, mientras que algunos ejemplos de compuestos orgánicos o minerales son los hidrocarburos, pesticidas, disolventes y/o detergentes. *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Escherichia*, *Shigella* y *Entamoeba* son algunos géneros de patógenos que se encuentran con frecuencia en el agua. Para regular la calidad de agua la organización mundial de la salud y muchos gobiernos a nivel mundial, entre ellos México, han definido los límites máximos permisibles para una amplia diversidad de elementos, compuestos y patógenos. Alrededor del mundo hay millones de personas con envenenamiento crónico causado por beber agua contaminada y 1.6 millones de niños mueren cada año por enfermedades relacionadas con la calidad del agua (Fernández-Luqueño et al., 2013). En todo el planeta se tienen 1 400 millones de km³ de agua, de los cuales, el 2.5% corresponden a agua dulce, *i.e.*, la concentración de sales es < 0.1%. Por desgracia, buena parte de esos 35 millones de km³ de agua dulce, correspondientes al 2.5% de total, está contaminada o al menos un parámetro supera su límite máximo permisible.

México es un importador neto de agua virtual. El agua virtual es la cantidad de agua utilizada durante procesos de producción, empaque o transporte de un bien o servicio; se dice que es virtual porque no está presente en los productos finales. Además, México tiene una huella hídrica per cápita de 1 500 a 2 000 m³ hab.⁻¹ por año⁻¹, *i.e.* para producir los bienes y servicios que cada persona necesita durante un año, se requieren entre 1 500 y 2 000 m³ de agua. El agua que demanda el sector agrícola e industrial crece desproporcionada respecto al número de habitantes del planeta (7 322 millones, en 2015), debido a que las personas se han inclinado a consumir, sin saber, una gran cantidad de productos que requieren grandes volúmenes de agua para producirse como el procesamiento de cárnicos o prendas de algodón (Wilderer, 2011). A pesar de que la demanda de agua se incrementa en todo el mundo, la capacidad de extracción y distribución se ha mantenido constante o incluso, ha disminuido. Como efecto de la contaminación de suelo y agua, la sobre extracción y los efectos causados por el cambio climático, los municipios, el sector industrial, la agricultura y la agroindustria sufren desabasto de agua a nivel mundial (Beniston et al., 2014). Es importante indicar y reconocer que el manejo del recurso del agua es politizado (Schlager y Bauer, 2011). Uno de los debates presentes es el relacionado con los posibles impactos en la salud al incrementarse el acceso y la cantidad de agua distribuida versus mejorar la calidad de agua (Ahuja et al., 2011) y que el uso de agua subterránea ha subido de 0.1 a 1 000 km³ por año en el periodo de 1950 al 2015 (Lopez-Gunn et al, 2011; NGWA, 2015). En nuestros días, en muchas ciudades del mundo, o incluso en áreas rurales, la extracción de agua subterránea supera la recarga natural del acuífero. El objetivo de este capítulo es presentar y discutir algunos aspectos relacionados con la calidad y

disponibilidad de agua en la industria agroalimentaria para optimizar su uso, reducir la sobre extracción y promover su reúso para fortalecer el desarrollo sustentable en México.

Estándares de calidad de agua

Muchos contaminantes de agua como pesticidas, disolventes para limpieza y detergentes son sustancias que pueden ser identificadas en el agua como efecto de la actividad antropogénica. También nutrientes y sedimentos son encontrados en el agua, debido a procesos naturales y pueden representar un problema bajo ciertas circunstancias. (Tabla 1)

Tabla 1. Principales sustancias que contaminan el agua.

Fuente	Implicaciones	Referencia
Elementos traza	Tóxicos para los seres humanos y la vida acuática	Muñoz et al. (2015)
Metales pesados	Tóxicos para los seres humanos y la vida acuática	Khan et al. (2015)
Metales atrapados a compuestos orgánicos	Transporte de metales	Mahmoud et al. (2010)
Radio nucleótidos	Tóxicos	Nair et al. (2014)
Contaminantes inorgánicos	Tóxicos y cancerígenos	Kümmerer (2011)
Nanopartículas	Riesgo ambiental	Kümmerer (2011)
Asbestos	Cancerígenos	Dieter (2011)
Nutrientes	Eutrofización	Kümmerer (2011)
Acidez, alcalinidad o salinidad (en excesos)	Afectan la calidad del agua, la vida acuática y requieren tratamiento previo a su uso	Dieter (2011)
Bifenilos policlorados	Efectos biológicos	Mahmoud et al. (2010)
Pesticidas	Tóxicos para organismos acuáticos y vida silvestre	Kümmerer (2011)
Residuos de petróleo	Efecto sobre la vida silvestre y estética	Dieter (2011)
Aguas residuales y excrementos de humanos y animales	Alteran la calidad del agua, particularmente los niveles de oxígeno	Petney & Taraschewski (2011)
Patógenos	Salud humana	Thiele et al. (2011)
Detergentes	Eutrofización y vida silvestre	Dieter (2011)
Químicos carcinógenos	Incidencia de cáncer	Dieter (2011)
Sedimentos	Calidad de agua y vida silvestre	Kümmerer (2011)

(Elaboración propia)

Es decir, la mera presencia de un compuesto, elemento u organismos no representa necesariamente un problema, más bien, es la concentración del contaminante lo que debe preocupar (Tabla 2).

Elementos	Organización Mundial de Salud ^π	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América [‡]	Norma Oficial Mexicana [€]
Antimonio	20	6	NC
Arsénico	10	10	25
Cadmio	3	5	5
Cromo	50	100	50
Cobre	2000	1300	2000
Hierro	NC [¥]	300	300
Plomo	10	15	10
Manganeso	100	50	150
Mercurio	6	2	1
Níquel	70	NC	NC
Plata	NC	100	NC
Talio	NC	2	NC
Uranio	30	30	NC
Zinc	NC	500	5000

Tabla 2. Límites máximos permisibles de algunos elementos, publicados por la Organización Mundial de la Salud, la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos de América y la Norma Oficial Mexicana (elaboración propia).

[¥]No considerado. La norma no presenta límites máximos permisibles para estas variables.

^π Organización Mundial de la Salud (WHO, 2011).

[‡] Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA, 2011).

[€] Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1994).

En años recientes surgieron diversas tecnologías para caracterizar la calidad de agua en solo una muy pequeña proporción de los cientos de km³ año⁻¹ que son extraídos de los mantos acuíferos como muestra la Tabla 3.

Existen diversas técnicas analíticas para el análisis de metales y metaloides (entre otros parámetros) en agua: *i*) Espectrometría de absorción atómica por horno de grafito (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry, GFAAS), también conocido como espectrometría de absorción atómica electrotérmica (Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry, ETAAS), *ii*) Espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros (Hydride-Generation Atomic Absorption Spectrometry HG-AAS), *iii*) Espectrometría de fluorescencia atómica por generación de hidruros (Hydride-Generation Atomic Fluorescence Spectrometry, HG-AFS), *iv*) Análisis de iones por inyección de flujo (Flow Injection Analysis, FIA), *v*) Espectroscopia de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy, ICP-AES), *vi*) Análisis mediante activación neutrónica (Instrumental Neutron Activation Analysis, INAA), *vii*) Espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, ICP-MS), *viii*) Cromatografía de gases (Gas Chromatography, GC), *ix*) Cromatografía de líquidos de alta resolución (High-Performance Liquid Chromatography, HPLC), *x*) Cromatografía iónica (IC) y *xi*) Voltamperometría (Voltamperometry).

Tabla 3. Países con la mayor extracción de agua subterránea en el año 2010 (datos más recientes).

País	Población en el 2010 / millones	Extracción de agua subterránea			
		Cantidad / km ³ año ⁻¹	Desglose por sector		
			Para irrigación / %	Para uso doméstico / %	Para la industria / %
India	1224.6	251.0	89	9	2
China	1341.3	111.9	54	20	26
Estados Unidos	310.4	111.7	71	23	6
Pakistán	173.6	64.8	94	6	0
Irán	74.0	63.4	87	11	2
Bangladesh	148.7	30.2	86	13	1
México	113.4	29.4	72	22	6
Arabia Saudita	27.4	24.2	92	5	3
Indonesia	239.8	14.9	2	93	5
Turquía	72.7	13.2	60	32	8
Rusia	142.9	11.6	3	79	18
Siria	20.4	11.3	90	5	5
Japón	126.5	10.9	23	29	48
Tailandia	69.1	10.7	14	60	26
Italia	60.5	10.4	67	23	10

Fuente: NGWA, 2015

Muchas de las técnicas indicadas arriba requieren de costosos equipos que van de 2 a 10 millones de pesos, por lo que en México la disponibilidad es escasa. Sin embargo, es importante señalar que aun cuando se podría tener acceso a esos equipos, no garantizan resultados confiables y representativos de ciertas zonas (desviaciones a la ley de Lambert-Beer-Bouguer), si se emplean técnicas de muestreo inadecuadas, si no se siguen los protocolos para conservación de muestras, si no se estandarizan las metodologías de análisis, si no se calibran y ajustan los equipos o no se emplean soluciones patrón.

Análisis de agua de 75 pozos del sureste de Coahuila, México

Se muestrearon y analizaron parámetros fisicoquímicos y biológicos de 75 pozos de la región integrada por los municipios de Ramos Arizpe, Arteaga y Saltillo, Coahuila (Figura 1). Los muestreos se realizaron durante dos periodos (octubre 2011 y mayo 2012). Los procedimientos de muestreo, los análisis fisicoquímicos y de biología molecular se realizaron con base en lo reportado por Navarro-Noya et al. (2013; Figura 2).

Con base en los resultados de los laboratorios y considerando el Canadian Water Quality Index, se puede concluir que el agua potable que se suministra a los usuarios de los municipios de Ramos Arizpe, Arteaga y Saltillo, Coahuila, es de buena o excelente calidad. Es de relevancia considerar

que se encontraron algunos elementos, compuestos o microorganismos en concentraciones superiores a las permitidas en las legislaciones mexicanas e internacionales. También se encontró que la concentración de contaminantes varía con respecto al tiempo. Es prudente especificar que a pesar de que el agua puede clasificarse como de buena y excelente calidad, es necesario dar seguimiento continuo a la calidad del agua potable en los municipios antes indicados, porque hay elementos, compuestos o microorganismos (Tabla 4) que por sus altas concentraciones ponen en riesgo la salud de los usuarios, por ejemplo, hierro, sodio, manganeso, plomo, cloruros, coliformes totales, coliformes fecales, nitratos, nitritos y sulfatos.

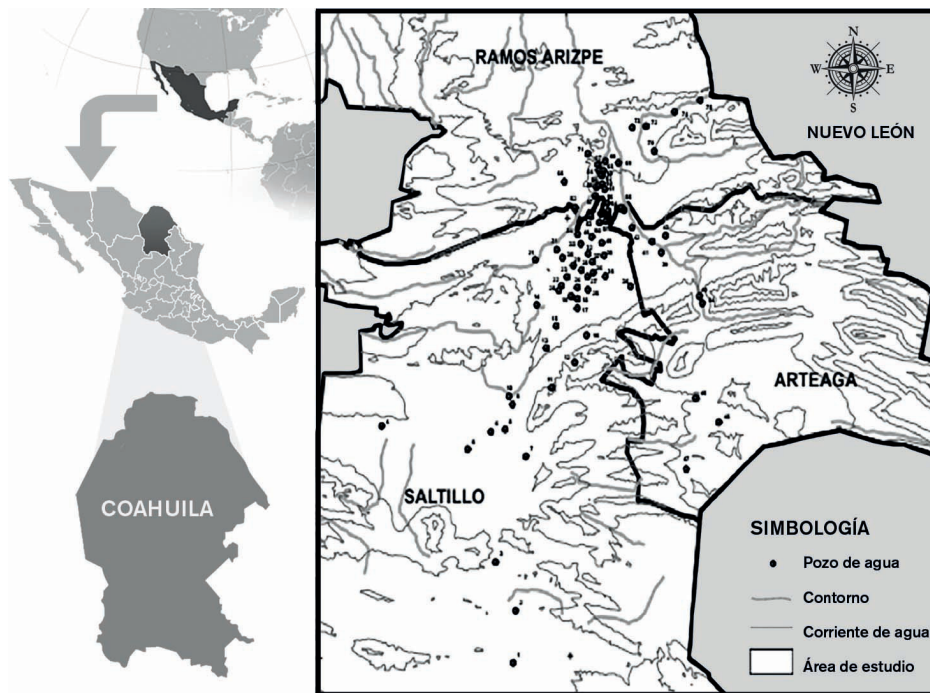


Figura 1. Localización geográfica de los 75 pozos de agua, muestreados y analizados durante el 2011 y 2012. Cada pozo se analizó para más de 20 parámetros fisicoquímicos y por biología molecular (elaboración propia).

Ácidobacteria	Gemmatimonadetes	Verrucomicrobia
Actinobacteria	Nitrospira	Alphaproteobacteria
Bacteroidetes	OD1	Betaproteobacteria
Chloroflexi	OP10	Deltaproteobacteria
Cyanobacteria	No determinado	Epsilonproteobacteria
Firmicutes	Planctomycetes	Gammaproteobacteria

Tabla 4. Grupos taxonómicos de bacterias reveladas por pirosecuenciación del 16S rRNA, de muestras de agua de 75 pozos del sureste de Coahuila, México (elaboración propia).

En el sureste de Coahuila, México, será necesario implementar estrategias y programas de monitoreo de la calidad del agua potable para determinar las concentraciones de los contaminantes a través del tiempo, así como los orígenes de los mismos y de este modo, garantizar a la población el abasto de agua potable de calidad.

Evidencias del uso de agua de mala calidad en la producción de alimentos y en la agroindustria

En años recientes, la precisión y los límites de detección que alcanzan los nuevos equipos de caracterización física, química y biológica, han señalado la presencia de contaminantes en productos alimenticios en varios países del mundo (Tabla 5). Lo anterior resalta que aún con estrictas normatividades vigentes, la producción, procesamiento y envasado de alimentos requieren mayor atención e inversión en investigación, innovación y desarrollo.

Tabla 5. Contaminantes identificados en alimentos de diversas regiones del mundo, así como su impacto en la salud (elaboración propia).

Contaminante identificado	País	Producto	Riesgo a la salud	Referencia
Arsénico	China	Tomate, naranja y cerdo	Cáncer e hiperpigmentación	Chen et al. (2011)
Antimonio	China	Maíz	Irritación en vías respiratorias	Pan et al. (2010)
Cadmio	Turquía	Frutas y vegetales	Cáncer	Turkdogan et al. (2003)
Cobalto	Suiza	Trigo	Alergias	Song et al. (2011)
Plomo	En todo el mundo	Peces, vegetales y arroz	Neurotoxicidad	Peralta-Videa et al. (2009)
Mercurio	En todo el mundo	Peces, vegetales y arroz	Neurotoxicidad	Peralta-Videa et al. (2009)
Aflatoxina M1	México	Leche	Tóxico, posible carcinogénico	Ortiz-Martínez et al. (2010)
Hidrocarburos policíclicos aromáticos	En todo el mundo	Cereales, carne, azúcar, vegetales, frutas, pescado	Diversos tipos de cáncer	Yebra-Pimentel et al. (2015)
Contaminantes orgánicos persistentes	Alemania y Estados Unidos de América	Alimentos y bebidas	Toxicidad y cáncer	Michel et al. (2013)

Tratamiento de agua

El tratamiento de agua puede ser dividido en tres categorías en función de su potencial uso:

- Doméstico,
- Procesos industriales y
- Tratamiento de aguas residuales para su descarga a aguas nacionales o reúso.

El tipo y grado de tratamiento son dependientes tanto del origen del agua como del uso potencial. El agua para uso doméstico debe ser tratada con particular cuidado y desinfectarse para eliminar microorganismos patógenos y podría tener concentraciones bajas de calcio o magnesio disueltos. Sin embargo, el agua que se emplea en calentadores o calderas podría tener patógenos, pero la concentración de calcio y magnesio debe ser mínima para prevenir la formación de sarro y prolongar la eficiencia de los equipos. El agua residual que se descarga en un río podría requerir un tratamiento menos riguroso que aquella que se reusa en una región árida. Debido a que la población enfrenta crisis más severas relacionadas con la disponibilidad y calidad de agua, en años recientes han emergido nuevas tecnologías para tratar el agua (Manahan, 2010). Es importante considerar que para facilitar una transición hacia el uso sustentable del agua, la sociedad en su conjunto debe prevenir y controlar las fuentes de contaminación. La prevención de la contaminación del agua implica optimizar los procesos de producción y cambiar o adecuar los materiales y tecnologías empleados en los sistemas productivos. En contraste, el control de la contaminación implica adicionar un filtro o algún otro dispositivo al final del sistema para prevenir que el contaminante se libere al ambiente (Wright & Boorse, 2011). Si bien la prevención y el control de la contaminación requieren una inversión inicial, lo cierto es que muchas empresas han logrado ahorros significativos en diversos rubros (energía eléctrica, agua, drenaje y saneamiento, etc.) desde el primer año.

El reciente incremento en la generación de aguas tratadas, su reúso directo como agua potable, así como la recarga de mantos acuíferos con estas aguas, genera muchas de las preocupaciones relacionadas con la calidad de agua y la salud humana. En el agua reusada tres de sus constituyentes son de especial preocupación: i) los virus entéricos y otros patógenos emergentes, ii) constituyentes orgánicos incluyendo químicos industriales y farmacéuticos, restos de productos para el cuidado personal y limpieza en los hogares y otros contaminantes orgánicos persistentes, y iii) sales y metales pesados (Leverenz & Asano, 2011). A la fecha, existen diversas tecnologías para reusar el agua, entre ellas destacan la filtración por membranas, procesos de oxidación avanzada, biopelículas, celdas microbianas de combustible, procesos anaeróbicos y nanopartículas o nanodispositivos. Cada una de las tecnologías anteriores o sus combinaciones, podrían resolver los problemas relacionados con el aprovechamiento y manejo de aguas residuales, pero, en todos los casos se deberá considerar el cuidado del ambiente, el bienestar social y el factor económico para fortalecer el desarrollo sustentable.

Conclusiones

Cada vez es más difícil extraer y aprovechar el agua potable en cualquier lugar del mundo. Se han desarrollado una serie de tecnologías y estrategias avanzadas que ayudan a mitigar la escasez y disminuyen los riesgos relacionados con el consumo de agua no potable. En México se han realizado muchos estudios sobre calidad de agua, sin embargo, los altos costos de los equipos, su complicada operación y la difícil validación de los análisis, favorecen a solo un pequeño grupo de ciudades o agroindustrias, las cuales tienen la capacidad financiera y técnica para regular, con cierto rigor y apegados a normatividad, la calidad del agua antes, durante y después del proceso productivo. El sector agroindustrial deberá hacer esfuerzos adicionales para emplear agua de calidad en sus procesos. Las agroindustrias deberán establecer estrategias para manejar, ahorrar y tratar el agua, para que el reúso sea viable en lo económico y factible en los aspectos técnicos.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de sus respectivas instituciones de adscripción. La parte experimental y los análisis fisicoquímicos y microbiológicos fueron financiados con el proyecto FOMIX-COAHUILA COAH-2010-C14-149610.

Bibliografía

- Ahuja, A., Kremer, M. & Zwane, A. P. (2011). Providing clean water: evidence from randomized evaluations. *In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). Treatise on Water Science. Vol 1. Management of Water Resources.* USA. 199 pp.
- Beniston, M., Stoffel, M. & Quevauviller, P. (2014). The impacts of climatic change on water resources: Foreword to the special issue. *Journal of Hydrology.* 518, 179.
- Chen, C., Qian, Y. Z., Chen, Q. & Li, C. Y. (2011). Assessment of daily intake of toxic elements due to consumption of vegetables, fruits, meat and seafood by inhabitants of Xiamen, China. *Journal of Food Sciences.* 76, T181-T188.
- Dieter, H. (2011). Drinking water toxicology in its regulatory framework. *In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). Treatise on Water Science. Vol. 3. Aquatic Chemistry and Microbiology.* USA. 469 pp.
- Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., Gamero-Melo, P., Luna-Suárez S., Aguilera-González, E.N., Martínez A.I., García-Guillermo, M.S., Hernández-Martínez, G., Herrera-Mendoza, R., Álvarez-Garza, M.A., & Pérez-Velázquez, I.R. (2013). Heavy metal pollution in drinking water—a global risk for human health: A review. *African Journal of Environmental Science and Technology,* 7(7), 567-584.
- Khan, S., Shah, I. A., Muhammad, S., Malik, R. N., & Shah, M. T. (2015). Arsenic and heavy metal concentrations in drinking water in Pakistan and risk assessment: A case study. *Human and Ecological Risk Assessment.* 21(4), 1020-1031.
- Kümmerer, K. (2011). Emerging contaminants. *In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). Treatise on Water Science. Vol. 3. Aquatic Chemistry and Microbiology.* USA. 469 pp.
- Leverenz, H. L. & Asano, T. (2011). Wastewater reclamation and reuse system. *In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). Treatise on Water Science. Vol. 4. Water Quality Engineering.* USA. 847 pp.
- Lopez-Gunn, E., Llamas, M. R., Garrido, A. & Sanz, D. (2011). Groundwater management. *In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). Treatise on Water Science. Vol 1. Management of Water Resources.* USA. 199 pp.
- Mahmoud, M. E., Hafez, O. F., Alrefaay, A. & Osmar, M. M. (2010). Performance evaluation of hybrid inorganic/organic adsorbents in removal and preconcentration of heavy metals from drinking and industrial waste water. *Desalination.* 253(1-3), 9-15.
- Manahan, S.E. (2010). *Environmental Chemistry.* 9th edition. CRC, USA. 753 pp.
- Michel, F., Bell, D. S., Stenerson, K.K., Barrey, E., Ye, M. & Sidisky, L. M. (2013). New analytical tools for the determination of persistent organic pollutants (POPs) in fatty food and beverage matrices using QuEChERS method and gas chromatography (GC) analysis. *Abstracts of Papers of the American Chemical Society.* 246, 121-AGDF

- Munoz, M. O., Bhattacharya, P., Sracek, O., Ramos, O. R., Aguirre, J. Q., Bundschuh, J. & Maity, J. P. (2015). Arsenic and other trace elements in thermal spring and in cold water from drinking water wells on the Bolivian Altiplano. *Journal of South American Earth Sciences*. 60, 10-20.
- Nair, M. G., Rao, D. D., Sathyapriya, R. S. & Sarkar, P. K. (2014). Standardization of sequential separation of naturally occurring radionuclides in drinking water. *Desalination and Water Treatment*. 52(1-3), 536-541.
- Navarro-Noya, Y. E., Suárez-Arriaga, M. C., Rojas-Valdes, A., Montoya-Ciriaco, N. M., Gómez-Acata, S., Fernández-Luqueño, F. & Dendooven, L. (2013). Pyrosequencing analysis of the bacterial community in drinking water Wells. *Microbial Ecology*. 66, 19-29.
- NGWA, National Groundwater Association. (2015). *Facts about global groundwater usage*. Recuperado el 14 de junio de 2015 de <http://www.ngwa.org/Fundamentals/use/Documents/global-groundwater-use-fact-sheet.pdf>
- Ortiz-Martínez, R., Valdivia-Flores, A., Quezada-Tristán, T., Martínez-De Anda, A. & Luna-López, M. C. (2010). Aflatoxin M1 contamination in different types of milk: A risk for public health? *Toxicology Letters*. 196S, S101.
- Pan, X. L., Zhang, D. Y., Chen, X., Li, L. H., Mu, G. J., Li, L. & Song, W. J. (2010). Sb uptake and photosynthesis of *Zea mays* growing in soil watered with Sb mine drainage: an OJIP chlorophyll fluorescence study. *Polish Journal of Environmental Studies*. 19, 981-987.
- Peralta-Videa, J. R., Lopez, M. L., Narayan, M., Saupe, G. & Gardea-Torresdey, J. (2009). The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: implications for the food chain. *International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 41, 1665-1677.
- Petney, T. N. & Taraschewski H. (2011). Waterborne parasitic diseases: Hydrology, regional development, and control. In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). *Treatise on Water Science. Vol. 3. Aquatic Chemistry and Microbiology*. USA. 469 pp.
- Schlager, E. & Bauer, C. (2011). Governing water: Institutions, property rights, and sustainability. In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). *Treatise on Water Science. Vol 1. Management of Water Resources*. USA. 199 pp.
- Song, H., Yin, W. & Ma, Q. (2011). Allergic palmoplantar pustulosis caused by cobalt in cast dental crowns: a case report. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 111, E8-E10.
- Thiele, S., Fuchs, B. M., Amann, R. I. (2011). Identification of microorganism using the ribosomal RNA approach and fluorescence in situ hybridization. In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). *Treatise on Water Science. Vol. 3. Aquatic Chemistry and Microbiology*. USA. 469 pp.
- Turkdogan, M. K., Kilicel, F., Kara, K., Tuncer, I., & Uygan, I. (2003). Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of turkey. *Environmental Toxicology & Pharmacology*. 13,175-179.

- Wilderer, P. (2011). The importance of water science in a world of rapid change: A preface to the treatise on water science. In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). *Treatise on Water Science. Vol 1. Management of Water Resources*. USA. 199 pp.
- Wright, R.T. & Boorse, D.F. (2011). *Environmental Science, Toward a Sustainable Future*. 11th Edition. USA. 674 pp.
- Yebra-Pimentel, I., Fernández-González, R., Martínez-Carballo, E. & Simal-Gandara, J. (2015). A critical review about the health risk assessment of PAHs and their metabolisms in food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 55 (10), 1383-1405.

Uso de lodos residuales para el sector agroindustrial: tratamiento, reúso y valor para un futuro sustentable

Wastewater sludge use for agribusiness sector: treatment, reuse and value for a sustainable future

*Fernando López-Valdez⁴

Minerva Rosas-Morales⁵

Ada María Ríos-Cortés

Fabián Fernández-Luqueño⁶

Resumen

⁴Grupo de Biotecnología Agrícola, Centro de Investigación de Biotecnología Aplicada. Instituto Politécnico Nacional. Carr. Est. Sta. Inés Tecuexcomac-Tepetitla km 1.5, s/n. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, C.P. 90700, México. *Contacto: flopezva@ipn.mx

⁵Grupo de Biotecnología Agrícola, Centro de Investigación de Biotecnología Aplicada. Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, C.P. 90700, México.

⁶Grupo de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. Cinvestav-Salttillo, Coahuila. C.P. 25900, México

Los lodos residuales son desechos o residuos con alto contenido de materia orgánica y minerales que por lo general no poseen utilidad alguna. Se estima que en México se producen alrededor de 10.75 millones de toneladas de lodos residuales cada día. Se han realizado diversos estudios en todo el mundo para determinar la utilidad o impacto del uso de lodos en campos agrícolas. Dependiendo de las características de los lodos y su origen, éstos pueden alcanzar una adecuada relación C/N y liberar el nitrógeno disponible para el sustento de las plantas, de forma continua y durante todo el periodo de cultivo. Los lodos residuales pueden mejorar las condiciones y características del suelo, pero la aplicación de éstos deberá ser en su forma estabilizada. Pueden ser aplicados en el cultivo de plantas de interés agroindustrial, desde ornamentales, hasta aquellas involucradas en la producción de biodiesel o incluso plantas y hortalizas para consumo humano; lo que representa una importante contribución a la producción de alimentos y otros productos agropecuarios. Además, la aplicación de los lodos al suelo es una solución al problema ecológico que representa su disposición final, pues sin un tratamiento previo de estabilización, estos lodos pueden contener una importante cantidad de organismos enteropatógenos y sustancias tóxicas, lo que impide su aplicación en el sector agrícola. De aquí la importancia del estudio e implementación de diferentes tecnologías eficientes y de bajo costo para la estabilización de los lodos residuales que cumplan con la normatividad ambiental correspondiente.

Abstract

Wastewater sludge are residues with high content of organic matter and minerals that usually do not have any use. It is estimated that in Mexico occur approx. 1.75 millions of tons of sewage sludge per day. Has been done several studies worldwide in order to determine the usefulness or impact of the use of sludge on agricultural fields. Depending on the characteristics of the sludge and its origin, they can achieve adequate C/N ratio and release the available N to sustain the

plant growth continuously during their cultivation period. Additionally, the sewage sludge might improve the conditions and soil characteristics, but the application of the sludge must be stabilized. The sludge can be applied to plants with high interests on agribusiness, from ornamentals to plants involved on the production of biodiesel or even plants and vegetables for human consumption. It represents an important contribution on the food production and other agricultural products. Additionally, the application of the wastewater sludge into the soil provide a solution to the ecological problem of their final disposal, since without pretreatment of stabilization, the sludge may contain a significant amount of enteric pathogens and toxic substances, which prevents its application on agricultural sector. Hence the importance of studying and implementing different efficient and inexpensive technologies for the stabilization of sewage sludge in order to complying with relevant environmental regulations.

Introducción

Desde que el hombre tomó conciencia de las ventajas de permanecer en conjunto con sus congéneres para cubrir las necesidades básicas (supervivencia) a través de cohabitar; se crea el concepto de sociedad y civilización, esto propició efectos adversos como la acumulación de desechos. En la antigua Europa, los desechos eran tirados a las calles. Con la construcción de drenajes, un avance importante para la civilización de entonces, los desechos fueron conducidos a los ríos a través del drenaje. Con la llegada de la Revolución Industrial (iniciada en la segunda mitad del siglo XVIII en Inglaterra y expandiéndose por los todos los países con potencial de industrialización), estos efectos adversos se acentuaron al incorporarse desechos industriales. Esta realidad no ha cambiado mucho en la actualidad en países como México. Se estima que sólo el 40% de las aguas residuales son tratadas en nuestro país.

Los desechos y la forma de desechar, colectar y tratar han cambiado con el tiempo. Su origen es tan diverso como su forma de tratarlos, se podría decir que los desechos se pueden clasificar de acuerdo con su origen: como domésticos o municipales e industriales. Sin importar el origen, estos desechos se han convertido en un problema común que afecta a la sociedad no sólo en materia de salud, sino porque representan un problema ecológico importante; es por ello, que hoy en día se busca implementar métodos y tecnologías basadas en el aprovechamiento de los recursos naturales y disponibles para solucionar la problemática ambiental de estos desechos de una manera sustentable.

Los lodos residuales

Los lodos residuales o biosólidos son desechos orgánicos o propiamente materia orgánica parcialmente digerida bajo predominantes condiciones anaerobias. Esta pre-digestión es realizada en los desagües hasta llegar a las plantas tratadoras de aguas residuales. Se estima que alrededor del 40% de las aguas residuales son tratadas por plantas tratadoras (State of Michigan, 2015), el resto es vertido a aguas nacionales (ríos, arroyos, lagos, esteros e incluso directo al mar) (Qi et al., 2010). Por lo general, las aguas residuales llegan a las plantas tratadoras con una alta carga de materia orgánica y basura (vidrio, plástico, madera, etc.); de

manera que se elimina este material voluminoso en el tratamiento primario, a través de rejillas de desbaste (1 a 2.5 cm). El agua pasa después a un separador de arenas, aceites y grasas; de ahí se distribuye a tres tanques de clarificación primaria que asientan a los lodos por floculación y reposo, donde las partículas se aglutinan y precipitan por gravedad, conformando lo que se denomina como “lodos primarios” (Reciclagua Ambiental, S.A. de C.V., comunicación personal). En este punto, los lodos son separados para tratarse o eliminarse; dentro de los tratamientos -que varía de planta a planta, se puede citar la digestión anaerobia en rellenos sanitarios, incineración, tratamientos químicos como la neutralización o hidrólisis, deshidratación, estabilización aerobia, vermicomposteo, entre otros tratamientos. Algunos tratamientos son económicos, pero tienen la desventaja de manejar volúmenes de lodo en orden de cientos de toneladas por día. Otros, pueden ser efectivos, pero muy caros como el tratamiento por UV. La elección de un tratamiento depende de los problemas asociados a los lodos, que comúnmente son: contenido de organismos patógenos, metales pesados y/o sustancias recalcitrantes (o exógenas). Es muy conveniente dejar en claro que los lodos residuales varían en su composición debido al origen de los efluentes (domésticos, municipales, industriales y la combinación de estos) (de Lourdes Tirado Montiel et al., 2001).

Los lodos residuales no son un residuo agroindustrial, sin embargo, pueden ser aplicados como tal en el campo, aportando múltiples beneficios al suelo, a la biota del suelo y a los cultivos. Los lodos residuales pueden ser un invaluable sub-producto de las plantas tratadoras de aguas, debido a que este desecho es rico en materia orgánica y macro y microelementos (Harrison et al., 2006; López-Valdez et al., 2014). Se han reportado hasta 516 compuestos orgánicos en algunos lodos residuales (Harrison et al., 2006). Los lodos pueden ser una fuente de nutrimentos para las plantas y los microorganismos del suelo. El lodo residual puede aportar nitrógeno mineral por el proceso conocido como mineralización (Gomah et al., 1989). También puede proveer de carbono y nitrógeno a los microorganismos del suelo y a través del metabolismo de estos, el nitrógeno es suministrado (compartido) a las plantas en forma de amonio o nitratos (López-Valdez et al., 2010). Los lodos residuales tienen un gran potencial en el sector agroindustrial debido a que, se pueden obtener de ellos hormonas, proteínas, energía, fertilizantes, sustratos, etc. (Tabla 1).

Tratamiento y aplicaciones de los lodos

El tratamiento de lodos se aplica muy poco, pueden tratarse por vía aerobia o anaerobia. Dentro de los procesos aerobios se encuentran el composteo y vermicomposteo y por los procesos anaerobios mediante la digestión anaerobia. En ambos, la finalidad es la estabilización, es decir, el control o reducción de los organismos enteropatógenos presentes en el lodo como virus, quistes de protozoos, bacterias, huevos de helmintos, sobre todo. También, se pueden obtener subproductos, en el caso de los procesos aerobios, se puede aprovechar la materia orgánica, rica en minerales (N, P y K) y microelementos esenciales para las plantas y los organismos del suelo. Asimismo, se puede encontrar aminoácidos libres como L-triptófano (Sheng & Yu, 2006) que es precursor de ácido indolacético, fitohormona que regula diversos procesos del desarrollo

vegetal y que es sintetizado por bacterias como *Rhizobium* sp, y *Bacillus subtilis*, entre muchas otras; estas bacterias proveen de la hormona a plantas huésped como una forma de mutua ayuda.

Origen del lodo	Producto obtenido	Tecnología	Referencia
Planta de tratamiento	Energía (biogás)	Sistema combinado de celdas microbianas y biorreactor de membranas	Xinying et al. (2013)
Industria	Ahorro de energía	Co-combustión con pellets de madera	Chang et al. (2013)
Industria azucarera	Hidrógeno	Cultivo en viales de la cepa <i>Enterobacter cloacae</i>	Sun et al. (2015)
Planta de tratamiento	Generación y ahorro de energía	Celda de combustible microbiana integrada a un reactor discontinuo secuencial	Liu et al. (2011)
Planta de tratamiento	Sustrato para plantas	Composteo	Dede & Ozdemir (2015)
Planta de tratamiento	Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos pesados	Disposición sobre el suelo y mezcla posterior con paso de rastra	Minai-Tehrani et al. (2015)
Planta de tratamiento	Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos	Composteo o vermicomposteo y mezcla uniforme con el suelo	Fernández-Luqueño et al. (2011)
Planta de tratamiento	Recuperación de proteínas para alimento para ganado	Tratamiento alcalino seguido de ultrasonificación	Hwang et al. (2008)
Planta de tratamiento	Materiales para construcción	Estabilización convencional con aditivos como cemento y cal.	Lucena et al. (2014)
Plantas de tratamiento	Material orgánico para recuperar suelos degradados	Esparcimiento en la superficie del suelo y mezcla posterior	Sastre-Conde et al. (2015)
Plantas de tratamiento	Fertilizantes orgánicos	Esparcimiento en la superficie del suelo y mezcla posterior	Velykis et al. (2014)

Tabla 1. Principales usos potenciales de los biosólidos. En algunos casos ciertas tecnologías de avanzada son necesarias.

Otra posible aplicación de los lodos residuales es como potenciales sustratos para el crecimiento de microorganismos de interés agroindustrial, como es el caso de *Bacillus thuringiensis* en medios o sustratos a base de lodos residuales y aguas

residuales, donde se reporta que es mejor un sustrato de lodos o aguas residuales en comparación con el medio típico de crecimiento a base de soya (Brar et al., 2006). Se ha evaluado la aplicación de los lodos residuales en la remoción *in vitro* de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), con la finalidad de acelerar o mejorar la remoción de dichos compuestos en suelos contaminados por derrames de hidrocarburos. Tomando en consideración el tipo de suelo, el tipo de hidrocarburo contaminante y las características del material orgánico (lodo) (Fernández-Luqueño et al., 2008).

La materia orgánica estabilizada puede mejorar las características del suelo donde se aplique, por ejemplo, mejora la capacidad de retención de agua, evita el estancamiento por inundación, mejora la relación suelo: aireación (importante para el proceso de respiración de las plantas vía radícula), da mayor soporte radicular (permite que las raíces se establezcan a mayor profundidad otorgando mejor soporte ante vientos y mejor captación de agua profunda). En el caso de la estabilización anaerobia, el panorama es diferente, se puede aprovechar la producción de gases como el metano (CH_4). Este gas es usado como combustible, de tal forma que al aprovechar los desechos de un invernadero por este método se puede utilizar este gas para calentar el invernadero durante las estaciones frías o invernales. También se puede aprovechar los lixiviados o líquidos residuales (digestato) para elaborar un tipo de abono líquido previamente estabilizado y formulado para aplicar a plantas de ornato o como mejorador de suelos (Zeshan, 2012). Existen otras formas de tratar lodos químicamente, por adición de agente alcalino o ácido con el fin de establecer condiciones extremas por pH. La idea es lograr las condiciones para eliminar los organismos enteropatógenos. Estos métodos pueden parecer económicos pero a mayores escalas la inversión podría ser considerable. Son métodos rápidos en comparación con el tratamiento por vermicomposta o composta pero podrían presentar la desventaja de repoblación de algunos organismos como bacterias (*Salmonella* sp. y coliformes fecales). Existen reportes de eliminación de *Salmonella* sp. en lodos tratados durante 60 días con diferentes dosis de CaO (15, 30 y 45%), logrando valores de pH de 10, 11.4 y 12 unidades, respectivamente; donde logran la inactivación de *Salmonella* sp. en 24 h, aunque no reportan repoblación bacteriana debido quizá a el experimento fue realizado a temperaturas cercanas a 0 °C (Mignotte-Cadiergues et al., 2001).

Estudios realizados para la aplicación de los lodos a suelos con fines agrícolas

Como grupo de investigación interesa demostrar que algunos lodos residuales pueden ser útiles para su aplicación en la agricultura, la agricultura de ornato, o bien, en la remediación o mejoramiento de suelos. Se han caracterizado los lodos residuales provenientes de una planta tratadora de aguas residuales, Reciclagua Ambiental, S.A. de C.V. (ubicada en Lerma, Estado de México); esta planta trata las aguas residuales del complejo industrial Lerma y descargas domésticas o municipales. La caracterización de los lodos es lo suficientemente constante; la materia orgánica predomina en estos lodos. Las principales características fisicoquímicas del lodo son: pH de 7.9 a 8.2, conductividad electrolítica 8 dS m^{-1} , contenido de agua 850 g kg^{-1} , contenido de carbono orgánico 288 g kg^{-1} , contenido de nitrógeno total 42 g kg^{-1} , de esta cantidad una mayor parte es

N orgánico, seguido de N de amonio, nitritos y nitratos (López-Valdez et al., 2010) y la relación C/N es aproximadamente de 7. Los lodos pueden presentar inconvenientes para su uso o aplicación en suelos agrícolas por el contenido de organismos enteropatógenos, metales pesados, o sustancias químicas recalcitrantes (que no se descomponen fácilmente por tratamientos físicos, químicos o biológicos convencionales como el ibuprofeno o el diclofenaco) (Langenhoff et al., 2013; Paul, Githinji, Ankumah, Willian, & Pritchett, 2013). La caracterización de los lodos tratados por Reciclagua sólo presentan organismos enteropatógenos como principal problema, los metales pesados y otros tipos de sustancias se encuentran por debajo de los límites permisibles para descarga de aguas procesadas (Comunicación personal, Reciclagua Ambiental). Un análisis de esos mismos lodos, en cuanto a metales pesados se puede encontrar en el trabajo reportado por Franco-Hernández et al. (2003), donde se reporta que son de excelente calidad en cuanto a metales pesados y el contenido de organismos patógenos es de clase B, de acuerdo a la clasificación de la USEPA (2013).

Se han realizado estudios para determinar si estos lodos residuales pueden ser útiles para aplicarse a suelos cultivados. Lo primero fue comprender la cinética o movimiento del nitrógeno mineral (NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^-) por efecto de la adición de lodos a un suelo agrícola agotado (Otumba, Estado de México) y a un suelo alcalino-salino (Texcoco, Estado de México). Ambos suelos poseen diferencias en cuanto a fertilidad y flora microbiana. Se establecieron 4 tratamientos para determinar el movimiento del nitrógeno orgánico y mineral. Se utilizó sulfato de amonio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ como fertilizante nitrogenado, lodos esterilizados y lodos no esterilizados como fertilización, considerando un control con agua destilada. Las concentraciones se establecieron en 200 mg N- NH_4 para todos los tratamientos. El experimento fue realizado *in vitro*, para mayores detalles ver (López-Valdez et al., 2010). Se cuantificó la respiración microbiana a través de la producción de CO_2 (en mg C kg^{-1} suelo seco) en cada uno de los tratamientos, se encontró que la adición de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ no afecta significativamente la tasa de respiración con respecto al suelo adicionado con agua destilada, es decir, adicionar sulfato de amonio o agua activan la respiración microbiana en el mismo orden de magnitud. No así con la adición de lodos estériles y no estériles, donde se registra una producción de CO_2 de 3 y 4 veces más con respecto al tratamiento control, respectivamente. Esto indica que en el caso del suelo adicionado con lodo esterilizado, la microflora del suelo es la responsable de la respiración; en el caso del suelo más lodo crudo (no estéril), las microfloras del suelo y del lodo contribuyen en la producción de CO_2 . De manera semejante, se observa un perfil muy semejante en el suelo alcalino-salino de Texcoco, pero con menor producción de CO_2 , por ejemplo, el tratamiento de lodo no estéril en suelo de Texcoco produce aproximadamente 2 100 mg C kg^{-1} suelo seco, en el mismo tratamiento pero en suelo de Otumba, la producción es de aproximadamente 3 000 mg C- CO_2 kg^{-1} suelo seco. En cuanto a la cinética de amonio, en el tratamiento control, la concentración de amonio permanece por debajo de los 10 mg N- NH_4^+ kg^{-1} suelo seco durante todo el experimento (56 días). En los tratamientos con lodo, lodo esterilizado y amonio, se observa una caída de la concentración inicial al tercer día. Posteriormente, se registra un incremento en la concentración seguido de nuevo por una disminución hacia el

día 56. Esto implica que se presenta un proceso de asimilación e inmovilización del N por parte de los microorganismos, seguido por una liberación del N y finalmente una transformación del N amoniacal a N de nitratos vía Nitrificación. Esto sugiere que los microorganismos del lodo y los microorganismos del suelo contribuyen a la descomposición de la materia orgánica del lodo. Sin materia orgánica los microorganismos del suelo permanecen en un estado basal de actividad. Este experimento revela que el nitrógeno puede estar disponible para plantas cultivadas en suelos enmendados con lodos, desde el momento de la aplicación del lodo hasta su mineralización, el nitrógeno estará disponible como amonio o como nitrato, este último hacia el final del experimento.

La mineralización del lodo puede suministrar N al suelo. Se realizó otro experimento, donde se planteó la posibilidad de que estos lodos puedan contribuir como fertilizantes en el cultivo de plantas, en suelos enmendados con dichos lodos residuales crudos. El objetivo del siguiente estudio fue investigar el efecto de los lodos y fertilizantes minerales sobre las propiedades de un suelo agrícola (proveniente de Alcholoaya, Acatlán, Hidalgo) cultivado con girasol (*Helianthus annuus*) y el efecto sobre las características de las plantas de girasol y su rendimiento. Para ello se trabajó con los siguientes tratamientos: suelo cultivado con girasol y fertilizado con lodos (Lodo), suelo cultivado con girasol y fertilizado con urea (Urea) y suelo cultivado con girasol y sin fertilización (Girasol), donde se registraron las características del suelo, de las plantas y su rendimiento. Se encontró que los suelos cultivados con lodos pueden presentar algunas mejoras significativas en el crecimiento de los girasoles, como mayor masa (masa seca de la parte aérea y de la raíz de la planta) y elongación de las raíces (mayor longitud de las raíces), en comparación con los suelos cultivados y fertilizados con urea (Urea) o sin fertilización (Girasol). En cuanto a rendimientos, el tratamiento Lodo presentó mayor masa media (4.4 g) por planta en comparación con el tratamiento Girasol (2.8 g) y muy similar al tratamiento Urea (3.4 g), con una diferencia mínima significativa de 1.55. En número de semillas por planta y en contenido de N total de la planta entera, no presentaron diferencias significativas en las medias de cada tratamiento (López-Valdez et al., 2011). Esto sucedió en la mayoría de las variables medidas debido a una alta dispersión registrada en las variables por consecuencia directa de realizar tres experimentos diferentes a lo largo de un año, donde el efecto por el clima está implícito, aumentando consecuentemente la variabilidad de las mediciones. Además, el suelo empleado fue un suelo agrícola fertilizado regularmente con excretas tratadas por compostaje, lo que implica que este suelo no fue deficientemente marcado en nitrógeno (contenido de N total de 1.0 g N kg⁻¹ suelo). Sin embargo, se apreció una clara tendencia donde los tratamientos con lodos registraron mayor longitud en la parte aérea del girasol, masa fresca de la raíz y la parte aérea y número de semillas por planta, asimismo, no presentaron clorosis con respecto a los tratamientos Girasol y Urea. La aplicación de lodos al suelo no incrementó significativamente el pH y la conductividad electrolítica de los suelos cultivados con girasol (Lodo), mientras que los suelos cultivados y fertilizados con urea, sí incrementaron significativamente la conductividad electrolítica. La cuantificación de nitritos en suelo mostró que aplicar lodo es similar a aplicar urea como fertilizante (análisis realizado en 2 capas: 0 a 15 cm y de 16 a 30

cm de profundidad). En el caso de nitratos, aplicar lodo como fertilizante es equivalente al tratamiento sin fertilizante (Girasol). La concentración de nitrato fue significativamente mayor cuando el N fue aplicado en forma de urea, lo que puede significar que el lodo presenta una menor tasa de nitrificación, es decir, aplicar urea implica que ésta reacciona más rápido con el agua presente en el suelo y pasa más rápido al proceso de nitrificación, y al mismo tiempo, se puede presentar la pérdida de $N-NO_3^-$ por lixiviación; lo que se traduce como una menor cantidad de N disponible para la planta, por el hecho de aplicar urea. Respecto a la concentración de amonio, la mayor concentración se registra en el tratamiento Girasol (Suelo cultivado con girasol sin fertilizante) siendo significativamente mayor con respecto a los tratamientos Lodo y Urea. Esto podría significar varias posibilidades, que las plantas tomaron amonio junto con la actividad microbiana del suelo y/o la cantidad restante se transformó a nitratos. El tratamiento girasol mostró una baja actividad de organismos nitrificadores en este suelo agrícola.

Los esfuerzos para mejorar el tratamiento de los lodos buscan la estabilización por medios químicos y biotecnológicos en la actualidad. En el caso del tratamiento químico, se busca comprender mejor los factores que intervienen en el proceso de estabilización para lograr aplicar la menor cantidad de agente químico, pero que al mismo tiempo resulte efectivo para lograr la estabilización. En el caso del tratamiento biotecnológico, se busca encontrar una especie de lombriz de suelo que se adapte a las condiciones perjudiciales del lodo, para estudiar su comportamiento y reproducción para lograr la estabilización y mineralización de los lodos.

Conclusiones

Los lodos provenientes de las plantas tratadoras pueden presentar un importante potencial para su uso o aplicación a la agricultura, debido a su alto contenido de materia orgánica y minerales (N, P, K, S, entre otros), por lo que podrían impactar positivamente en la remediación de suelos contaminados y en el acondicionamiento y restauración de suelos agotados o infértiles. Los lodos son una fuente de nutrientes para el cultivo de plantas ornamentales o plantas de interés industrial, siempre y cuando se observen las medidas pertinentes para su segura aplicación, como podría ser la estabilización del lodo y sus características fisicoquímicas y microbiológicas. Usar lodos con adecuadas características permitirá lograr un máximo aprovechamiento de los residuos y fortalecerá el desarrollo sustentable.

Bibliografía

- Brar, S. K., Verma, M., Tyagi, R. D., Valero, J. R., & Surampalli, R. Y. (2006). Efficient centrifugal recovery of *Bacillus thuringiensis* biopesticides from fermented wastewater and wastewater sludge. *Water Research*, 40 (6), 1310–1320. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2006.01.028>.
- Chang, S. S., Lee, W. J., Wang, L. C., Chang-Chien, G. P. & Wu, C. Y. (2013). Energy recovery and emission of PBDD/Fs and PBDEs from co-combustion of woodchip and wastewater sludge in an industrial boiler. *Environmental Science & Technology*, 47 (21), 12600-12606.
- De Lourdes Tirado Montiel, M., Tyagi, R. D., & Valero, J. R. (2001). Wastewater treatment sludge as a raw material for the production of *Bacillus thuringiensis* based biopesticides. *Water Research*, 35 (16), 3807–3816. [http://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00103-8](http://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00103-8).
- Dede, O. H. & Ozdemir, S. (2015). Comparison of composted biosolid substrate for containerized turfgrass production. *Environmental Technology*, 36 (3), 1651-1656.
- Fernández-Luqueño, F., Marsch, R., Espinosa-Victoria, D., Thalasso, F., Hidalgo Lara, M. E., Munive, A., Luna-Guido, M.L., Dendooven, L. (2008). Remediation of PAHs in a saline-alkaline soil amended with wastewater sludge and the effect on dynamics of C and N. *The Science of the Total Environment*, 402 (1), 18–28. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.04.040>.
- Fernández-Luqueño, F., Valenzuela-Encinas, C., Marsch, R., Martínez-Suarez, C., Vazquez-Nunez, E. & Dendooven, L. (2011). Microbial communities to mitigate contamination of PAHs in soil-possibilities and challenges: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(1), 12-30.
- Franco-Hernández, O., Natalia Mckelligan-González, A., María López-Olguín, A., Espinosa-Cerón, F., Escamilla-Silva, E., & Dendooven, L. (2003). Dynamics of carbon, nitrogen and phosphorus in soil amended with irradiated, pasteurized and limed biosolids. *Bioresource Technology*, 87 (1), 93–102. [http://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00188-8](http://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00188-8).
- Gomah, A. H. M., Al-Nahid, S. I., & Amer, H. A. (1989). Nitrogen mineralization in sludge-amended desert soil as affected by rate of sludge, salinity, and wetting and drying cycles. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 3 (4), 417–429. <http://doi.org/10.1080/15324988909381219>.
- Harrison, E. Z., Oakes, S. R., Hysell, M., & Hay, A. (2006). Organic chemicals in sewage sludges. *The Science of the Total Environment*, 367 (2-3), 481–497. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.04.002>
- Hwang, J., Zhang, L., Seo, S., Lee, Y. W. & Jahng, D. (2008). Protein recovery from excess sludge for its use as animal feed. *Bioresource Technology* 99 (18), 8949-8954.
- Langenhoff, A., Inderfurth, N., Veuskens, T., Schraa, G., Blokland, M., Kujawa-Roeleveld, K., & Rijnaarts, H. (2013). Microbial Removal of the Pharmaceutical Compounds Ibuprofen and Diclofenac from Wastewater. *BioMed Research International*, 2013, e325806. <http://doi.org/10.1155/2013/325806>.

- Liu, X. W., Wang, Y. P., Juang, Y. X., Sun, X. F., Sheng, G. P., Zeng, R. J., Li, F., Dong, F., Wang, S. G., Tong, Z. H. & Yu, H. Q. (2011). Integration of a microbial fuel cell with activated sludge process for energy-saving wastewater treatment: Taking a sequencing batch reactor as an example. *Biotechnology and Bioengineering*, 108 (6), 1260-1267.
- López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F., Hernández-Rodríguez, P.X., Rosas-Morales, M., & Luna-Suárez, S. (2014). Soil amendments and their effects on sunflower growth. In: Arribas, J. I. (Ed.). (2014). *Sunflowers: growth and development, environmental influences and pests/diseases*. New York, NY: Nova Publishers.
- López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F., Luna-Guido, M. L., Marsch, R., Olalde-Portugal, V., & Dendooven, L. (2010). Microorganisms in sewage sludge added to an extreme alkaline saline soil affect carbon and nitrogen dynamics. *Applied Soil Ecology*, 45(3), 225–231. <http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.04.009>.
- López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F., Luna-Suárez, S., & Dendooven, L. (2011). Greenhouse gas emissions and plant characteristics from soil cultivated with sunflower (*Helianthus annuus* L.) and amended with organic or inorganic fertilizers. *Science of the Total Environment*, 412-413, 257–264.
- Lucena, L. C. D. L., Juca, J. F. T., Soares, J. B. & Portela, M. G. (2014). Potential uses of sewage sludge in highway construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 26(9). Article number 04014051.
- Mignotte-Cadiergues B, Maul A, Huyard A, Capizzi S, & Schwartzbrod L. (2001, June 1). The effect of liming on the microbiological quality of urban sludge. Retrieved June 13, 2015, <http://www.iwaponline.com/wst/04312/wst043120195.htm>
- Minai-Tehrani, D., Rohanifar, P. & Azami, S. (2015). Assessment of bioremediation of aliphatic, aromatic, resin, and asphaltene fractions of oil-sludge-contaminated soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(4), 1253-1260.
- Paul, S. C., Githinji, L. J. M., Ankumah, R. O., Willian, K. R., & Pritchett, G. (2013). Sorption Behavior of Ibuprofen and Naproxen in Simulated Domestic Wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(1), 1–11. <http://doi.org/10.1007/s11270-013-1821-9>.
- Qi, W., Liu, H., Qu, J., Ren, H., & Xu, W. (2010). PAH desorption from sediments with different contents of organic carbon from wastewater receiving rivers. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(3), 346–354. <http://doi.org/10.1007/s11356-010-0379-y>.
- Sastre-Conde, I., Lobo, M. C., Beltran-Hernandez, R. I. & Poggi-Varaldo, H. M. (2015). Remediation of saline soils by a two-step process: Washing and amendments with sludge. *Geoderma*, 247, 140-150.
- Sheng, G.-P., & Yu, H.-Q. (2006). Characterization of extracellular polymeric substances of aerobic and anaerobic sludge using three-dimensional excitation and emission matrix fluorescence spectroscopy. *Water Research*, 40(6), 1233–1239. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2006.01.023>.

- State of Michigan, D. of E. Q. (2015). Activated Sludge Process Control, training manual for wastewater treatment plant operators. Department of Environmental Quality, Environmental Assistance Center. Retrieved from https://www.michigan.gov/documents/deq/wrd-ot-activated-sludge-manual_460007_7.pdf
- Sun, L. L., Huang, A. Y., Gu, W. H., Ma, Y. C., Zhu, D. L. & Wang, G. C. (2015). Hydrogen production by *Enterobacter cloacae* isolated from sugar refinery sludge. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(3), 1402-1407.
- USEPA. (2013). Environmental Regulations and Technology: Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage) Under 40 CFR Part 503 (Revised July 2003) | US EPA. Retrieved June 13, 2013. From <http://yosemite.epa.gov/water/owrcatalog.nsf/065ca07e299b464685256ce50075c11a/11c362679930ff3385256e01004969b5?OpenDocument&CartID=null>
- Velykis, A., Satkus, A. & Masionyte, L. (2014). Effect of tillage, lime sludge and cover crop on soil physical state and growth of spring oilseed rape. *Zemdirbyste-Agriculture*. 101(4), 347-354.
- Xinying, S., Yu, T., Zhicai, S., Yaobin, L. & Zhipeng, L. (2013). Performance of a combined system of microbial fuel cell and membrane bioreactor: wastewater treatment, sludge reduction, energy recovery and membrane fouling. *Biosensors and Bioelectronics*, 49, 92-98.
- Zeshan. (2012). *Dry Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste and Digestate Management Strategies*. Asian Institute of Technology, Thailand. Retrieved from http://www.faculty.ait.asia/visu/images/pdf/dissertation_zeshan.pdf

Minimización de residuos agroindustriales: formulación de adsorbentes ecológicos atrapados en esferas de alginato para el tratamiento de aguas residuales de origen vitivinícola

Minimization of agroindustrial residues: formulation of green adsorbents entrapped in alginate beads for winery wastewater treatment

*Vecino X.⁷

Pérez-Ameneiro M

Cruz J.M

Moldes A.B.

Resumen

⁷*Departamento de Ingeniería Química. Escuela de Ingeniería Industrial (EEI). Universidad de Vigo, Campus As Lagoas-Marcosende. 36310*

• Vigo-Pontevedra, España.

**Contacto: xanel.vecino@uvigo.es*

Dos de los problemas ambientales comunes más graves a los que se enfrentan muchos países industrializados son la gestión de residuos y la contaminación causada por las aguas residuales. En el caso de las aguas residuales, el principal obstáculo es la existencia de numerosos tipos de contaminantes en un mismo efluente como tintes, metales pesados, fenoles, pesticidas y productos farmacéuticos, entre otros. Los residuos agroindustriales pueden ser considerados como adsorbentes potenciales de bajo coste. Este capítulo se centra en la búsqueda de nuevos eco-adsorbentes ecológicos y de naturaleza biodegradable tales como los residuos agroindustriales de la industria vitivinícola, para su aplicación en la descontaminación de las vinazas.

Abstract

Waste management and pollution caused by wastewater are two of the most common and serious environmental problems that industrialised countries must face nowadays. In the case of wastewater, the main set back is the own nature of these effluents, where plenty of different compounds can be found, such as dyes, heavy metals, phenols, pesticides or pharmacological products, among others. Agroindustrial residues, on the other hand, can be regarded as potential low-cost eco-adsorbents. This chapter details the advances achieved in the development of new eco-friendly and biodegradable adsorbents, like residues from winery industry, for vinasses decontamination.

Introducción

La Unión Europea es la mayor productora mundial de vino, lo que representa cerca de dos tercios de la producción total, de acuerdo con la Comisión Europea General de Agricultura y Desarrollo Rural.

Según la estimación de la Organización Internacional de la Viña y del Vino (OIV) (2014), la producción mundial de vino en 2014 (sin contar zumo y mosto) fue de aproximadamente 271 millones de hl, un 6% menos que en 2013. El primer país productor de vino fue Francia, con 46.2 millones de hl (17,0% mundial), seguido de Italia, con 44.4 millones de hl (16,4% mundial), y España, con 37.0 millones de hl (13,7% mundial).

Se considera a la producción de vino como un proceso respetuoso con el medio ambiente (Ruggieri y col., 2009), sin embargo la vinificación genera grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos, tales como el despalillado de uva ($470 \text{ cm}^3/\text{L}$ de vino producido), el bagazo ($465 \text{ cm}^3/\text{L}$), las lías de vinificación ($15 \text{ cm}^3/\text{L}$) y las aguas residuales de la industria vitivinícola, denominadas vinazas ($10 \text{ dm}^3/\text{L}$) (Vázquez-Rowe y col., 2012). Por lo general, estos residuos lignocelulósicos se queman en el campo, generando ciertos gases como CO_2 , CH_4 y N_2O que favorecen el efecto invernadero. Sería conveniente, por tanto, proporcionar una alternativa a la gestión actual de los residuos que fuese menos dañina para el medio ambiente.

La cantidad de vinazas generadas durante la elaboración del vino es 6 veces mayor en España que en Francia e Italia debido, principalmente, al bajo coste de las multas impuestas por la Administración Española a las empresas por este tipo de prácticas (Bustamante y col., 2005; Devesa-Rey y col., 2011a). Estas vinazas proceden de las operaciones de lavado realizadas en las diferentes etapas de vinificación, que, según Torrijos y Moletta (2003), comprenden la preparación de la vendimia (limpieza y desinfección del equipamiento), la recepción de la uva (lavado de tolvas, despalilladoras, esmagadoras, escorredoras y bombas de transporte, y lavado de los suelos, con o sin adición de productos de limpieza), el proceso de vinificación (lavado de las cubas de fermentación, las cubas de desfangado, y de los suelos con o sin adición de productos de limpieza), el trasiego (lavado de cubas y suelos con o sin adición de productos de limpieza tras el proceso), y el proceso de filtración (lavado de los filtros).

La composición de las vinazas varía en función de diferentes factores, como la naturaleza y composición del vino, las lías y el bagazo, el tipo de equipo de destilación o el tartrato de calcio producido durante los procesos fermentativos (Bustamante y col., 2005).

Las principales características químicas de las vinazas son su acidez ($\text{pH}= 3\text{-}6$), alta salinidad ($\text{CE}=2,4 \text{ dS/m}$), altos valores de oxígeno disuelto (DQO) (30.000 mg/L) y alto contenido en materia orgánica ($900\text{-}35.000 \text{ mg/L}$) debido a las altas concentraciones de C ($10,3 \text{ g/L}$) y N (378 mg/L). En cuanto a la composición en nutrientes, el potasio es el más abundante (2500 mg/L) (Paradelo y col., 2009; Salgado y col., 2009). Además, las vinazas contienen compuestos fitotóxicos, antibacterianos y recalcitrantes, entre los que se encuentran sustancias fenólicas (1000 mg/L), pesticidas, metales pesados (hierro y cobre) y compuestos coloreados (Beltrán y col., 1999; Bustamante y col., 2005; Moldes y col., 2008).

Es importante resaltar que, aunque las vinazas contienen gran cantidad de compuestos biodegradables susceptibles de ser explotados a nivel industrial, éstas también presentan un elevado contenido en sustancias fitotóxicas (Moldes y col., 2008; Salgado y col., 2009), lo que hace inviable su vertido al medio

ambiente sin un tratamiento previo. Entre estos tratamientos se encuentran tanto operaciones primarias (tratamientos físico-químicos) como secundarias (tratamientos biológicos), destinadas a reducir la DQO, DBO, sólidos en suspensión, compuestos coloreados y micronutrientes, entre otros.

Tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas

En la actualidad, no existe un único proceso capaz de llevar a cabo un tratamiento adecuado para la depuración de aguas residuales, debido a la compleja naturaleza de estos efluentes (Marco y col., 1997). En la práctica, se utiliza a menudo una combinación de diferentes procesos para lograr la calidad deseada del agua, sin que esto suponga un coste elevado.

Los procesos tecnológicos, aplicados en el tratamiento de aguas, se pueden dividir en tres categorías: procesos físicos (ósmosis inversa, electrodiálisis, adsorción...), procesos químicos (coagulación-floculación, ozonización, precipitación...) y procesos biológicos (biodegradación microbiana) (Robinson y col., 2001; Crini, 2006).

De acuerdo con la literatura, la adsorción líquido-sólido ofrece una alternativa atractiva para el tratamiento de aguas contaminadas, especialmente si el adsorbente presenta un bajo coste y no requiere un pretratamiento adicional antes de su aplicación (Dabrowski, 2001).

Obtención de adsorbentes compatibles con un desarrollo sostenible

En muchos procesos se utiliza carbón activo (Satyawali y Balakrishnan, 2007; Sessa y Palmquist, 2008), que, a pesar de haber sido considerado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente Americana como uno de los mejores productos del mercado para el tratamiento de aguas (Derbyshire y col., 2001; EPA, 2014), presenta ciertos inconvenientes, como su elevado precio y costes de generación, la obturación de membranas y un difícil manejo (Devesa-Rey y col., 2011b). Estos inconvenientes han propiciado que un gran número de investigadores centren sus esfuerzos en la búsqueda de adsorbentes alternativos que puedan servir para los mismos fines.

Se han publicado numerosos trabajos utilizando como precursores tanto materiales abundantes en la naturaleza como residuos de operaciones industriales y agrícolas, que representan una alternativa interesante para la formulación de bio-adsorbentes económicos y compatibles con un desarrollo sostenible (Crini, 2006; Sharma y col., 2011).

Los residuos generados durante la elaboración del vino pueden ser aprovechados para desarrollar adsorbentes “verdes”. Así, Paradelo y col. (2009) observaron que el bagazo vermicompostado es un buen eco-adsorbente para la eliminación de compuestos coloreados de las vinazas. Según estudios publicados por diversos autores (Villaescusa y col., 2004; Yuan-Shen y col., 2004; Martínez y col., 2006; Farinella y col., 2007), este tipo de residuos tienen también un gran potencial como adsorbentes para la eliminación de metales en aguas (Cu, Ni, Cd, Pb, Cr o Cd (II), entre otros). Romero y col. (2006) observaron que el bagazo agotado (residuo de la destilación alcohólica del bagazo) también puede ser utilizado como adsorbente para la eliminación de pesticidas en aguas.

Nuevos avances en la formulación de adsorbentes

La tendencia actual en la formulación de adsorbentes se basa en la elaboración de nuevos materiales mezclados heterogéneamente, formando un compuesto al que se denomina “composite”. Estos composites pueden estar formados por diferentes matrices polisacáridas, siendo el alginato la más habitual. El alginato es un polisacárido lineal, que consiste en uniones de (1-4) β -D-manuronato y α -L-guluronato. Las proporciones relativas de manuronato y guluronato varían dependiendo de la fuente de alginato (Johnson y col., 1997). El origen más común de alginato es la pared celular de las algas marinas pardas (*Phaeophyceae*), de donde se extrae para fines comerciales (Sirviö et al., 2014). Sin embargo, la producción de alginato mediante fermentación microbiana es también técnicamente factible (Draget y Taylor, 2011).

Recientemente, se ha empezado a utilizar el alginato en la formulación de adsorbentes inmovilizados en esferas (Hassan y col., 2014; Zhang y col., 2014; Zhu y col., 2014). Por ejemplo, tanto Devesa-Rey y col. (2011b) como Vecino y col. (2012) propusieron la inmovilización de carbón activo en esferas de alginato cálcico para la eliminación de compuestos coloreados de un agua residual procedente de la industria vitivinícola. También Bustos y col. (2014) emplearon carbón activo inmovilizado en alginato para tratar agua residual procedente del procesado de la caña de azúcar. Los resultados presentados por Bustos y col. (2014) concuerdan con los obtenidos por Devesa-Rey y col. (2011b) y Vecino y col. (2012), observándose que el carbón activo inmovilizado es un adsorbente eficaz para la eliminación de compuestos coloreados, independientemente de la industria de la que proceda el agua residual.

Vecino y col. (2013) también investigaron y patentaron (Vecino y col., 2014a) la inmovilización de la turba para la eliminación de compuestos coloreados de efluentes vitivinícolas. Además, Perez-Ameneiro et al. (2015a) han evaluado la capacidad de adsorción y el comportamiento cinético de diferentes materiales lignocelulósicos inmovilizados en esferas de alginato cálcico (cascarilla de cebada, cáscara de cacahuete y serrín de eucalipto) en comparación con el humus de lombriz, en la eliminación de los compuestos coloreados presentes en las vinazas, alcanzando reducciones sobre el 98% en el caso del biocomposite de cascarilla de cebada y entorno al 90% para la cáscara de cacahuete y el serrín. Centrándonos en el uso de residuos agro-industriales procedentes de la industria vitivinícola, Perez-Ameneiro y col. (2014a) han utilizado un biopolímero basado en bagazo de uva compostado, inmovilizado en esferas de alginato cálcico, para la eliminación de pigmentos de un efluente de la industria vitivinícola. Entre los parámetros estudiados, la concentración inicial de pigmento y el pH mostraron tener una mayor influencia sobre el proceso de adsorción, mientras que el efecto de la temperatura fue irrelevante. Así, utilizando un 2% de bagazo biodegradado inmovilizado en alginato cálcico (en una disolución del 2% de alginato sódico y bombeado a una disolución 0,58 M de CaCl_2), en las condiciones óptimas de pH (3,5) y temperatura (25°C) estos autores lograron eliminar entre el 95 y el 100% de los pigmentos presentes en esta agua residual.

Perez-Ameneiro y col. (2014b) han estudiado de forma paralela la adsorción de micronutrientes presentes en los efluentes vitivinícolas (Mg, P, K, N-NH_4 , SO_4 , nitrógeno total (NT), carbono total (CT) y N-NO_3), aplicando el

mismo biomaterial compuesto por bagazo de uva bio-oxidado inmovilizado en esferas de alginato cálcico. Se estudió el efecto de la relación adsorbente/adsorbato, tiempo de contacto y velocidad de agitación en el proceso de adsorción, observando que el parámetro que más influye sobre la eliminación de micronutrientes de las aguas residuales de bodegas es la relación entre adsorbente y adsorbato. Los resultados obtenidos muestran que, en este caso, el bagazo inmovilizado ha logrado eliminar la mayoría del NT, N-NH₄ y N-NO₃ y alrededor de un 60% del Mg, P, K y CT existentes en el agua residual.

Otro residuo procedente de la industria vitivinícola que se ha empleado como eco-adsorbente son las podas de sarmiento, que se obtienen tras la etapa de poda del viñedo. Las podas de sarmiento son una fuente atractiva por su contenido en compuestos de diferente naturaleza (como azúcares, pigmentos, fibra alimentaria, proteína, polifenoles, celulosa o lignina) y pueden ser potencialmente útiles cuando se transforman, mediante las reacciones apropiadas, en productos de elevado valor añadido. Así, por ejemplo, es posible revalorizar este residuo agrícola obteniendo biosurfactantes y bioadsorbentes, que son productos útiles con aplicación en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética, agrícola y medio ambiental.

Vecino y col. (2014b) han llevado a cabo la inmovilización de las podas de sarmiento hidrolizadas, bajo diferentes condiciones, siguiendo un diseño factorial incompleto en donde las variables independientes fueron la cantidad de fracción lignocelulósica (0,5-2%), la cantidad de alginato de sodio (1-5%) y la concentración de CaCl₂ (0,05-0,9 M), mientras que las variables dependientes estudiadas se basaron en la eliminación de nutrientes y micronutrientes (Mg, P, Zn, K, N-NH₄, SO₄, NT, CT y PO₄) de efluentes de la industria del vino. Cabe destacar que existe una clara diferencia entre la formulación óptima del biocomposite y la naturaleza catiónica y aniónica de los nutrientes y micronutrientes. Así, las condiciones óptimas de formulación del bioadsorbente para la eliminación de Mg, K, Zn, N-NH₄ y NT se establecieron en un 0,5% de fracción lignocelulósica mezclado con un 5% de alginato de sodio y bombeado a una disolución de CaCl₂ 0,05 M. Los porcentajes de eliminación correspondientes obtenidos fueron: 73,3% de Mg, 60,1% de K, 92,4% de Zn, 55,4% de N-NH₄ y 51,6% de NT. Las condiciones de formulación óptimas para la eliminación de micronutrientes aniónicos (P, PO₄ y SO₄) fueron de 0,5% de fracción lignocelulósica, un 1% de alginato de sodio y una disolución de CaCl₂ 0,9 M, eliminando el 47,8% de P, 52,8% de PO₄ y 53,7% de SO₄. Al evaluar la eliminación del CT presente en la muestra, los mejores resultados fueron alcanzados al utilizar un 0,5% de fracción lignocelulósica, 3% de alginato de sodio y CaCl₂ 0,475 M, registrando un porcentaje de eliminación de CT del 49,8%.

Vecino y col. (2015a) investigaron la inmovilización de la fracción lignocelulósica de las podas de sarmiento para la descontaminación de compuestos coloreados en vinazas. Los mejores resultados se obtuvieron cuando el biocomposite se formuló utilizando un 1,25% de fracción lignocelulósica de podas de sarmiento, un 2,2% de alginato de sodio y una disolución de CaCl₂ 0,475 M, dando lugar a una reducción en el índice de coloración (IC) de 79,9-83,9% y valores de luminosidad (L*) entre 89,4-91,3. Además, los autores llevaron a

cabo estudios morfológicos con estereoscopía microscópica permitiendo obtener diferentes características morfológicas y propiedades físicas del bioadsorbente como área, perímetro, elongación, redondez y compactación. La formulación empleada en este caso consistió en 1,25% de residuo lignocelulósico, un 2,2% de alginato sódico y diversas concentraciones de una disolución de CaCl_2 . Se observó que, aunque la concentración de CaCl_2 apenas repercute en la eliminación de color, sí influye en la compactación y estabilidad del bioadsorbente. Se observa que a bajas concentraciones de CaCl_2 , la elongación del biocomposite decrece, mientras que la compactación aumenta. Altas concentraciones de CaCl_2 , por el contrario, hacen aumentar la rugosidad del eco-adsorbente.

Vecino y col. (2015b) también estudiaron las posibles diferencias en la adsorción de compuestos coloreados utilizando el mismo sustrato lignocelulósico (sarmiento hidrolizado) inmovilizado en esferas de alginato, en comparación con el sustrato sin inmovilizar. La eliminación de color en el primer caso llega al 77%, mientras que el mismo material sin inmovilizar retiene tan sólo el 28% de los compuestos coloreados en disolución, y sólo es posible llegar a un porcentaje similar de eliminación de color al aumentar la dosificación del sustrato lignocelulósico hasta valores cercanos al peso seco de la esfera deshidratada (7,56 g). Además, al realizar un estudio morfológico utilizando microscopía electrónica de barrido (SEM), perfilometría y análisis de superficie 3D, se observaron importantes diferencias en los parámetros morfológicos entre las esferas antes y después de haber sido sometidas a un proceso de deshidratación.

Perez-Ameneiro y col. (2015b) han estudiado la variación en las propiedades morfológicas, la capacidad de adsorción y el comportamiento cinético de un biocomposite formulado en condiciones similares a las estudiadas por Vecino y col. (2015a) (1,25% sarmiento hidrolizado, 2,2% alginato y CaCl_2 0,475 M), pero añadiendo un biosurfactante de naturaleza lipopeptídica extraído de los licores de lavado de maíz (Vecino y col., 2015c). Al comparar los resultados con los obtenidos al utilizar el biocomposite normal, se observa que la adición de biosurfactante propicia una mayor adsorción tanto de compuestos coloreados como de micronutrientes (10% en pigmentos y 62% en sulfatos, por ejemplo). Además, se obtiene un biopolímero más rugoso, más compacto y mejor emulsionado.

Conclusiones

La revalorización de desechos agroindustriales mediante el desarrollo de eco-adsorbentes se presenta como una opción de gestión de residuos medioambientalmente atractiva. La inmovilización en esferas de alginato cálcico de estos eco-adsorbentes presenta, además, numerosas ventajas, como su mayor facilidad de manejo o la disminución de los costes de operación asociados a los procesos de descontaminación de corrientes líquidas. Según lo recogido en la literatura, la utilización de eco-adsorbentes formulados a partir de residuos procedentes de la industria vitivinícola, de otras industrias alimentarias (cerveceras, procesado de cacahuete...) e incluso de la industria maderera, es una alternativa que ofrece buenos resultados en la depuración de aguas residuales procedentes de las bodegas.

La mayor ventaja que presentan estos biomateriales es su versatilidad. El sustrato de partida puede obtenerse a partir de diversos residuos de carácter lignocelulósico y esta tecnología es potencialmente aplicable no sólo a las aguas residuales de la industria vitivinícola, sino a cualquier otro tipo de corriente residual de origen industrial, para la eliminación diversos contaminantes presentes en el efluente, como compuestos coloreados, micronutrientes, metales pesados o productos farmacológicos, entre otros.

Bibliografía

- Beltrán, F.J., García-Araya, J.F., y Álvarez, P.M. (1999). Wine distillery wastewater degradation. 1. Oxidative treatment using ozone and its effect on the wastewater biodegradability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 3911-3918.
- Bustamante, M.A., Paredes, C., Moral, R., Moreno-Caselles, J., Pérez-Espinosa, A. y Pérez-Murcia, M.D. (2005). Uses of winery and distillery effluents in agriculture: Characterization of nutrient and hazardous components. *Water Science and Technology*, 51, 145-151.
- Bustos, G., Carrizales, M.A., Cervantes, E., Vecino, X., y Moldes, A.B. (2014). Treatment of wastewater from sugarcane using entrapped activated carbon. *CyTA-Journal of Food*, 12, 189-194.
- Crini, G. (2006). Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. *Bioresource Technology*, 97, 1061-1085.
- Dabrowski, A. (2001). Adsorption, from theory to practice. *Advances in Colloid and Interface Science*, 93, 153-224.
- Derbyshire, F., Jagtoyen, M., Andrews, R., Rao, A., Martin-Gullon, I., y Grulke, E. (2001). Carbon materials in environmental applications. En: Radovic, L.R. (Ed.), *Chemistry and physics of carbon* (vol. 27, pp. 1-66). New York: Marcel Dekker.
- Devesa-Rey, R., Vecino, X., Varela-Alende, J.L., Barral, M.T., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2011a). Valorization of winery waste vs the cost of not recycling. *Waste Management*, 31, 2327-2335.
- Devesa-Rey, R., Bustos, G., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2011b). Optimisation of entrapped activated carbon conditions to remove coloured compounds from winery wastewaters. *Bioresource Technology*, 102, 6437-6442.
- Draget, K.I., y Taylor, C. (2011). Chemical, physical and biological properties of alginates and their biomedical implications. *Food Hydrocolloids*, 25, 251-256.
- Farinella, N.V., Matos, G.D., y Arruda, M.A.Z. (2007). Grape bagasse as a potential biosorbent of metals in effluent treatments. *Bioresource Technology*, 98, 1940-1946.
- Environmental Protection Agency. EPA (2014). Granular activated carbon. En: *Drinking water treatability database*.
- Hassan, A.F., Abdel-Mohsen, A.M., y Fouda, M.M.G. (2014). Comparative study of calcium alginate, activated carbon, and their composite beads on Methylene Blue adsorption. *Carbohydrate Polymers*, 102, 192-198.

- Johnson, F.A., Craig, D.Q.M., y Mercer A.D., (1997). Characterization of the block structure and molecular weight of sodium alginates. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 49, 639-643.
- Martínez, M., Miralles, N., Hidalgo, S., Fiol, N., Villaescusa, I., y Poch, J. (2006). Removal of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solutions using grape stalk waste. *Journal of Hazardous Materials*, 133, 203-211.
- Marco A., Esplugas S., y Saum G. (1997). How and why to combine chemical and biological processes for wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 35, 231-327.
- Moldes, A.B., Vázquez, M., Domínguez, J.M., Díaz-Fierros, F., y Barral, M.T. (2008). Negative effect of discharging vinification lees on soils. *Bioresource Technology*, 99, 5991-5996.
- OIV (2014). Elementos de coyuntura vitivinícola mundial. *Organización Internacional de la Viña y el vino*. Accesible en: www.oiv.int.
- Paradelo, R., Moldes, A.B., y Barral, M.T. (2009). Treatment of red wine vinasses with non-conventional substrates for removing coloured compounds. *Water Science and Technology*, 59, 1585-1592.
- Perez-Ameneiro, M., Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2014a). Removal of pigments from aqueous solution by a calcium alginate-grape marc biopolymer: A kinetic study. *Carbohydrate Polymers*, 101, 954-960.
- Perez-Ameneiro, M., Vecino, X., Vega, L., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2014b). Elimination of micronutrients from winery wastewater using entrapped grape marc in alginate beads. *CyTA-Journal of Food*, 12, 73-79.
- Perez-Ameneiro, M., Bustos, G., Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2015a). Heterogeneous lignocellulosic composites as bio-based adsorbents for wastewater dye removal: a kinetic comparison. *Water, Air and Soil Pollution*, 226, 133 (10 pp.).
- Perez-Ameneiro, Vecino, X., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2015b). Wastewater treatment enhancement by applying a lipopeptide biosurfactant to a lignocellulosic biocomposite. *Carbohydrate Polymers*. DOI 10.1016/j.carbpol.2015.05.075.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., y Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77, 247-255.
- Romero, E., Salido, A., Cifuentes, C., Fernández, J.D., y Nogales, R. (2006). Effect of vermicomposting process on pesticide sorption capability using agroindustrial wastes. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 86, 289-297.
- Ruggieri, L., Cadena, E., Martínez-Blanco, J., Gasol, C.M., Rieradevall, J., Gabarrell, X., Gea, T., Sort, X., y Sánchez, A. (2009). Recovery of organic wastes in the Spanish wine industry. Technical, economic and environmental analyses of the composting process. *Journal of Cleaner Production*, 17, 830-838.

- Salgado, J.M., Rodríguez, N., Cortés, S., y Domínguez, J.M. (2009). Development of cost-effective media to increase the economic potential for larger-scale bioproduction of natural food additives by *Lactobacillus rhamnosus*, *Debaryomyces hansenii* and *Aspergillus niger*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 10414-10428.
- Satyawali, Y., y Balakrishnan, M. (2007). Removal of color from biomethanated distillery spentwash by treatment with activated carbons. *Bioresource Technology*, 98, 2629-2635.
- Sessa, D.J., y Palmquist, D.E. (2008). Effect of heat on the adsorption of 2,4-dichlorophenol onto activated carbon derived from agricultural waste. *Desalination*, 255, 159-164.
- Sharma, N., Kahur, H., Sharma, M., y Sahore, V. (2011). A review on applicability of naturally available adsorbents for the removal of hazardous dyes from aqueous waste. *Environmental Monitoring and Assessment*, 183, 151-195.
- Sirviö, J.A., Kolehmainen, A., Liimatainen, H., Niinimäki, J., y Hormi, O.E.O. (2014). Biocomposite cellulose-alginate films: Promising packaging materials. *Food Chemistry*, 151, 343-351.
- Torrijos, M., y Moletta, R. (2003). Efluentes vinícolas y procedimientos de tratamiento. En: Flancy, C. (Ed.), *Enología: Fundamentos Científicos y Tecnológicos* (769-778). Madrid, España: Mundi- Prensa.
- Vázquez-Rowe, I., Villanueva-Rey, P., Moreira, M.T., y Feijoo, G. (2012). Environmental analysis of Ribeiro wine from a timeline perspective: Harvest year matters when reporting environmental impacts. *Journal of Environmental Management*, 98, 73-83.
- Vecino, X., Devesa-Rey, R., Moldes, A.B., y Cruz, J.M. (2012). Optimization of batch operating conditions for the decolourization of vinasses using surface response methodology. *Microchemical Journal*, 102, 83-90.
- Vecino, X., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2013). Entrapped peat in alginate beads as green adsorbent for the elimination of dye compounds from vinasses. *Water, Air, and Soil Pollution*, 224, Art. no. 1448.
- Vecino Bello, X., Devesa Rey, R., Cruz Freire, J.M., y Moldes Menduñía, A.B. (2014a). Proceso para la preparación de turba inmovilizada. ES 2430248 (CI. C02F1/28 (2006.01)), 28 Febrero 2014. Solicitud 201.200.457, 3 Mayo 2012. 14 p.
- Vecino, X., Devesa-Rey, R., Moldes, A.B., y Cruz, J.M. (2014b). Formulation of an alginate-vineyard pruning waste composite as a new eco-friendly adsorbent to remove micronutrients from agroindustrial effluents. *Chemosphere*, 111, 24-31.
- Vecino, X., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2015a). Study of the physical properties of calcium alginate hydrogel beads containing vineyard pruning waste for dye removal. *Carbohydrate Polymers*, 115, 129-138.
- Vecino, X., Devesa-Rey, R., Villagrasa, S., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2015b). Kinetic and morphology study of alginate-vineyard pruning waste biocomposite vs non modified vineyard pruning waste for dye removal. *Journal of Environmental Sciences* (in press).

- Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M. y Moldes, A.B. (2015c). Optimization of liquid-liquid extraction of biosurfactants from corn steep liquor. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. DOI 10.1007/s00449-015-1404-9.
- Villaescusa, I., Fiol, N., Martínez, M., Miralles, N., Poch, J., y Serarols J. (2004). Removal of copper and nickel ions from aqueous solutions by grape stalks wastes. *Water Research*, 38, 992-1002.
- Yuan-Shen, L., Cheng-Chung L., y Chyow-San, C. (2004). Adsorption of Cr (III) from wastewater by wine processing waste sludge. *Journal of Colloid and Interface Science*, 273, 95-101.
- Zhang, Q., Xie, M., Guo, X., Zeng, L., y Luo, J. (2014). Fabrication and adsorption behavior for Congo Red of chitosan and alginate sponge. *Integrated Ferroelectrics*, 151, 61-75.
- Zhu, H., Fu, Y., Jiang, R., Yao, J., Xiao, L., y Zeng, G. (2014). Optimization of copper (II) adsorption onto novel magnetic calcium alginate/maghemite hydrogel beads using response surface methodology. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 53, 4059-4066.

Avances en la producción sustentable de alimento animal a partir de residuos fibrosos de la agroindustria azucarera en México

Advances in the sustainable production of animal feed from fibrous residues of Mexican sugar cane agroindustry

*Diana Isis Llanes Gil López⁸
Jorge Aurelio Lois Correa
Gabriela Magdalena Ortega Mulia
María Elena Sánchez Pardo⁹

Resumen

⁸Centro de Investigaciones en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. CICATA-IPN, Unidad Altamira. Km 14.5 Carretera Tampico-Puerto Industrial Altamira 89600. Tamaulipas, México. *Contacto: diana.llanes@ymail.com

⁹Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, ENCB-IPN, México, DF

La caña de azúcar *Saccharum officinarum* origina en su proceso agroindustrial nueve subproductos, dentro de los cuales, por su generación en volumen, es importante mencionar el bagazo, la cachaza, los Residuos Agrícolas de la Caña (RAC) y la melaza (mieles finales), a partir de ellos se generan más de 300 co-productos de valor agregado tales como celulosa y papel, furfural, fármacos, carbón activado, tableros aglomerados, alimento animal, bioetanol, etc. Debido a la arcaica idea en México de solo producir azúcar a partir de la caña, algunos de sus subproductos son considerados residuos, al no ser racionalmente aprovechados. No obstante, algunos residuos fibrosos se utilizan ineficientemente en la alimentación animal debido a sus bajos niveles de digestibilidad. Por consiguiente, los residuos ligno-celulósicos fibrosos como el bagazo y el cogollo para poder ser aprovechados como alimento animal de forma eficiente deben someterse a un pre-tratamiento previo que coadyuve al incremento de sus niveles de digestibilidad. Dentro de ellos se pueden citar, explosión de vapor (*steam explosión*), tratamiento químico (con NaOH, CaOH), con amoníaco y líquidos iónicos entre otros. Estos tratamientos delignifican las fibras facilitando así su asimilación para los animales.

Abstract

Graminae sugar cane *Saccharum officinarum*, generates nine products in its agro-industrial process, from which due to its generation volume it is important to mention bagasse, filter mud, sugar cane agricultural residues, and molasses (final molasses), since from them it is generated over 300 co-products such as cellulose and paper, furfural, drugs, activated carbon, agglomerated boards, animal food and bioethanol among others. Due to the erroneous idea in Mexico of producing only sugar from cane, some of its by-products are considered to be as wastes since they are not rationally exploited and are poorly utilized. However, some fibrous residues are used inefficiently in animal feed because

of low levels of its digestibility. Therefore, the ligno-cellulosic fibrous waste such as bagasse and sugar cane tops in order to be able to be used as animal feed efficiently should have a previous pre-treatment which contributes to increasing their levels of digestibility. Among them, are included, steam (*steam explosion*), chemical treatment (with NaOH, CaOH), ammonia and ionic liquids among others. These treatments reduce the lignin content of the fibers facilitating thus their uptake for animals.

Introducción

Clasificación de subproductos y residuos de la agroindustria azucarera

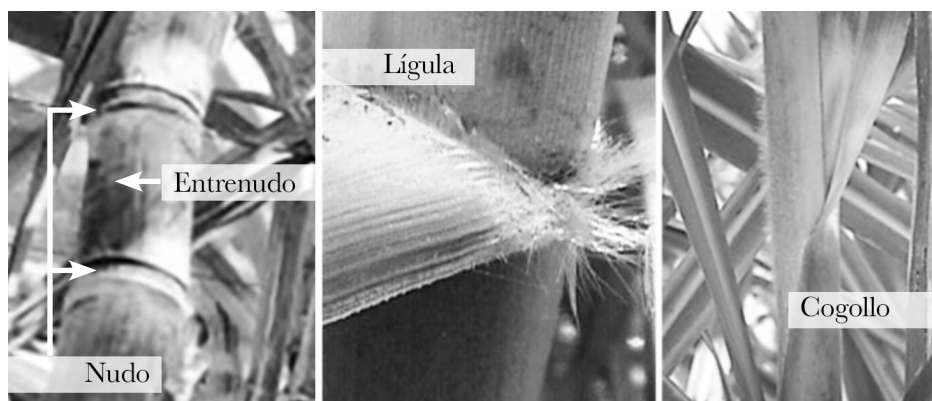


Figura 1. Partes de la caña de azúcar

La caña de azúcar (Fig. 1) pertenece a la tribu *Andropogonae* de la familia *Gramineae*, orden *Glumiflorae*, clase *Monocotyledoneae*, subdivisión *Angiospermae*, división *Embryophitasiphonogama*. La sub-tribu es *Sacharae* y el género es *Saccharum*, derivado del Sánscrito “sarkara = azúcar blanca”, que recuerda que la planta llegó desde la India a la región del Mediterráneo. (Subirós Ruiz, 2000).

En el mundo, los países que cultivan la caña de azúcar se localizan entre la latitud 36.7 °N y 31.0 °S del Ecuador, extendiéndose desde regiones tropicales a subtropicales.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es considerada la planta que más perfeccionados tiene los mecanismos fisiológicos para la producción de sacarosa, pues sus vías fotosintéticas para producirla (C4 o vía ácidos dicarboxílicos) a partir de los azúcares simples, son mecanismos altamente eficientes (Curtis, 2008).

Es una gramínea que, como consecuencia de su proceso agroindustrial, genera nueve subproductos (Fig.2) a partir de los cuales es factible obtener co-productos de alto valor agregado para muchos países y muchos de ellos lamentablemente los consideran como desecho y/o fuente de contaminación.

La caña de azúcar, como ya se mencionó, es una de las principales alternativas para la elaboración de tecnologías sustentables y esto se debe, en gran medida, a su gran contenido energético y a la pluralidad de usos que manifiesta.

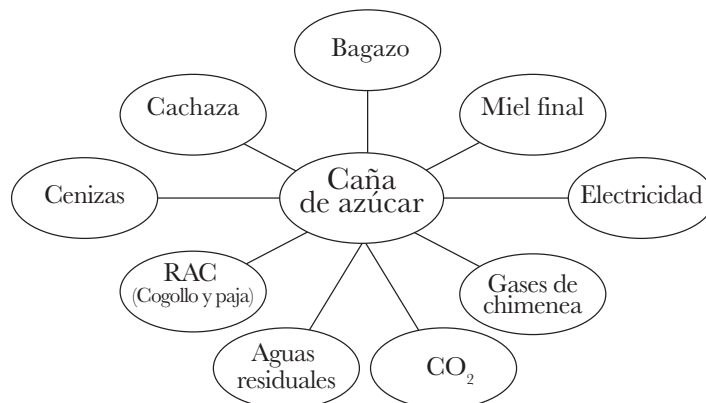
Antecedentes de la alimentación animal a partir de residuos agroindustriales

Los residuos de la agroindustria azucarera han sido utilizados por décadas en la alimentación animal de distintas razas de ganado; los residuos fibrosos se han destinado a alimento para rumiantes (animales con sistema digestivo poligástrico como cabras y reses). Por su parte, las mieles finales o melazas se han venido empleando en la alimentación de aves y porcinos desde hace muchos años.

Por su parte, la cachaza se ha utilizado en diversos campos, Ocampo (1991) empleó la cachaza en la ceba de ganado porcino, como fuente energética obteniendo aumentos en peso de 0.500 g/día. En Cuba, al igual que en otros países, es una práctica frecuente secar la cachaza por períodos de 48 h en capas uniformes y a continuación, suplementarla con bagacillo, residuales líquidos, urea y miel final (Basanta et al, 2007). Por su parte, Hernández (2013) desarrolló un alimento para ganado bovino a base de cachaza suplementado proteicamente con pasta de soya y sorgo. A su vez, Llanes y colaboradores (2012) realizaron un alimento a base de bagazo de caña de azúcar suplementado proteicamente con insumos no convencionales como guácima, hidrolizado de la producción de transglutaminasa y maralfalfa (*Pennisetumsp*). Mientras que Ortiz-Rubio (2007) desarrolló experimentos para determinar la suplementación de nitrógeno necesaria en cuatro dietas para ganado bovino basadas en cogollo de caña de azúcar, y determinó que este último es una fuente potencial de forraje para el ganado, pero como único alimento es deficiente en nitrógeno. Sin embargo, es posible suministrar este nitrógeno por 100 g PM / kg DM, 8 g de urea / kg DM o 500 g de suplemento proteico/energético, para satisfacer las necesidades de los microorganismos del rumen para el nitrógeno fermentable en la dieta a bases de cogollo de caña de azúcar.

En cuanto a la utilización de mieles finales o melaza se han tenido experiencias de alimentos ricos en energía y suplementados con cereales. Berman (2011) desarrolló un alimento para ganado bovino donde utilizó melaza, óxido de calcio, pre-mezcla de vitaminas y minerales, cogollo de caña de azúcar, pasto maralfalfa (*Pennisetumsp*) y el subproducto del hidrolizado en la producción de transglutaminasa. Obteniendo resultados favorables. En la utilización de melaza también se ha trabajado con la sustitución de esta última por granos en dietas para ganado de leche y su influencia en el perfil de ácidos grasos de la leche (Silverson, 2014). En laFig. 2 se muestran los subproductos de la caña de azúcar.

Figura 2. Sub-productos de la Caña de Azúcar (Lois, 2015)



Tecnología de la alimentación animal

Debido a la composición fibrosa (celulosa, hemicelulosa y lignina) de la mayoría de los residuos de la agroindustria azucarera como el cogollo, bagazo, paja, hojas secas o caña integral; es necesario, para una correcta utilización de estos residuos, un tratamiento que permita disminuir el contenido de lignina en los mismos, aumentando paralelamente la digestibilidad de las fibras. Dentro de estos tratamientos se encuentran los físicos como *steam explosión* que emplean vapor a altas temperaturas para delignificar y fraccionar las fibras (Öhgren et al. 2007; Rocha et al. 2012); también existen los tratamientos químicos con álcalis (Chen et al., 2011, Orta, 2015) o con ácidos (Rodríguez-Chong et al., 2004; Gámez et al., 2006, Ferrer et al., 2002) y combinaciones como los tratamientos como despresurización amoniacal (Bals et al., 2010) y líquidos iónicos (Talebnia et al., 2010). Todos ellos convierten la compleja estructura de grupos funcionales aromáticos presentes en la lignina en monómeros más fácilmente degradables por la flora ruminal.

Otra parte importante a tener en cuenta dentro de las tecnologías de los alimentos es la suplementación proteica, ya que juega un papel muy importante en el correcto desarrollo del ganado y de la funcionalidad de los alimentos, ya que el alimento voluminoso representado por esquilmos y forrajes no es suficiente para una correcta alimentación de ganado bovino.

Metodología Experimental

Preparación de la muestra

Se utilizó bagazo de caña de azúcar del ingenio azucarero “FAGSA”, ubicado en el municipio de Pánuco, estado de Veracruz. Como preparación previa, el bagazo fue secado al sol para evitar la generación y proliferación de hongos provocado por la fermentación de los azúcares que lo componen; para homogenizar la muestra, se realizó un cribado en malla de 0.5 mm de luz, equivalente a un tamiz 32 Tyler.

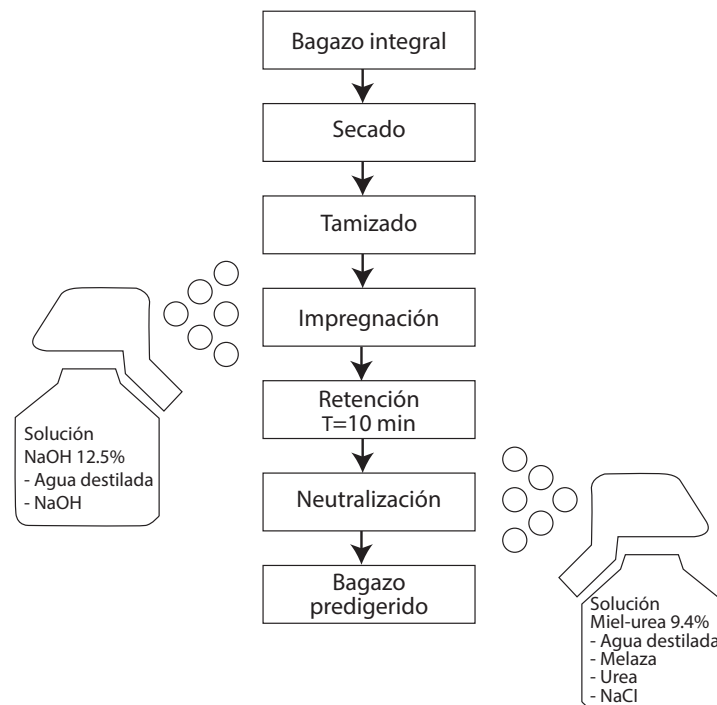


Figura 3. Metodología experimental. (Elaboración propia)

Pre-tratamiento alcalino

El tratamiento alcalino consistió en la aplicación por aspersión dentro de una mezcladora para alimentos en movimiento continuo, de una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 12.5%, al bagazo de caña de azúcar preparado (seco y tamizado), permitiendo su impregnación durante 10 minutos y finalmente neutralizando la reacción con una solución de miel-urea al 9.4%; tanto la preparación del bagazo, como el pre-tratamiento alcalino se ilustran en la Figura 3, a manera de diagrama de bloques.

Evaluación del pre-tratamiento

- *Microscopía Confocal con Barrido Láser (MCBL)*

Es una microscopía capaz de obtener secciones ópticas, lo que permite el estudio tridimensional de las muestras, además de producir imágenes con mayor nitidez, contraste y resolución que la microscopía óptica tradicional. Para observar los cambios en la fibra producidas por el tratamiento alcalino, se analizó el bagazo integral y el bagazo pre-digerido. Se trabajó con un microscopio modelo LSM 710 marca *Carl Zeiss*, con un láser 405 nm.

- *Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)*

Esta técnica hace incidir un haz de electrones emitidos por un cátodo de tungsteno, que pasan a través de una columna en condiciones de vacío, a manera de pincelada o barrido sobre la superficie de una muestra, permitiendo apreciar los cambios morfológicos y texturales que sufre un material al ser expuesto a un tratamiento determinado, como en el caso del tratamiento alcalino. Para este trabajo se utilizó un microscopio marca *Quanta 3DFEG*, a condiciones de bajo vacío (de 10 a 130 Pa), con 150 kV, a una distancia de 10 mm.

- *Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (IRTF)*

Esta técnica hace incidir un haz de luz infrarroja sobre una muestra, provocando, entre otros efectos, estiramientos característicos de los grupos funcionales presentes. De esta manera se logró observar el efecto del tratamiento alcalino sobre la estructura de la molécula de lignina. Se estudió el espectro en la región de 900 a 1200 cm^{-1} , que corresponde a la región de absorción del bagazo de caña de azúcar, el equipo que se utilizó fue un *Horiba 50BW* y *VON LabRam* Modelo HR80.

- *Digestibilidad in vitro (DIIV)*

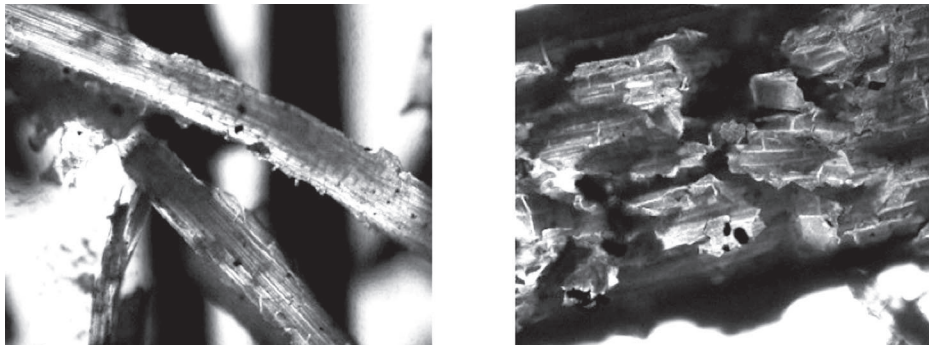
Éste análisis permite conocer el grado de aprovechamiento nutricional potencial de un alimento, reproduciendo las condiciones ruminales, utilizando saliva artificial (saliva de *McDougall* 1948) y una muestra de líquido ruminal extraído de un animal fistulado.

Para esta determinación se realizaron análisis al bagazo integral y al bagazo pre-tratado alcalinamente, comparando los resultados con los del pasto estrella, típico de la región sur del estado de Tamaulipas.

Resultados y discusión

- *Microscopía Confocal con Barrido Láser (MCBL)*

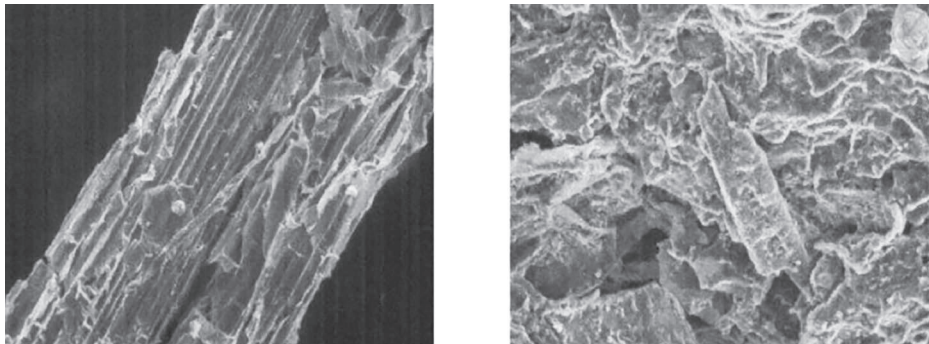
En la Figura 4 se puede apreciar una comparación de las micrografías de (4a) bagazo integral y (4b) bagazo pre-tratado, pudiéndose apreciar la fragmentación del material fibroso por la acción del agente alcalino, se aprecia la delignificación de la fibra debido a la fluorescencia de la lignina (Tiango, 2014).



a. b.
 Figura 4. Micrografías MCBL
 (Elaboración propia)

• *Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)*

En la Figura 5 se puede apreciar el efecto del tratamiento alcalino sobre la fibra del bagazo de caña de azúcar, en las micrografías de (5a) bagazo integral y (5b) bagazo pre-tratado, pudiéndose de igual manera, observar la fragmentación del material fibroso.



a. b.
 Figura 5. Micrografías MEB
 (Elaboración propia)

• *Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (IRTF)*

En el espectro IR del bagazo sin tratamiento (BP0) de la figura 6, se observan absorciones características de los grupos OH⁻ alcohólico de polisacáridos y OH⁻ fenólicos de la lignina en la región de 3400 cm⁻¹, así mismo se pueden observar las propias para los grupos carbonilo en 1 124 cm⁻¹ y éster en 1730 cm⁻¹ (Rezende, 2011), todos ellos, grupos funcionales característicos de la lignina. Tales señales se observan disminuidas en el espectro del bagazo pre-digerido (BPS), fundamentalmente en la banda de los grupos carbonilo.

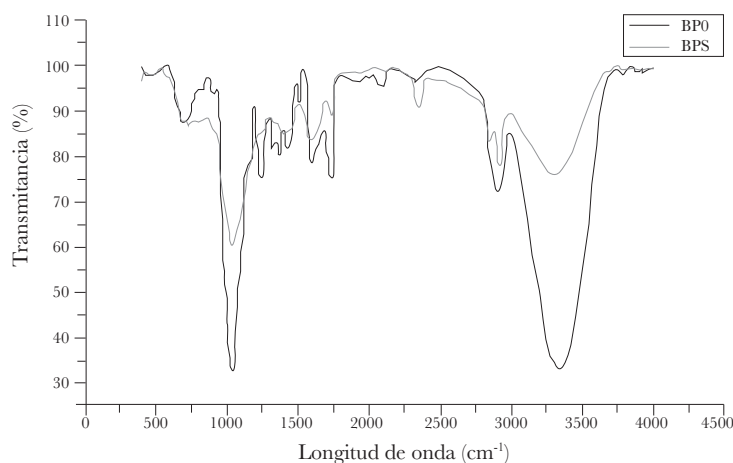


Figura 6. Espectros BP0 y BPS de IRTF (Elaboración propia)

- *Digestibilidad in vitro (DIIV)*

En la prueba de DIIV (Mishra, 2000) se observa un aumento de la digestibilidad del bagazo integral con 32% al bagazo pre-digerido con un 60.33 %, cuyos resultados son notablemente mayores al del pasto estrella, que reporta una digestibilidad de 51%.

Conclusiones

El pre-tratamiento alcalino, basado en una solución al 12.5% de NaOH, con un tiempo de retención de 10 minutos, permitió la pre-digestión del componente fibroso del bagazo de caña de azúcar, mostrando en los estudios morfológicos por MCBL y MEB cambios y rupturas en la textura de la fibra, de igual manera, se puede observar por IRTF una disminución en los grupos funcionales característicos de la lignina, indicando una despolimerización, siendo la información complementada con el aumento significativo del porcentaje de la digestibilidad en DIIV.

Bibliografía

- Bals B, Rogers C, Jin M, Balan V, Dale B. (2010) Evaluation of ammonia fiber expansion (AFEX) pretreatment for enzymatic hydrolysis of switchgrass harvested in different seasons and locations. *BiotechnolBiofuels*. 3 (1): 1-11. Available from: <http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/3/1/1>.
- Berman Delgado, Josué Benito (2011) Desarrollo de alimento animal melazado enriquecido proteicamente con sub-productos no convencionales y subproductos de la caña de azúcar, para engorde de ganado bovino en etapa de finalización. Tesis de Maestría en Tecnología de Avanzada. CICATA-IPN-Altamira, Tam., México Pp 22-25
- Chen WH, Ye SC, Sheen HK. (2011) Hydrolysis characteristics of sugarcane bagasse pretreated by dilute acid solution in a microwave irradiation environment. *Appl Energ*. 2011; 93: 237-244.
- Curtis Helena, Adriana Schnek, Curtis. (2008) *Biología* Ed. Médica Panamericana, ISBN 9500603349, 9789500603348.
- Ferrer, et al., (2002). Kinetics of the acid hydrolysis of sugar cane bagasse pith. *La Universidad de Zulia (LUZ)*, 19: 23-33, p. 24.
- Hernández Leal, Rocío (2013) Conversión de la cachaza azucarera en un co-producto de valor agregado para la alimentación de ganado bovino en un marco de desarrollo sustentable. Tesis de Maestría en Tecnología de Avanzada. CICATA-IPN-Altamira, Tamaulipas. Pp. 70-76
- Lois Correa, Jorge A., (2015) Consideraciones de base para una propuesta de diversificación de la agroindustria del azúcar de caña. Extenso de conferencia magistral en el marco del 7 ° *Congreso Internacional de la Academia Mexicana Multidisciplinaria Ciencia, Tecnología e Innovación en Movimiento*.
- Llanes Gil López, Diana I. (2012) Desarrollo Técnico y económicamente viable de harinas forrajeras pre digeridas y enriquecidas proteicamente a partir de bagazo de caña de azúcar. Tesis de Maestría en Tecnología de Avanzada. CICATA-IPN-Altamira, Tam., México. 2012, pp. 90-91.

- McDougall E. I (1948). Studies on ruminant saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva, *Biochem J.* 1948; 43(1): 99–109.
- Mishra A.S., O.H. Chaturvedi, Ananta Khali, R. Prasad, A. Santra, A.K. Misra, S. Parthasarathy, R.C. Jakhmola (2000) Effect of sodium hydroxide and alkaline hydrogen peroxide treatment on physical and chemical characteristics and IVOMD of mustard Straw. *Animal Feed Science and Technology* 84 (2000) 257±264
- Orta Guzmán V. (2015) Cogollo de caña de azúcar tratado alcalinamente y suplementado para alimento de ganado bovino. Extenso de conferencia en el marco del 27 ° *Encuentro Nacional de Investigación Científica y Tecnológica del Golfo de México.*
- Öhgren K, Vehmaanperä J, Siika-Aho M, Galbe M, Viikari L, Zacchi G. (2007) High temperature enzymatic prehydrolysis prior to simultaneous saccharification and fermentation of steam pretreated corn stover for ethanol production. *Enzyme Microb Technol.* 2007; 40 (4): 607-613.
- Ortiz-Rubio, M.A., E.R. Ørskov, J. Milne, H.M.A. Galina. (2007) Effect of different sources of nitrogen on *in situ* degradability and feed intake of Zebu cattle fed sugarcane tops (*Saccharum officinarum*) *Animal Feed Science and Technology Volume 139, Issues 3–4, 15 December 2007, Pages 143–158.*
- Rezende, C. A., de Lima, M. A., Maziero, P., de Azevedo, E. R., Garcia, W., & Polikarpov, I. (2011). Chemical and morphological characterization of sugarcane bagasse submitted to a delignification process for enhanced enzymatic digestibility. *Biotechnology for Biofuels*, 4, 54. doi:10.1186/1754-6834-4-54.
- Rocha GJM, Martin C, Soares IB, Souto-Maior AM, Baudel HM, Moraes CA. (2011) Dilute mixed-acid pretreatment of sugarcane bagasse for the ethanol production. *Biomass Bioenergy.* 2011; 35: 663-670.
- Rocha GJM, Gonçalves AR, Oliveira BR, Olivares EG, Rossell, CEV. (2012) Steam explosion pretreatment reproduction and alkaline delignification reactions performed on a pilot scale with sugarcane bagasse for bioethanol production. *Ind Crop Prod.* 2012; 35: 274-279.
- Rodríguez-Chong A, Ramírez JA, Garrote G, Vázquez M. (2004) Hydrolysis of sugarcane bagasse using nitric acid: a kinetic assessment. *J Food Eng.* 2004; 61: 143-152.
- Rodríguez-Couto S, Rodríguez A, Paterson RRM, Lima N, Teixeira JA. High laccase activity in *Siverson A.*, C.F. Vargas-Rodríguez, B.J. Bradford. (2014) *Short communication:* Effects of molasses products on productivity and milk fatty acid profile of cows fed diets high in dried distillers grains with solubles. *Journal of Dairy Science* Volume 97, Pages 3860–3865. doi:10.3168/jds.2014-7902.
- Subirós Ruiz Fermín, (1995) Cultivo de la Caña de Azúcar, Editorial EUNED, ISBN 9977648115, 9789977648118.
- Sun Y, Cheng J. (2002) Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bio resour Technol.* 2002; 83: 1-11.
- Talebnia F, Karakashev D, Angelidaki I. (2010) Production of bioethanol from wheat straw: an overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. *Bioresour Technol.* 2010; 101: 4744-4753.

Tiago A. Chimenez • Marcelo H. Gehlen • Karen Marabezi • Antonio A. S. Curvelo (2014)

Characterization of sugarcane bagasse by autofluorescence microscopy. *Cellulose* (2014) 21:653–664 DOI 10.1007/s10570-013-0135-9.

Potencial de los fertilizantes biológicos fermentados para la producción sustentable de hortalizas en el sur de Tamaulipas

Potential Biological Fermented Fertilizer for Sustainable Vegetable Production in Southern Tamaulipas

*Hermilo Lucio Castillo¹⁰
Epifanio Míreles Rodríguez
Joel Ávila Valdez
Sergio Castro Nava¹¹
Rolando Ávila Ayala¹²

Resumen

¹⁰Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica Multidisciplinaria Mante Centro. Blvd. Enrique Cárdenas González # 1201 Pte, CP 89840. El Mante Tamaulipas.

¹¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario Adolfo Ruiz Cortínez

¹²INIFAP CIR Noreste Campo Experimental San Luis. *Contacto: helucioc@uat.edu.mx

La nutrición en el cultivo suele convertirse en un problema relevante cuando existe poco uso de fertilizantes y desconocimiento en la forma de suministrarlos. Se reconoce que un eficiente empleo de los mismos, entre otras ventajas, permite acelerar el crecimiento vegetativo, aumentar la precocidad en la floración y promover una conveniente relación simbiótica con hongos endomicorrízicos.

Existe un sinnúmero de fertilizantes líquidos orgánicos fermentados (FLOF) como leche o suero, sales minerales, estiércol de rumiantes y el agua. Los FLOF son abonos foliares que se producen de la fermentación y descomposición de materiales orgánicos como el estiércol, frutas y otros, gracias a la labor realizada por microorganismos especializados. Dicho abono provoca un efecto positivo en el crecimiento y nutrición de las plantas, lo cual aumenta la productividad de las mismas. Además sirve de repelente de insectos y minimiza el impacto al medio ambiente (Mazariegos y Colindres, 2002). Los FLOF son productos que son fáciles de elaborar por los productores en sus unidades de producción pecuaria (UPP) con materias primas obtenida de la misma UPP lo cual reducirá los costos por compra de fertilizantes foliares comerciales y además el daño que puede provocar estos productor tanto para la salud del productor y su familia como del medio ambiente.

Los microorganismos utilizados en los biofertilizantes son clasificados dentro de dos grupos: El primer grupo incluye microorganismos que tienen la capacidad de sintetizar sustancias que promueven el crecimiento de la planta, fijando nitrógeno atmosférico, solubilizando hierro y fósforo inorgánico y mejorando la tolerancia al stress por sequía, salinidad, metales tóxicos y exceso de pesticidas, por parte de la planta. El segundo grupo incluye microorganismos los cuales son capaces de disminuir o prevenir los efectos de deterioro de microorganismos patógenos (Bashan y Holguin, 1998; Lucy et al., 2004).

Tamaulipas cuenta con 1 millón 665 mil 554 has dedicadas a la actividad agrícola, de las cuales 1 millón 109 mil 648 son de temporal y 555 mil 906 de riego; esta superficie representa al 21% del territorio estatal. En este subsector se concentra el 71% de los productores del sector agropecuario y pesquero del

estado, al contar con poco más de 98 mil 900 productores. A nivel nacional Tamaulipas aporta el 3% del valor de la producción agrícola del país, y ocupa destacadas distinciones en la producción de sorgo, maíz, soya, algodón, cártamo, cebolla, okra, chile verde, naranja y caña de azúcar. La entidad cuenta con una superficie de 4 millones 809 mil 434 hectáreas dedicadas a la actividad pecuaria, de las cuales 3 millones 703 mil 207 hectáreas son de agostadero y 1 millón 106 mil 227 hectáreas de praderas, esta superficie representa al 60% del territorio estatal. En este subsector se concentra el 22.5% de los productores del sector agropecuario y pesquero del estado, al contar con poco más de 31 mil 500 productores (Anónimo, 2003).

Palabras claves: Fertilizantes biológicos, sustentable, biofertilizantes.

Abstract

Nutrition in culture often becomes a significant problem when there is little use of fertilizers and lack of knowledge in how to provide them. It is recognized that an efficient use of them, among other benefits, accelerates vegetative growth, increasing precocity in flowering and promoting appropriate endomycorrhizal symbiotic relationship with fungi.

There are countless of fermented organic liquid fertilizer (FLOF) as milk or whey, minerals, ruminant manure and water. The FLOF foliar fertilizers are produced from the fermentation and decomposition of organic materials such as manure, fruit and others, thanks to the work done by specialized microorganisms. Such payment causes a positive effect on growth and plant nutrition, which increases the productivity of the same. It also serves as insect repellent and minimizes the impact on the environment (Mazariegos and Colindres, 2002). The FLOF are products that are easy to make by producers of livestock production units (UPP) with raw materials obtained in the same UPP which will reduce costs by purchasing commercial foliar fertilizers and also the damage that can cause these producer both to the health of farmers and their families and the environment.

The microorganisms used in the biofertilizer are classified into two groups: The first group includes microorganisms having the ability to synthesize substances that promote plant growth, fixing atmospheric nitrogen, solubilizing iron and inorganic phosphorus and improving tolerance to drought stress, salinity, excess toxic metals and pesticides, by the plant. The second group includes microorganisms which are capable of reducing or preventing the deleterious effects of pathogens (Bashan and Holguin., 1998; Lucy et al, 2004).

Tamaulipas has a “surface” of 1 million 665,554 hectares. They engaged in agricultural activity, of which 1 million are 109 648 554 temporary and 555,906 irrigation; This area represents 21% of the state territory. In this subsector, 71% of the producers of the agriculture and fisheries sector is concentrated state, to have little more than 98 thousand 900 producers. Nationally Tamaulipas contributes 3% of the value of agricultural production in the country, and occupies leading distinctions in the production of sorghum, corn, soybean, cotton, safflower, onions, okra, green pepper, orange and sugar cane. The company has an area of 4 million 809, 434 hectares dedicated to the

cattle activity, of which 3 million 703 207 hectares are pasture and 1 million 106, 227 hectares of grassland, this area represents 60% of the state. In this subsector 22.5% of the producers of the agricultural and fisheries sector is concentrated state, to have a little over 31 thousand 500 producers (Anonymous, 2003).

Keywords: organic, sustainable fertilizers, bio-fertilizers.

Microorganismos utilizados como biofertilizantes

Los microorganismos que intervienen en la fijación biológica de nitrógeno atmosférico (FBNA) consistente en la reducción enzimática de nitrógeno (N_2) a amonio (NH_4), podemos clasificarlos en dos grupos a) microorganismos (bacterias hongos y algas) que fijan nitrógeno en forma no simbiótica o de vida libre y b) microorganismos que fijan el nitrógeno en forma simbiótica con plantas leguminosas y no leguminosas (gramíneas y otras), las mayores cantidades de nitrógeno atmosférico fijado surgen de leguminosas en asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium* (Richards, 1987). En las bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre se encuentran los géneros más estudiados que son *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia* y *Klebsiella*, los cultivos en donde ha sido más estudiado este proceso de fijación de nitrógeno son: caña de azúcar, arroz, sorgo, trigo y pastos tropicales forrajeros, donde la fijación de N_2 por bacterias asociativas y de vida libre es importante (Döbereiner et al., 1995).

La biofertilización es una tecnología que está vinculada con la inclusión de microorganismos en las semillas (inoculación), dentro de los que se encuentran las micorrizas versículo arbusculares (MVA). Estos microorganismos aportan nitrógeno y fósforo a los vegetales, y también tienen otras funciones no menos importantes: desarrollo radical más abundante y efecto protector contra enfermedades fúngicas de la raíz (Gabriel, 2009 citado por Espinoza et al, 2000). La utilización de los biofertilizantes en los sistemas agrícolas productivos es una alternativa viable para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible. De esa manera, se han incrementado para la introducción de organismo y componentes biorreguladores del suelo y las plantas. La inoculación con bacterias rizosféricas, hongos endomicorrizógenos, la adición de materia orgánica y otras prácticas de cultivo, son alternativas que pueden ser empleadas con éxito en la agricultura actual, teniendo una repercusión favorable en la producción y el ambiente (Terry et al, 2002).

¿Qué son los biofertilizantes?

Los biofertilizantes, son súper abonos líquidos con mucha energía equilibrada y en armonía mineral, preparados a base de estiércol de vaca. Es un producto muy fresco, disuelto en agua y enriquecido con leche, melaza y ceniza, que se ha colocado a fermentar por varios días en toneles o tanques de plástico, bajo un sistema anaeróbico y muchas veces enriquecido con harina de rocas molidas o algunas sales minerales; como los sulfatos de magnesio, zinc, cobre, etc.

El lombricompost es una opción sustentable para el mantenimiento de suelos saludables y productos resistentes, como resultado de la lombricultura que consiste en la utilización de la lombriz roja californiana para el reciclaje del material orgánico. La técnica de la lombricultura es una biotecnología en la que se usa un ser vivo y una técnica como el riego, alimentación y composteo

del alimento, adecuado para el trato de esta lombriz. El material orgánico, consumido por la lombriz, produce un humus o abono orgánico que sirve como fertilizante para todo tipo de cultivos, que ofrece como una de sus propiedades la formación de micorrizas, que son pequeñas raíces que permiten afianzarlas y asegurarles una buena absorción de agua (Míreles, 2014).

Esta lombriz puede comer hasta cartón, sin embargo, en el manejo que se realiza, privilegia la nutrición de hortalizas, que proporcionan micro elementos como zinc, boro y hierro, así como estiércol, que brinda al compuesto nitrógeno, fósforo y potasio, elementos requeridos para un sano crecimiento de las plantas. El fertilizante resultado de este proceso, se puede encontrar en dos formas: sólido y líquido.

El fertilizante líquido, puede ser utilizado en los sistemas de riego en plantíos, mientras que el sólido se utiliza cuando la tierra es muy salina, así como para brindar micro elementos a las plantas durante el trasplante.

¿Para qué sirven los biofertilizantes?

Sirven para nutrir, recuperar y reactivar la vida del suelo, fortalecer la fertilidad de las plantas y la salud de los animales, al mismo tiempo que sirven para estimular la protección de los cultivos contra el ataque de insectos y enfermedades. Además sirven para el aumento de la capacidad del suelo para retener agua, mejores condiciones físicas para el desarrollo de las raíces y aumentar la actividad microbiana en el suelo. Sirven para sustituir los fertilizantes químicos altamente solubles de la industria, los cuales son muy caros y vuelven dependientes a los campesinos, haciéndolos cada vez más pobres (Rivera, 2007).

Hay dos tipos de biofertilizantes, los aeróbicos que se producen en presencia de oxígeno y los anaeróbicos que se elaboran en ausencia del mismo. También existen los biofertilizantes enriquecidos, cuando se les añaden compuestos o elementos minerales para tener un producto que aporte nutrientes a las plantas (FAO, 2013).

¿Cómo funcionan los biofertilizantes?

Funcionan principalmente en el interior de las plantas, activando el fortalecimiento del equilibrio nutricional como un mecanismo de defensa de las mismas, a través de los ácidos orgánicos, las hormonas de crecimiento, antibióticos, vitaminas, minerales, enzimas y co-enzimas, carbohidratos, aminoácidos y azúcares complejas, entre otros, presentes en la complejidad de las relaciones biológicas, químicas, físicas y energéticas que se establecen entre las plantas y la vida del suelo. Los biofertilizantes enriquecidos con cenizas o sales minerales, o con harina de rocas molidas, después de su periodo de fermentación (30 a 90 días), estarán listos y equilibrados en una solución tampón y coloidal, donde sus efectos pueden ser superiores de 10 a 100 000 veces las cantidades de los micronutrientes técnicamente recomendados por la agroindustria para ser aplicados foliarmente al suelo y a los cultivos (Rivera, 2007).

La preferencia por estos abonos líquidos estriba en:

- a) Que pueden aplicarse de muchas maneras incluyendo el agua de riego que puede ser por gravedad o presurizada.
- b) Fácil manejo por las motobombas que reducen jornales.

c) No requieren equipo especializado para su almacenamiento y aplicación

d) Se tiene mejor control de la cantidad aplicada al manejarse en volumen y no en peso (Armenta-Bojórquez, et al. 2010)

Generalidades de la agricultura orgánica

La agricultura orgánica es la implementación agropecuaria en sistemas de producción que no utilizan productos químicos sintéticos, los cuales minimizan el impacto sobre el ambiente. Estos sistemas son capaces de producir alimentos sanos y abundantes.

El objetivo primordial de la agricultura orgánica es producir al menor costo, de forma más segura, amigable con el ambiente y mantener la salud tanto de las plantas, del suelo y del agricultor (Restrepo, 1998 citado por Mazariegos y Colindres, 2002).

Se tiene conocimiento que la agricultura orgánica es una pequeña parte de la actividad económica mundial. Sin embargo, en países como Austria y Suiza ha llegado a representar hasta un 10% de la seguridad alimentaria. En Estados Unidos, Japón, Francia y Singapur, se registran tasas anuales de crecimiento en el sector agrícola mayores al 20% (FAO, 1999).

La agricultura orgánica es una buena alternativa para la exportación ya que los precios superan un 20% a los productos convencionales (FAO, 1999).

La demanda de productos orgánicos ha creado también nuevas oportunidades de exportación para el mundo en desarrollo. Como ningún país puede satisfacer la demanda de una variedad de alimentos orgánicos producidos dentro de sus fronteras durante todo el año, muchos países en desarrollo han comenzado a exportar con éxito productos orgánicos, por ejemplo, frutas tropicales para la industria europea de los alimentos infantiles, hierbas de Zimbabwe a Sudáfrica; seis países de África exportan algodón a la Comunidad Europea.

La rotación de los cultivos propicia la diversidad de los cultivos alimenticios, la producción de forrajes y una utilización insuficiente de algunas plantas, lo que además de mejorar la producción global y la fertilidad de los ranchos puede contribuir también a la conservación de recursos fitogenéticos en ellas. La integración de la ganadería en el sistema hace que aumenten los ingresos gracias a la carne, los huevos y los productos lácteos, así como a la fuerza de tracción animal. La arboricultura y la silvicultura integradas en el sistema agrícola proporcionan sombra y abrigo contra el viento, al tiempo que suministran alimentos, ingresos, combustible y madera. Diversos sistemas de agricultura orgánica incorporan también la agricultura y la acuicultura.

Perspectivas de los biofertilizantes

El aumento de la concientización sobre el cuidado del medio ambiente y la evidencia del deterioro ambiental que causan los agroquímicos ha hecho que los productores agrícolas, vean como buena alternativa la aplicación de los biofertilizantes ya que en la actualidad se usan bacterias promotoras de crecimiento de las plantas y hongos micorrízicos, entre los productores de plántulas en invernaderos y viveros, así como el incremento de microempresas

productoras de abonos orgánicos que incluyen los biofertilizantes y la producción de estos insumos por los propios productores, que los introducen a un manejo más sustentable del suelo, estas prácticas van en aumento tanto en agricultura orgánica como convencional, sobre todo en el noroeste del país, aun siendo donde se tiene la tecnología agrícola más avanzada. Se está adoptando una estrategia de suministro de nutrientes a los cultivos (hortalizas y cultivos de grano), integrando una inteligente combinación de fertilizantes orgánicos, humus de lombriz y biofertilizantes; todo ello dentro del marco de la sustentabilidad, para reducir los daños causados al ambiente y a la salud del hombre y los animales por los métodos irracionales que se han empleado en las últimas décadas (Fundación Produce, 2006).

Conclusiones

La utilización de cepas nativas de microorganismos en la elaboración de biofertilizantes, presentan mayor posibilidades de efectividad en el campo, por estar adaptados a las condiciones del suelo de cada región.

La recomendación del uso de biofertilizantes, debe hacerse inicialmente como un complemento a la fertilización sintética, con visión de sustituirla a mediano o largo plazo de acuerdo a las condiciones de suelo, manejo y respuesta del cultivo.

El fósforo es uno de los nutrientes más limitados en nuestra agricultura y de gran importancia para la nutrición vegetal. Actualmente se realiza un esfuerzo global por desarrollar plantas y asociaciones planta-microorganismos que permitan el uso más eficiente del fósforo de suelo y de los fertilizantes. La eficiencia con la cual las plantas son capaces de acceder al fósforo del suelo a través de los microorganismos pudiera ser de considerable beneficio tanto económico como medioambiental.

Bibliografía

- Armenta-Bojórquez, A.D; García, G, C., Camacho, B, J. R., Apodaca, S.M. A., Montoya, L. G. Y Nava, P. E. 2010.
- Anónimo, 2003. Fundación Produce Tamaulipas, AC. Identificación de las Cadenas Productivas Prioritarias en el estado de Tamaulipas.
- Bashan Y. and Holguin, G. 1998. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol PGBP (plant growth-promoting bacteria) and PGBP. *Soil Biol. Biochem.* 30, 1225-1228.
- Dobereiner, J. & et al. 1995. Alternatives for nitrogen of crop in tropical agriculture. *Nitrogen Economy in tropical soil. Fertilizar Research.* 42:339-346.
- Espinosa Moreno, Jorge A.; Gaytán Acuña, E. Araceli; Becerril Román, A. Enrique; Jaén Contreras, David; Trejo López, Carlos. Fertilización Química y Biológica de *Phalaenopsis* (orchidaceae) en Condiciones de Invernadero *Terra Latinoamericana*, vol. 18, núm. 2, abril-junio, 2000, pp. 125-131 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.

- FAO. 1999. La agricultura orgánica. La demanda de productos orgánicos ha creado nuevas oportunidades de exportación para el mundo en desarrollo (en línea) consultado 25 junio 2015 disponible en <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/esp/revista/9901sp3.HTM>
- FAO. 2013. Los Biopreparados para la producción de hortalizas en la agricultura urbana y periurbana. (en línea) consultado 25 junio 2015 disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3360s>
- Lucy, M., Reed, E., Glick, B.R. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie Van Leeuwenhok*. 86, 1-25.
- Mazariegos, S y Colindres, C, 2002. Producción de chile picante (*capsicum frutescens* L) con y sin presencia de arvenses y bajo 5 concentraciones de abonos líquidos orgánicos fermentados en las Mercedes de Guácimo, Costa Rica, Guácimo Costa Rica EART. 44.p
- Míreles, A. F. 2014. Producen fertilizantes de lombrices. Periódico La Verdad de Tamaulipas. Fecha 10-04-2014. (en línea) Consultado 26 junio disponible. Laverdad.com.mx/desplegar_noticia.php?seccion=LOCAL¬a=183904.
- Richard, B. N. 1987. The microbiology of terrestrial ecosystem. LST; John Wiley and Sons. Inc. New York. 327-329.pp
- Rivera, R. J.; 2007. Manual Práctico; ABC de la Agricultura Orgánica y Panes de Piedra. Cali, Colombia. P.106.
- Terry, E, Z., Z, Terán, R, Martínez-V y Pino, M, A. 2002. Biofertilizantes, una alternativa promisorio para la producción hortícola en organopónicos. En: Cultivos tropicales. Vol. 23 no.3 La Habana Cuba. p.43-46

Inocuidad y calidad alimentaria

Food safety and quality

Nubia R. Rodríguez Durán¹³
Ofelia Bustos Vázquez
Alfredo del Ángel
Nadia A. Rodríguez Durán
*Ma. Guadalupe Bustos Vázquez

Resumen

¹³Unidad Académica Multidisciplinaria Mante- Centro. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Blvd. E. C. González 1201 Col. Jardín. Cd. Mante, Tamaulipas. CP. 89840. Contacto: gbustos@gmail.com

La calidad de los alimentos puede medirse mediante atributos sensoriales, nutricionales, funcionales, comerciales y de inocuidad, un alimento de calidad es aquel que satisface las necesidades del cliente y cumple con la normatividad y estándares internacionales. La calidad de los alimentos se puede ver afectada por agentes del medioambiente, fallas en los procedimientos y errores humanos. La inocuidad de los alimentos es de suma importancia debido a que las enfermedades transmitidas por alimentos tienen gran impacto en la salud pública. Los alimentos pueden contaminarse en cualquier eslabón de la cadena que va desde la producción hasta el consumo, los peligros pueden ser físicos, químicos y biológicos y se deben reducir o eliminar, para ello es necesario implementar un programa de aseguramiento de la inocuidad y calidad alimentaria.

Abstract

The food quality can be measured by sensory, nutritional, functional, commercial and safety attributes, is a quality food that meets customer needs and comply with regulations and standards. The food quality can be affected by environmental agents, faulty procedures and human errors. The food safety is paramount because food borne diseases have major impact on public health. Food can become contaminated at any link in the chain from production to consumption; hazards can be physical, chemical and biological and should reduce or eliminate, It is therefore necessary to implement a safety assurance and food quality.

Introducción

La población mundial crece aceleradamente y la agricultura debe crecer con ella para satisfacer la demanda de productos de origen vegetal y animal, por ello se ha incrementado la producción industrial de alimentos en los últimos años. El comercio internacional ha permitido que las personas y las naciones tengan acceso a más cantidad y variedad de alimentos frescos y procesados, pero en este crecimiento acelerado no se debe perder de vista la inocuidad y calidad de los alimentos, ya que en el afán de aumentar la productividad de los cultivos agrícolas y la producción pecuaria se podría incurrir en malas prácticas que además de ser una competencia desleal para otros productores pueden originar problemas de salud.

El tema de la inocuidad de los alimentos es de suma importancia debido al impacto que las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) tienen en la salud pública, esto se relaciona directamente con condiciones insalubres de obtención y manejo de los alimentos y agua para consumo, y también con un procesamiento, almacenamiento y transporte inadecuado.

Es importante destacar que en México la cultura de la inocuidad de los alimentos requiere ser reforzada en todos los niveles de la producción de alimentos: desde el campo hasta la mesa. Con la educación adecuada y suficiente en cada uno de los participantes de la cadena alimentaria se tomará conciencia de las acciones necesarias para garantizar la prevención y salud de las personas (Jiménez, 2013).

Los conceptos de inocuidad, calidad y seguridad alimentaria se han prestado a confusión, e inclusive se han empleado indistintamente. La calidad involucra diversos atributos de los alimentos entre ellos nutricionales, sensoriales, de inocuidad y servicios. La inocuidad hace referencia a ausencia de contaminantes, adulterantes y cualquier agente negativo para la salud, un alimento inocuo no es dañino para el ser humano, y también se puede decir que es seguro. En el presente trabajo se realiza un análisis más profundo de estos conceptos, los peligros para la inocuidad de los alimentos, los factores que alteran la calidad así como los programas y sistemas de aseguramiento de la calidad que podemos implementar en las cadenas agroalimentarias para ofrecer al consumidor alimentos inocuos y satisfacer la demanda actual.

Seguridad alimentaria

Al hablar de seguridad alimentaria existen dos conceptos diferentes que se pueden llegar a confundir, principalmente al realizar una traducción inglés - español, uno de ellos trata del derecho que tiene el ser humano a una alimentación adecuada en inglés se emplea el término “Food Security” y podríamos referirnos a él cómo Seguridad de Abastecimiento Alimentario (SAA), y el otro concepto hace referencia a la higiene, en inglés “Food Safety” y en español lo podemos llamar Seguridad Sanitaria Alimentaria (SSA). Ambos términos se suelen traducir de la misma manera, seguridad alimentaria, y al leer o escribir un artículo en español es necesario tomar en cuenta el contexto para evitar confusiones (Ver figura 1). Ambos son conceptos relacionados, pero, podemos decir que lo primero es disponer del alimento (SAA) y posteriormente exigir las condiciones de inocuidad, higiénico-sanitarias adecuadas (SSA) (Briz 2004).

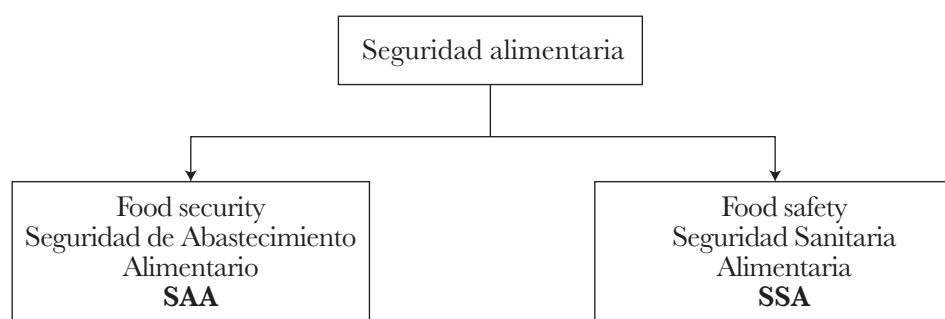


Figura 1. Seguridad alimentaria. Fuente: elaboración propia.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, en La Cumbre Mundial sobre la Alimentación de 1996 estableció que “La seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana”(FAO 2015). Ésta es la definición aceptada de manera internacional en materia de Seguridad Alimentaria. La definición plantea cuatro dimensiones primordiales de la seguridad alimentaria: la disponibilidad física de los alimentos, el acceso económico y físico a los alimentos, la utilización de los alimentos, la estabilidad en el tiempo de las tres dimensiones anteriores. Para que puedan cumplirse los objetivos de seguridad alimentaria deben realizarse simultáneamente las cuatro dimensiones. (FAO 2011).

Para avanzar hacia la consecución de las metas relativas a la seguridad alimentaria y la nutrición, es preciso que haya alimentos disponibles, que éstos sean accesibles y que su cantidad y calidad sean suficientes para garantizar buenos resultados nutricionales. Una nutrición adecuada contribuye al desarrollo humano, ayuda a las personas a desarrollar su potencial al máximo y aprovechar las oportunidades que ofrece el proceso de desarrollo (FAO, FIDA y PMA. 2015)

El tema del abasto de los alimentos es de suma importancia, y compete en gran medida a los gobiernos de los países y a las organizaciones internacionales, pero no menos importante es el asunto de que estos alimentos sean inocuos y de buena calidad.

El comercio internacional hace más fácil el abasto de alimentos frescos y procesados, pero se requiere de políticas y normas para que exista una seguridad sanitaria alimentaria, de lo contrario podríamos transportar alimentos con patógenos y sustancias nocivas para la salud y diseminar enfermedades transmitidas por alimentos, tema que preocupa a todos los países y del cual se ha ocupado en la Organización Mundial de la Salud, y en México la Secretaría de Salud.

Las interconexiones de las actuales cadenas alimentarias mundiales hacen que los patógenos presentes en los alimentos se transmitan más ampliamente y a mayores distancias, aumentando la frecuencia de las enfermedades transmitidas por los alimentos y el número de lugares afectados por ellas. La rápida urbanización existente en todo el mundo también aumenta los riesgos, puesto que los habitantes de las zonas urbanas consumen más comidas preparadas fuera de casa, que pueden ser manipuladas o preparadas de manera inadecuada y entre las que se incluyen los alimentos frescos, los pescados, las carnes y las aves (OMS 2009)

El tránsito de alimentos representa grandes desafíos, el aplicar y hacer cumplir las normas sanitarias a los productores, exportadores e importadores de alimentos ha provocado que se vean los esfuerzos por asegurar la inocuidad y calidad alimentaria como una barrera al comercio, por esto es necesario redoblar esfuerzos no solo para hacer cumplir las normas, sino para dar información y capacitación a los productores, para que les sea posible y fácil implementar programas de SSA y también disfruten de los beneficios que esto conlleva.

Factores que afectan la calidad de los alimentos

La calidad es un concepto que se ha ido transformando con el paso del tiempo, al igual que su medición, control y gestión. En la actualidad se considera que un producto es de calidad cuando satisface las necesidades del cliente, pero en el caso de los alimentos esto no es suficiente, también se debe cumplir con las normas y legislación vigente, para asegurar la inocuidad y calidad.

De las características de los alimentos se pueden señalar los siguientes atributos de la calidad: Nutricionales, se refiere a la aptitud de los alimentos para satisfacer las necesidades de energía y nutrientes del ser humano; sensoriales, se corresponde con las características organolépticas del alimento como la apariencia, el olor, color, textura y sabor; servicios, está relacionada con características del alimento como su presentación, el empaque, la facilidad para su elaboración o empleo, la disponibilidad en el mercado, entre otros y la inocuidad. Este último atributo es considerado un requisito básico de la calidad que implica la ausencia de contaminantes, adulterantes, toxinas y cualquier otra sustancia que pueda hacer nocivo el alimento para la salud, o bien unos niveles inocuos o aceptables de los mismos (Mercado 2007).

Los alimentos pueden sufrir modificaciones durante su elaboración, manipulación, almacenamiento y transporte, de tal forma que puedan ser adecuados o inadecuados para su consumo al presentar contaminaciones o alteraciones que pueden ser físicas, biológicas o químicas.

Existen diversos factores que pueden alterar la calidad de los alimentos, entre ellos el contacto con personas, agentes del medioambiente, utensilios y maquinaria, procedimientos mal aplicados, instalaciones inadecuadas. Se debe vigilar la calidad integral del alimento, no solamente la sanitaria, es importante cuidar desde el empaque, las campañas publicitarias, la elaboración, hasta la atención al cliente final, cada uno de estos aspectos contribuye a la calidad final al alimento.

Es necesario tener el enfoque de la calidad total en la empresa, ya sea productor agropecuario, industria de transformación o de servicios, se debe implementar la calidad total, de esta manera cada uno de los actores involucrados en la empresa coadyuva a cumplir con las políticas y objetivos de calidad, no solo los empleados que tocan los alimentos. En el caso de una industria procesadora de alimentos, es indispensable que los proveedores y transportistas también cumplan con los estándares necesarios de calidad, e inclusive los comercios que venden los productos al consumidor final, de no ser así, se podría elaborar un alimento de calidad y no llegar así al consumidor.

Peligros para la inocuidad de los alimentos

En el tema de producción, elaboración y manipulación de alimentos, la inocuidad es un componente esencial de la calidad total. En las industrias alimentarias, la inocuidad de los productos debe considerarse sin ninguna duda, la prioridad máxima. Que un alimento sea inocuo es frecuentemente uno de los requisitos no escritos incluido en muchas de las especificaciones de los clientes. Esto es evidente y no es negociable, a diferencia de otras características del producto (como el aspecto, el sabor o el costo). Los consumidores demandan y confían en que la inocuidad esté presente en todo tipo de alimento, sea manufacturado,

mínimamente procesado, o fresco y la industria agroalimentaria tiene la responsabilidad legal y moral de cumplir con esas expectativas (Arispe 2007).

En los últimos años esta responsabilidad se ha hecho extensiva a manipuladores de alimentos como restauranteros y servicio de comedores industriales y hospitalarios, así como a transportistas y cualquier involucrado en la cadena agroalimentaria. Un alimento inocuo es aquel que no es dañino para el ser humano, por lo que debe tener características de composición química, estructura física y extrema limpieza para que cumpla con su cometido. Existen diversos peligros para los alimentos que pueden hacerlo perder su carácter de inocuo, los podemos clasificar de la siguiente manera:

Peligros físicos. Pueden ser piedras, trozos de madera, de vidrio, de plástico, virutas de metal, fibras, cabellos, huesos, piezas de máquinas, efectos personales o cualquier materia extraña al alimento que pueda estar presente

Peligros químicos. Se consideran contaminantes químicos aquellos que no deben estar presentes según la composición del alimento fresco o procesado, como residuos de detergentes y otros limpiadores, reactivos químicos, residuos de medicamentos, de fertilizantes, plaguicidas, toxinas, uso excesivo o ilícito de aditivos, gases. Las sustancias químicas contaminantes pueden ser añadidas o producirse en el alimento como resultado de un mal procesamiento o almacenamiento.

Peligros biológicos. Lo constituyen insectos, roedores, protozoarios, virus, bacterias, hongos. Algunos de estos son causantes de alteraciones en alimentos como fermentación y putrefacción, pero también podemos encontrar patógenos que son organismos capaces de producir enfermedades en el ser humano, lo cual tiene gran importancia hablando de salud pública.

Entre los casos documentados se tienen brotes por *E. coli* y *Salmonella*, pero aplicando correctamente técnicas de higiene y conservación de alimentos podemos reducir el riesgo, sin embargo existen patógenos tales como *Campilobacter jejuni*, *Vibrio parahaemolyticus* y *Yersinia enterocolitica*, que pueden adaptarse a condiciones usuales de conservación, como el almacenamiento en refrigeración. Estos patógenos, aunque conocidos con anterioridad, son ahora considerados «emergentes», ya que tienen actualmente una mayor incidencia dado el alto consumo de alimentos refrigerados. Otros patógenos como *Listeria monocytogenes* y *Clostridium botulinum* han vuelto a surgir debido a nuevas forma de elaboración y envasado de alimentos de alto riesgo (Arispe 2007). En cuanto a los organismos genéticamente modificados (OGM), existe el debate de si son nocivos para la salud o no, así que no está claro si se les debe considerar como un peligro. Y por último los alérgenos, éstos pueden ser sustancias inocuas para unas personas y mortales para otras, así que no se puede impedir su uso pero si se ha venido regulando en el etiquetado.

Contaminación en la cadena agroalimentaria

La cadena agroalimentaria es un conjunto de acciones y actores que intervienen y se relacionan técnica y económicamente desde la actividad agrícola primaria hasta la oferta al consumidor final, incorporando procesos de empaque, industrialización o transformación y de distribución (IICA, 2005). La cadena agroalimentaria puede representarse de forma lineal iniciando en la producción

de alimentos en el campo, posteriormente se lleva a cabo actividades de transformación, seguido de distribución y comercialización, pero hay que tomar en cuenta el abasto de insumos, y todos los servicios que se pueden ver involucrados (ver Figura 2).

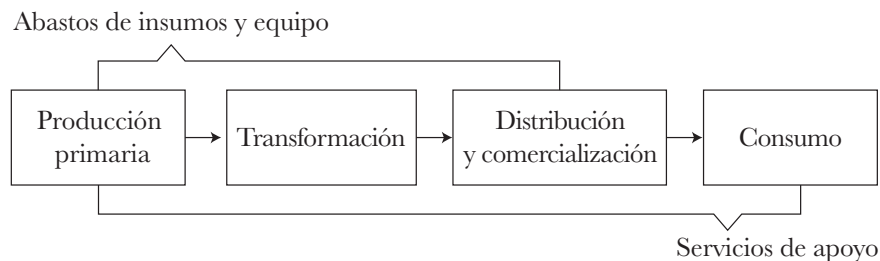


Figura 2. Cadena Agroalimentaria. Fuente: elaboración propia.

Los alimentos pueden contaminarse en cualquier eslabón de la cadena que va desde la producción hasta el consumo. Todos los participantes en la cadena de suministro deben tomar medidas para mantener la inocuidad de los alimentos, desde el productor hasta el consumidor, pasando por el procesador y el vendedor. La manipulación en el hogar es igualmente imprescindible para prevenir brotes de enfermedad (OMS 2009).

En el primer eslabón de la cadena tenemos la producción primaria, que puede ser agrícola, pecuaria o acuícola, ésta produce alimentos frescos para consumo y suministra materias primas para la industria, es responsabilidad del productor emplear las Buenas Prácticas Agrícolas y observar las normas vigentes nacionales o internacionales en caso de ser exportador, pero también la industria debe exigir materias primas de calidad e inocuas. La contaminación puede proceder del agua, suelo, aire y el contacto con personas y animales. Si en esta primera etapa se presenta una contaminación inicial de los alimentos existe riesgo para la salud de los consumidores de productos frescos y en la industria será más difícil elaborar alimentos inocuos.

El proceso de transformación de los alimentos en una industria es una etapa en la cual las materias primas si han sido bien seleccionadas no deben estar altamente contaminadas y mediante los procesos de conservación de alimentos se reducen o eliminan la mayoría de los microorganismos, y se protege al producto de futura contaminación, mediante empaques y almacenamiento apropiado, pero si estos procesos de fabricación no son bien empleados, si ocurre alguna falla del equipo, personal o proceso, puede llevar a tener alimentos de mala calidad cuya inocuidad se encuentre comprometida. La contaminación puede darse por el contacto con el personal, el equipo o maquinaria, sustancias químicas, y también la llamada contaminación cruzada que ocurre cuando se ponen en contacto alimentos inocuos con alimentos crudos o contaminados. Es indispensable implementar un sistema de control de la calidad.

En el tercer eslabón de la cadena se encuentra la distribución y comercialización, en esta etapa se deben vigilar las buenas prácticas de transporte y almacenamiento, una situación negativa que puede ocurrir es, cuando se rompe la cadena de frío para alimentos refrigerados o congelados, provocando que en éstos al no ser estériles, se reproduzcan los microorganismos existentes y cuando el consumidor adquiera su alimento éste ya no será inocuo.

Otra actividad importante es monitorear los productos en el punto de venta para retirar alimentos caducos o con empaques rotos y no debe ser responsabilidad solo del comercio sino de la empresa que lo fabrica ya que el consumidor considera este aspecto como una característica de calidad de la empresa o marca que fabrica el alimento, no de la tienda.

En el último eslabón de la cadena se encuentra el consumidor o usuario final, y es responsabilidad suya transportar y almacenar los alimentos adquiridos en condiciones adecuadas pero es un problema de salud pública el que no lo haga. Los alimentos envasados deben tener etiquetas con información clara acerca de cómo deben almacenarse, rangos de temperatura y humedad, y una fecha para su consumo, sin embargo por una cuestión cultural existen consumidores que no respetan estas indicaciones poniendo en riesgo su salud. Además de los eslabones principales de la cadena, deben considerarse el abasto de los insumos y los servicios de apoyo, ambos pueden facilitar la contaminación o la inocuidad de los alimentos, para esto se debe elegir empresas que demuestren responsabilidad por la inocuidad y calidad alimentaria.

Aseguramiento de la inocuidad

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) crearon, en los años sesenta, una normativa internacional llamada Codex Alimentarius, cuya finalidad es garantizar alimentos inocuos y de calidad a todas las personas y en cualquier lugar (Codex Alimentarius 2015) mediante sus directrices que han sido adoptadas por muchos países, y en años más recientes se han creado otras normas, programas y sistemas para asegurar la inocuidad y calidad de los alimentos como las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), Buenas Prácticas de Manufactura, (BPM), Procedimientos Estandarizados de Saneamiento (POES), el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de control, (APPCC o HACCP, siglas en inglés), y la norma ISO 22000.

En México existen dos agencias principales que se encargan de la inocuidad de los alimentos tanto frescos, como procesados. Dichas agencias son responsabilidad de dos secretarías de estado, la Secretaría de Salud (SSA) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). La SSA se encarga de los aspectos de inocuidad a través de la Comisión Federal para la Prevención de Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), y la SAGARPA se encarga de los aspectos de inocuidad a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (FAO 2005). Estas agencias han desarrollado Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que son de observancia obligatoria, para determinar la inocuidad de los alimentos y las prácticas agrícolas, sin embargo es de todos conocido que en el país se comercializan alimentos, en su mayoría de manera informal, que no cumplen con estas normas.

Las BPA, BPM y POES se han implementado por productores y empresas que quieren mejorar o asegurar la calidad de sus productos, en ocasiones con fines de exportación, ya que en el extranjero se solicita que apliquen estos procedimientos para tener la certeza de que adquieren alimentos inocuos. En los últimos años se ha empezado a solicitar que la empresa productora de alimentos

cuenta con certificaciones de calidad, entre ellas la más solicitada es HACCP o APPCC como se le conoce en español y algunas industrias se están preparando en la norma ISO 22000.

El sistema de APPCC, que se aplica a la gestión de la inocuidad de los alimentos, tiene fundamentos científicos y carácter sistemático, establece siete principios (ver figura 3) que contemplan identificar los peligros específicos y las medidas necesarias para su control, con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos, se realizan acciones correctivas y de comprobación del sistema además de un proceso de documentación. El APPCC se basa en la prevención, en vez de en la inspección y la comprobación del producto final. Este sistema puede aplicarse en toda la cadena alimentaria, desde el productor primario hasta el consumidor. Además de mejorar la inocuidad de los alimentos, la aplicación del APPCC conlleva otros beneficios como: un uso más eficaz de los recursos, ahorro para la industria alimentaria y el responder oportunamente a los problemas de inocuidad de los alimentos. El APPCC aumenta la responsabilidad y el grado de control de los fabricantes de alimentos. En efecto, un sistema de APPCC bien aplicado hace que los manipuladores de alimentos tengan interés en comprender y asegurar la inocuidad de los alimentos, y renueva su motivación en el trabajo que desempeñan. (FAO 2002). El sistema APPCC es el predilecto para el aseguramiento de la inocuidad y calidad alimentaria.

Principios del Sistema de APPCC

1	Realizar un análisis de peligros
2	Determinar los Puntos Críticos de Control (PCC)
3	Establecer los límites críticos
4	Establecer un sistema de monitoreo de los PCC
5	Establecer medidas correctivas
6	Establecer procedimientos de comprobación
7	Establecer un sistema de documentación

Figura 3. Principios del sistema APPCC. Fuente: elaboración propia.

ISO 22000 es una Norma Internacional que incorpora los principios del APPCC y los programas prerrequisito como BPA, BPM y POES dentro de un sistema de gestión del tipo ISO 9001, y se puede establecer en cualquier etapa de la cadena agroalimentaria. Industrias de alimentos que ya cuentan con la certificación ISO 9001 y APPCC pueden incorporar fácilmente la norma ISO 22000.

En México se han establecido sellos de certificación, entre éstos se encuentra México calidad suprema, Certificación tipo inspección federal y México GAP (Good Agricultural Practice). Los sellos de certificación promueven el consumo de alimentos sanos, de la más alta calidad y que contribuyen a una buena alimentación. Además constituyen un sistema reconocido mundialmente como sinónimo de calidad, inocuidad, higiene y buenas prácticas en el

sector agroalimentario mexicano (SAGARPA, 2015). El Distintivo “H”, es un reconocimiento que otorgan la Secretaría de Turismo y la Secretaría de Salud, a aquellos establecimientos fijos de alimentos y bebidas: (restaurantes en general, restaurantes de hoteles, cafeterías, fondas etc.), por cumplir con los estándares de higiene que marca la Norma Mexicana NMX-F605 NORMEX 2004 para reducir las ETA en turistas y mejorar la imagen de México en el extranjero (SECTUR, 2015).

Para asegurar la inocuidad de los alimentos es muy importante la trazabilidad que se entiende como el rastreo del producto, se refiere a la metodología que permite conocer la evolución histórica de la situación y trayectoria que ha seguido un producto o lote de productos a lo largo de la cadena alimentaria. Tiene un enfoque integral, desde el consumidor al productor (trazabilidad ascendente), o en sentido contrario, del productor al consumidor (trazabilidad descendente) (Briz, 2014). Para lo cual es necesario rotular o identificar los productos con etiquetas, códigos de barras, etc., y mantener un sistema documentado, esto facilita el retiro de productos de vigencia vencida, alterados o no seguros para su consumo, y ha resultado ser de suma importancia para evitar o contener brotes de ETA.

Conclusiones

En la actualidad existe una gran demanda de alimentos frescos, procesados y mínimamente procesados, pero es necesario que estos productos sean seguros para el consumidor. La inocuidad y calidad alimentaria deben ser temas prioritarios para agricultores e industriales, porque además de reducir el riesgo de brotes de ETA, pueden posicionar mejor sus productos y tener mayores ganancias. En México ya se emplean las BPA, BPM, POES y el sistema APPCC para asegurar la inocuidad y calidad alimentaria, lo cual se puede aplicar a lo largo de toda la cadena agroalimentaria y tiene la ventaja de reducir costos y pérdidas en la producción, además que pone a los productores y empresarios mexicanos la altura del mercado internacional. Aún hay trabajo que hacer para mejorar la cultura por la inocuidad, pero vamos por buen camino.

Bibliografía

- Arispe, I. y Tapia, M. S. (2007) Inocuidad y calidad: requisitos indispensables para la protección de la salud de los consumidores. *Revista Agroalimentaria*, vol. 13, núm. 24, enero-junio, 2007, pp. 105-117 Universidad de los Andes Mérida, Venezuela. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199216580008>
- Briz, J. y de Felipe, I. (2004). Seguridad alimentaria y trazabilidad. Universidad Politécnica de Madrid. ETSI Agrónomos 28040 Madrid. España. Disponible en: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/5063/briz.pdf>
- Codex Alimentarius. (2015). Organización Mundial de la Salud OMS, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO,. Disponible en: <http://www.codexalimentarius.org/about-codex/es/>

- Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura, IICA (2005). Cadenas Alimentarias, políticas para la competitividad. Revista Comunica Edición N° 3 2005. Disponible en: <http://www.iica.int/Esp/prensa/Comuniica/Comuniica/2005/n3-esp/n3.aspx>
- Jiménez, E. M. y Chaidez, Q. C. (2013). La inocuidad de los alimentos en México. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012, SAGARPA-SEDESOL-INSP-FAO
- Mercado, C. E. (2007). Los ámbitos normativos, la gestión de la calidad y la inocuidad alimentaria: una visión integral. Revista Agroalimentaria, vol. 13, núm. 24, enero-junio, 2007, pp. 119-131. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199216580009>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO (2005). Conferencia Regional FAO/OMS sobre Inocuidad de los Alimentos para las Américas y el Caribe. Sistemas nacionales para la inocuidad de los alimentos en México –Análisis de la situación. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/010/afl79s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO (2015). Cumbre Mundial Sobre la Alimentación 1996. Depósito de documentos de la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x2051s/x2051s00.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Fondo internacional de desarrollo agrícola FIDA y Programa Mundial de Alimentos PMA. 2015. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2015. Cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 en relación con el hambre: balance de los desiguales progresos. Roma, FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/en/>
- Organización Mundial de la Salud, OMS (2009). 10 datos sobre la inocuidad de los alimentos. Disponible en: http://www.who.int/features/factfiles/food_safety/facts/es/
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (2002). Sistemas de calidad e inocuidad de los alimentos – manual de capacitación. Grupo Editorial Dirección de Información de la FAO. Roma.
- Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, SAGARPA (20015). México produce. Sellos de confianza. Disponible en: <http://www.mexicoproduce.mx/sellos.html>
- Secretaría de turismo, SECTUR. (2015). Distintivo H. Disponible en: <http://www.sectur.gob.mx/tramites-y-servicios/certificacion-turistica/distintivo-h/>

Germinación y aptitud agronómica de cuatro ecotipos de chile piquín (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) en el Sur de Tamaulipas

Germination and agronomical fitness for four ecotypes of wild chilli (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) in the south of Tamaulipas

*Epifanio Mireles-Rodríguez¹⁴

Rolando Salazar-Hernández

Hermilo Lucio-Castillo

Clarisa Pérez Jasso

Sergio Castro-Nava¹⁵

Norma Leticia Moctezuma-Balderas

Resumen

¹⁴Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica Multidisciplinaria Mante. *Contacto: epimireles@uat.edu.mx

¹⁵Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Ingeniería y Ciencias. Centro Universitario Adolfo López Mateos. Ciudad Victoria, Tamaulipas

Evaluar el porcentaje de germinación y la aptitud agronómica expresado en la longitud de plántula en cuatro colectas silvestres de chile piquín (*Capsicum annum* var. *aviculare*) procedentes de Ocampo, El Chamal, Jaumave y Tula, Tamaulipas. Se realizó una caracterización preliminar de las semillas considerando el peso de la semilla, número de frutos por semilla y peso individual de la semilla. Los resultados indican que los biotipos de Ocampo y Chamal obtuvieron el mayor número de semillas por fruto en el análisis de caracterización de fruto. El morfotipo de Ocampo logró romper la latencia de la semilla a los 17 días después de la siembra, esto se generó con 6 minutos de exposición a 50° C de hidrotermia y con 5 000 ppm de AG₃. El tratamiento de la semilla con 5000 ppm promovió una mayor germinación, a su vez que incrementó notablemente el crecimiento inicial y final de las plantas en el semillero. Los biotipos de Ocampo y Jaumave, Tamaulipas obtuvieron el mejor desempeño en la germinación y aptitud agronómica de las plántulas en el semillero.

Abstract

The objective was to evaluate the percentage of germination and agronomic suitability expressed in seedling length of four collections wild chili powder (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) collections of Ocampo, El Chamal, Jaumave and Tula, Tamaulipas were evaluated. Was carried out a preliminary characterization of the seeds considering the seed weight, number of fruits per single seed and seed weight. Furthermore, the results indicate that biotypes and Chamal Ocampo obtained the largest number of seeds per fruit in the fruit characterization analysis. On the other hand, the morphotype Ocampo managed to break the seed dormancy at 17 days after planting, it was built with six minutes of exposure to 50° C hidrotermia and 5 000 ppm AG₃. The seed treatment with 5000 ppm promoted greater germination, which in turn significantly increased the initial

and final growth of plants in the nursery. In this sense biotypes and Jaumave Ocampo, Tamaulipas they obtained the highest performance and agronomic suitability germination of seedlings in the nursery.

Introducción

El chile silvestre es considerado el ancestro original de los chiles que se comercializan en la actualidad como híbridos y variedades. Su importancia radica en sus bondades organolépticas, principalmente por su pungencia, sabor, olor y que su consumo no irrita el tracto digestivo (Montes et al., 2006). Esta especie se encuentra distribuida de manera silvestre y abundante en el noreste de México, en Nuevo León y Tamaulipas, pero también crece en Veracruz, Tabasco, Campeche, San Luis Potosí, Quintana Roo, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Colima, Sinaloa, Sonora, Coahuila e Hidalgo (Medina et al., 2005). El fruto, que se comercializa en estado fresco, seco y encurtido, proviene de recolecciones que se realizan en zonas montañosas de forma estacional, después del periodo de lluvias ya que no existen siembras comerciales por carecer de tecnologías de producción adecuadas principalmente por la baja germinación provocada por la latencia de la semilla (Rodríguez, 2004).

El chile piquín es preferido por el consumidor, siendo favorable para la economía del país (Montes et al., 2006), su precio en el mercado resulta atractivo comparado con los chiles serranos y jalapeños, pues llega a superar hasta 40 veces su precio en el mercado nacional y el 100% en los mercados especializados de productos orgánicos. Dada la naturaleza silvestre de esta especie, su fruto se obtiene por recolección en el campo y no de plantaciones comerciales, lo que podría amenazar su diversidad genética. Algunos esfuerzos aislados por promover la siembra de esta especie para obtener mejores rendimientos y calidad de fruto se han realizado, pero la baja tasa de germinación de sus semillas (Hernández-Verdugo et al., 2010; Medina-Martínez et al., 2002; Medina-Martínez et al., 2010) ha dificultado su domesticación, lo que se le ha atribuido a la impermeabilidad y dureza de la cubierta seminal, a la baja permeabilidad del endospermo y a una latencia profunda del embrión (Bañuelos et al., 2008; Araiza et al., 2011), aún en condiciones que favorecen la germinación de semillas ortodoxas.

La latencia de la semilla es influenciada por factores como la morfología, color y tamaño de fruto, así como la temperatura, altitud, latitud, tipo de suelo, entre otros (Wall et al., 2002), por lo que aún se le considera una especie de difícil propagación. Estudios indican que la germinación de la semilla sin preacondicionamiento no rebasa el 10% y que el mejor tratamiento para lograr el 50% de germinación es el tratamiento con 5000 ppm de ácido giberélico (INIFAP, 2011). Rodríguez-Del Bosque (2003) menciona que la baja germinación en condiciones naturales es inferior al 5%. Ramírez-Meraz, (2001) logró incrementarla en 80% en pruebas con ácido giberélico a 5 000 ppm. Lo anterior, se debe a la cera epicuticular y una capa externa dura que contiene la semilla evitan la absorción de agua (Besnier 1989, Rodríguez-Del Bosque 2003); esto favorece la supervivencia de la especie en su hábitat natural, ya que aunque exista humedad, no todas las semillas germinan a la vez; sin embargo, es una limitante para el establecimiento en explotaciones comerciales. (Almanza, 1993, Ramírez-Meraz, 2001, Rodríguez-Del Bosque 2003). Las semillas recién cosechadas de algunas variantes de: *C. annuum*, *C.*

frutescens, *C. chacoense*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. pubescens*; pueden mostrar latencia y se requieren alrededor de 6 semanas después de cosechadas para remover dicha latencia, entre ellas la variedad *minimum* (Randle y Honma, 1980).

Para mejorar la germinación, en otras especies y géneros se han utilizado tratamientos químicos, debido a las ventajas que ofrecen, como facilidad y costos relativamente bajos de aplicación, inclusive en lotes grandes de semilla (Shim et al., 2008). Existen diferentes métodos y técnicas para romper la latencia de semillas de *Capsicum sp.*, entre ellas; prelavado: 5 h, 21°C y presecado 22° C, 32°C, 37° (Watkins y Cantliffe 1983a), luz incandescente e infrarroja, nitrato de potasio al 0.2%, ácido indolacético a 1000 ppm (Watkins and Cantliffe 1983a), ácido giberélico GA4/7 de 10-100 ppm (Watkins y Cantliffe 1983b), Kinetin: de 10-100 ppm y remoción de las estructuras de la cubierta (Watkins y Cantliffe 1983b). Los tratamientos químicos de acondicionamiento metabólico más utilizados en semillas de especies hortícolas se hacen con los compuestos: peróxido de hidrógeno (H₂O₂; Flores et al., 2008), nitrato de potasio (KNO₃; Jarma et al., 2007; Marín et al., 2007; Andrade-Rodríguez, 2008) y ácido giberélico (AG₃; Magnitskiy y Ligarreto, 2007; García et al., 2010; Araiza et al., 2011). Mediante inmersión de semillas en una solución acuosa de AG₃, a 5 000 ppm por 24 h, Ramírez (2008) logró incrementar de 8 a 82% la germinación de dos poblaciones silvestres de chile piquín provenientes del centro de Tamaulipas.

Los mecanismos de acción de cada tratamiento de acondicionamiento de semillas no se conocen en detalle; sin embargo, se han postulado algunas teorías. Por ejemplo, Ogawa e Iwabuchi (2001) propusieron que la degradación del H₂O₂ activa mecanismos de recolección de moléculas de oxígeno que pueden ser utilizadas para la respiración mitocondrial. Shim et al., (2008) sugirieron que el KNO₃ promueve la reparación metabólica de tejidos y el aumento de respiración, con lo cual se mejora la tasa de crecimiento y la germinación. Según Chen y Bradford (2000), el AG₃ es una fitohormona que activa proteínas que degradan el endospermo de la semilla, lo que permite la movilización de reservas del endospermo al embrión. De acuerdo con Richards et al. (2001), el AG₃ actúa directamente sobre genes que limitan la germinación. Los tratamientos de acondicionamiento metabólico no son universales para todas las especies, por lo que pueden funcionar para algunas especies de un género, pero no necesariamente funciona para todas. Por tal motivo, esta investigación comparó diversas colectas de chile piquín en cuanto a capacidad germinativa de las semillas, de tal forma que se determinará si la escasa germinación de las semillas de chile piquín se debe a una restricción morfológica que limite la absorción de agua durante la imbibición (latencia física), o se debe a algún tipo de latencia fisiológica que pueda ser rota mediante tratamientos de pre-acondicionamiento.

Ramírez-Meraz (2008), recomienda el uso de AG₃ a 5 000 ppm, para inducir la germinación uniforme de la semilla de chile piquín; con el siguiente procedimiento: se realiza la inmersión la semilla en esta solución durante 24 horas a una temperatura de 25 a 30° C; la semilla se extrae de la solución, se enjuaga con agua y se pone a secar para facilitar su siembra. El tratamiento a la semilla debe realizarse de preferencia 72 horas antes de la siembra. Las giberelinas, tienen un sinnúmero de efectos sobre el desarrollo vegetal; como estimular el rápido crecimiento de tallos, inducir divisiones mitóticas en las hojas de algunas especies,

e incrementan la tasa de germinación de la semilla. Otro método recientemente utilizado como promotor de la germinación, es la inmersión de la semilla en agua caliente (hidrotermia), la cual se utiliza comúnmente como técnica fitosanitaria, pero que ha favorecido una mayor germinación, combinada con AG₃ a un bajo costo pero con resultados inconsistentes (Carter y Vavrina 2000). En la presente investigación se planteó el siguiente objetivo: evaluar la germinación y la aptitud agronómica de cuatro colectas de chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. *aviculare*), mediante el uso combinado de las técnicas de hidrotermia y tratamiento con ácido giberélico en condiciones de laboratorio e invernadero.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en los invernaderos propiedad de la Unidad Académica Multidisciplinaria Mante-Centro en el Municipio de El Mante, Tamaulipas; ubicado en los paralelos 22° 44' de latitud norte y 98° 58' de longitud oeste, a una altura de 80 m. El municipio en su mayoría tiene un relieve uniforme con uso del suelo principalmente agrícola y ganadero. Las diferentes unidades de suelo son litosol con redzina de textura fina, vertisol pélico de textura pesada y textura fina.

Colectas de chile piquín. Se utilizaron frutos secos de chile piquín obtenidos de recolecciones provenientes de San Carlos, Jaumave, Ocampo y el Chamal, Tamaulipas. Las semillas se obtuvieron de colectas manuales hechas en el mes de octubre del 2013 de diferentes zonas serranas con matorral bajo espinoso y sub montañoso, cosechando frutos maduros en el árbol a punto de desprenderse de la planta madre. A continuación se describen las características climáticas de cada localidad donde se realizaron las colectas.

San Carlos, Tamaulipas. El sitio de colecta fue en la cabecera municipal la cual se encuentra a los 24° 31' latitud norte y a una altitud de 432 metros sobre el nivel del mar. El municipio se localiza en plena Sierra de San Carlos, el clima es semiárido y extremoso con temperatura que varían entre los 6° C y los 45° C; con frecuentes heladas invernales en las partes elevadas.

Jaumave, Tamaulipas. El origen de la colecta fue el ejido San Antonio, el cual se localiza a 23° 25' de latitud norte y 99° 23' longitud oeste. El clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano, en la zona norte cambia a templado subhúmedo con lluvias en verano y en el extremo noroeste, el más elevado, a subfrío subhúmedo con lluvias en verano, temperatura de 18 a 20° C en la zona central y sur del territorio, el noreste tiene un promedio entre 20 y 22° C, al oeste 16 a 18° C en la zona más elevada es inferior a 12° C; la precipitación es inferior a los 500 mm anuales.

Ocampo, Tamaulipas. Está situado al suroeste del estado de Tamaulipas, localizado entre los paralelos 22° 50' de latitud norte y a los 99° 22' de longitud oeste; a una altura de 340m sobre el nivel del mar, colinda al norte con Jaumave. El clima semicálido con fuertes lluvias en verano con una precipitación pluvial de 800 mm anuales, la temperatura promedio es de 23° C.

Chamal, Tamaulipas. Esta localidad se encuentra en la latitud norte a 22° 08" y longitud 99° 02" de longitud oeste a una altura de 144 msnm colinda al norte con Jaumave y al sur con El Mante, el clima es semicálido con fuertes precipitaciones en verano que van de los 800 a 1200 mm anuales y cuanta con una temperatura promedio de 23.5°C y una mínima de 15°C.

Tratamiento de la semilla y caracterización de frutos. Una vez cosechada y seleccionada la semilla del lugar de la colecta, ésta se trasladó a las instalaciones de la UAM-MANTE, en el laboratorio de suelos de la misma unidad, donde se conservó en refrigeración a 4° C durante noviembre de 2013. La preparación de la semilla consistió en la selección de frutos de tamaño uniforme y de buen aspecto fitosanitario para luego remover la pulpa con la ayuda de un tamiz metálico del número 2. Para evitar la proliferación de patógenos después de la selección de frutos y extracción de la semilla ésta se separó por colectas para hacer un lavado con agua corriente e hipoclorito de sodio al 10%; con el fin de eliminar el mucílago. Cada colecta se sumergió por 24 horas en agua corriente para la selección de semillas viables y vanas. Una vez seleccionadas, se realizaron diferentes tratamientos con agua caliente para cada colecta como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamiento de semilla de chile piquín (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) mediante hidrotermia en el Mante, Tamaulipas durante Enero de 2014.

Tratamientos	Origen de las colectas	Tiempo de exposición (min)	Temperatura (°C)
I	Ocampo	6	50
II	El Chamal	9	55
III	Jaumave	12	60
Testigo	San Carlos	0	0

Tras exponer la semilla a la hidrotermia, se dejó secar por 24 horas a temperatura ambiente. Una vez seca se procedió a aplicar tratamientos de preacondicionamiento con AG3 con el producto comercial Gibiotin® mediante las siguientes concentraciones para cada colecta (Tabla2) (Flores et al., 2008).

Tabla 2. Tratamiento de semilla de chile piquín (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) de cuatro colectas hecha con AG₃ en el Mante, Tamaulipas.

Tratamientos	Origen de las colectas	Partes por millón de AG ₃	Dosis de producto comercial (g)
I	Ocampo	5 000	0.73
II	El Chamal	9 000	1.3
III	Jaumave	13 000	1.90
Testigo	San Carlos	0	0

Siembra de las colectas y evaluación en campo. Para la siembra se emplearon charolas de unicel de 200 cavidades y como sustrato se utilizó Peat moss (Promix GTX®) a base de vermiculita y perlita, el cual se desinfectó con el fungicida sistémico carbendazim a dosis de 1.5 g por litro de agua. Se utilizaron dos charolas para cada colecta sumando un total de 400 cavidades sembradas por colecta. En cada orificio de la charola se colocó una semilla previamente tratada a una profundidad aproximada de 0.5 cm. Posteriormente se colocaron las charolas bajo sombra a una temperatura de 25° C y un periodo de 10 horas

luz y 14 horas de oscuridad. El aporte de agua se realizó de manera manual cada 72 h durante las primeras semanas hasta la emergencia de la plántula.

Variables respuestas evaluadas

Después de establecido el experimento el 10 de enero de 2014 y 15 días después de la siembra (DDS) se procedió a evaluar la germinación a nivel semanal. Para ello se tomaron las siguientes variables respuesta.

Germinación y altura de plántulas. Esta variable se determinó cuando comenzó la emergencia de la plúmula de la semilla a partir del 24 de enero de 2014 contando el número de plántulas emergidas por colecta y transformando los datos a porcentaje, posterior a la germinación se tomaron parámetros de crecimiento como altura de plantas y área foliar tomando un promedio de 30 plantas por charola. Para cuantificar estas variables se utilizó una regla graduada y se realizaron mediciones semanales de cada colecta desde la base de las plántulas hasta el extremo apical de las mismas.

Diseño experimental. El diseño experimental propuesto para la presente investigación fue al azar al no existir fuentes externas de variación en el invernadero ni en laboratorio. Se consideró para cada colecta un total de 300 plántulas por tratamiento con cuatro repeticiones y como unidad experimental se consideró 30 plantas emergidas.

Análisis de la información. Para el análisis de la información se utilizó el software Microsoft Excel 2007®, para calcular las medias de tratamiento y desviación estándar. El análisis de varianza se ejecutó mediante el programa estadístico SAS (SAS Institute®) con base al diseño experimental propuesto, además se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey con una $P\alpha \leq 0.05$ cuando hubo diferencias estadísticas entre medias de tratamientos.

Resultados y discusión

Análisis de caracterización de las colectas

El análisis de caracterización de las colectas evaluadas mostró que no existió variabilidad entre el peso del fruto y el peso de la semilla al no existir diferencias significativas, (Tabla 3).

Origen de las colectas	Peso fruto (g)	No. semillas por fruto	Peso de la semilla (g)
Ocampo	0.052 a	14 b	0.029 a
El Chamal	0.063 a	13 b	0.032 a
Jaumave	0.066 a	17 a*	0.029 a
San Carlos	0.053 a	12 b	0.030 a
C.V.	12.4	22.1	19.0

Tabla 3. Análisis de caracterización de las colectas evaluadas de Chile piquín en el sur de Tamaulipas.

C.V. Coeficiente de variación.

Valores con distinta literal por columna difieren estadísticamente entre sí para cada tratamiento a una $P\alpha \leq 0.05$.

El número de semillas por fruto presentó variabilidad para la localidad de Jaumave con diferencias significativas donde se obtuvieron 17 semillas. El resto de las localidades se mantuvieron homogéneas con promedios de 12 semillas para San Carlos, 13 para Chamal y 14 para Ocampo. Es posible inferir que esta diferencia

se debió quizás a que en la localidad de Jaumave y San Carlos existe más presión de la especie ya que los períodos de recolección se incrementan por la cercanía a los lugares de mercadeo como Ciudad Victoria. Aunado a las condiciones climáticas donde crecen bajo condiciones áridas con menos precipitación y más condiciones adversas.

Germinación

La germinación de semilla de chile piquín es regulada por hormonas, en particular por AG, pues al intervenir en enzimas hidrolíticas reblandecen el endospermo o la cubierta, inducen la movilización de reservas y estimulan la germinación (Bewley y Black, 1994). A continuación se presenta el análisis de la germinación y emergencia de las colectas evaluadas, donde se observa una tendencia a un menor periodo de latencia de la semilla en la localidad de Ocampo, Tamaulipas a través del tiempo, rompiendo la latencia el día 17 de la siembra. El día 25 después de la siembra germinó en el Chamal con 4.63%, seguido de Jaumave con apenas 0.69%, por último la localidad de San Carlos germinó el día 39 de la siembra. Este comportamiento coincidió con el porcentaje de germinación donde se observa que hubo una alta significancia estadística entre colectas, obteniendo los mayores porcentajes Ocampo y Chamal, seguido de Jaumave y por último San Carlos Tamaulipas. Con 75, 71, 20 y 0.66% respectivamente al día 54 del ensayo en campo (cuadro 4). Se puede corroborar que el tratamiento de la semilla con AG3 tuvo una influencia positiva al promover una mayor germinación en las colectas de Ocampo y Chamal obteniendo los máximos valores, esta tendencia se ha estudiado por (Hernández, 2004) quien obtuvo germinaciones similares con tratamientos de 400 a 5000 ppm de AG₃. Los resultados coinciden con la germinación obtenida por Ramírez-Meraz et al., (2003) empleando 5 000 ppm de AG y lograron 66 % de germinación, mientras que Hernández-Verdugo et al., (2006) encontraron mayor efectividad con 250 y 500 ppm de AG, con promedios de 46 y 43% de germinación en dos años de estudio. En contraste, el aumento en la concentración de AG disminuyó la germinación de Jaumave y San Carlos al obtener el 22 y 0.69 % al día 54 del estudio (Tabla 4).

Tabla 4. Días posteriores a la germinación y emergencia de plántulas de cuatro colectas de chile piquín en el 2014. C.V. Coeficiente de variación. Valores con distinta literal por columna difieren estadísticamente entre sí para cada tratamiento a una $P \leq 0.05$.

Origen de las colectas	AG ₃ ppm	% de germinación					
		Día 17	Día 25	Día 32	Día 39	Día 46	Día 54
Ocampo	5 000	14.29	53.57	69.05	72.62 a	72.62 a	75.00 a
El Chamal	9 000	0.00	4.63	62.04	67.59 b	72.22 b	72.22 b
Jaumave	13 000	0.00	0.69	1.39	4.17 b	15.28 c	22.22 c
San Carlos	0	0.00	0	0.00	0.35 d	0.69 d	0.69 d
C.V.	34.66	44.43	22.1	11.22	11.21	10.14	21.44

Los resultados obtenidos por (Wall et al., 2002) coinciden con lo estudiado en el presente ensayo al tratar la semilla con AG₃ quienes indican que ayuda a aumentar la germinación y emergencia ya que su función es promover el crecimiento y la elongación celular, esta hormona estimula las células de la semillas germinantes

a producir moléculas, es una potente fitohormona que controla el desarrollo de la planta, las aplicaciones a bajas concentraciones pueden resultar con efectos muy favorables (Figura 1).

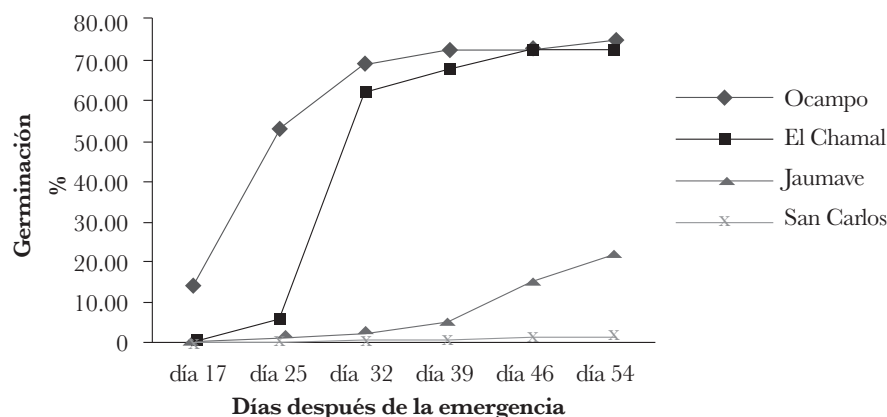


Figura 1. Porcentaje de germinación de cuatro colectas de Chile piquín en el sur de Tamaulipas durante 2014.

Crecimiento y aptitud agronómica de las colectas

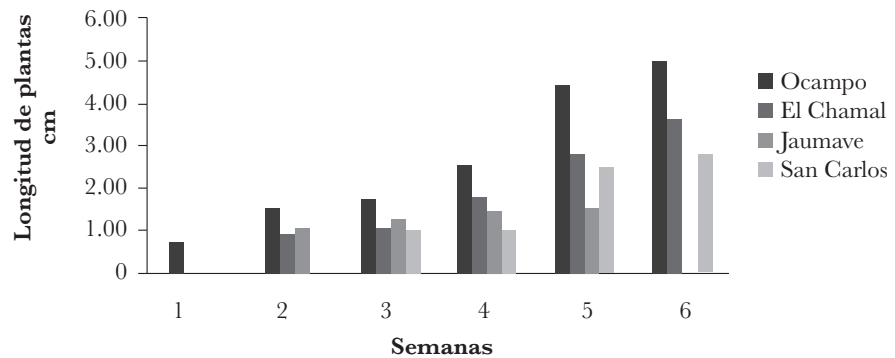
Al evaluar el crecimiento de plántulas, una vez concluido el proceso de germinación se estableció como factor de aptitud agronómica al crecimiento de las plántulas en invernadero. El análisis de varianza aplicado a los seis muestreos semanales indica que la colecta con una mayor aptitud agronómica coincide con el tratamiento hecho con AG_3 de 5 000 partes por millón al obtener una mayor tasa de crecimiento semanal al inicio y al término del estudio (1.71 cm y 5.01 cm respectivamente). Al parecer, el incremento en la dosis de AG_3 provoca la disminución del crecimiento de las plántulas recién emergidas al obtener una menor aptitud agronómica los tratamientos del Chamal, Jaumave y San Carlos, Tamaulipas (Tabla 5).

		Longitud de plántulas (cm)					
		Semanas					
Origen de las colectas	AG_3 ppm	1	2	3	4	5	6
Ocampo	5 000	0.71	1.53	1.72	2.55	4.45	5.01
El Chamal	9 000	0	0.90	1.07	1.79	2.80	3.66
Jaumave	13 000	0	1.05	1.28	1.50	1.54	3.80
San Carlos	0	0	0	1.00	1.00	2.50	2.85

Tabla 5. Aptitud agronómica (crecimiento de plantas) de cuatro colectas de Chile piquín en el Mante Tamaulipas en 2014. C.V. Coeficiente de variación. Valores con distinta literal por columna difieren estadísticamente entre sí para cada tratamiento a una $Pa \leq 0.05$.

Al analizar la aptitud agronómica de las colectas evaluadas en la gráfica se observa que el tratamiento con AG_3 promueve no sólo una mayor germinación y rompimiento de la latencia de la semilla sino también favorece un mayor crecimiento de las plántulas en el invernadero, disminuyendo el tiempo de permanencia de las plantas en el semillero. Así mismo, el incremento en la dosis de AG_3 , actúa como un inhibidor de la germinación y crecimiento de plántulas por lo que su aplicación se debe realizar cuidadosamente.

Figura 2. Aptitud agronómica de cuatro colectas de chile piquín en el sur de Tamaulipas durante 2014.



Conclusiones

Los biotipos de Ocampo y Chamal obtuvieron el mayor número de semillas por fruto en el análisis de caracterización de fruto. El biotipo de Ocampo rompió la latencia de la semilla a los 17 días después de la siembra, esto se logró con seis minutos de exposición a 50° C de hidrotermia y con 5 000 ppm de AG₃. El tratamiento de la semilla con 5 000 ppm promovió una mayor germinación, a su vez promueve notablemente el crecimiento inicial y final de las plantas en el semillero. Los biotipos de Ocampo y Jaumave, Tamaulipas obtuvieron el mayor desempeño en la germinación y aptitud agronómica de plántulas en el semillero.

Bibliografía

- Almanza, E. J.G. 1993. El chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. Aviculare Dierb. (D. & E.): Estudio Etnobotánico, Biología y Productividad. Tesis sin editar. Facultad de Ciencias Biológicas. U.A.N.L. México.
- Andrade-Rodríguez M., J.J. Ayala-Hernández. I., Alia-Tejagal. H. Rodríguez-Mendoza, C.M. Acosta-Durán & V. López-Martínez. 2008. Efecto de promotores de la germinación y sustratos en el desarrollo de plántulas de papayo. Revista de la Facultad de Agronomía. 25:617-635.
- Araiza L.N., L.E. Araiza & M. J. G. Martínez. 2011. Evaluación de la germinación y crecimiento de plántula de chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. Glabriusculum) en invernadero. Revista Colombiana de Biotecnología 13:170-175
- Bañuelos N, P.L & A. Salido - Gardea. 2008. Etnobotánica del chiltepín. Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. Estudios Sociales (Hermosillo, Son.) 16:177-205
- Besnier, F. 1989. Semillas: Biología y tecnología. Mundi-Prensa, Madrid. 355 p
- Bewley, J. D. & M. Black. 1994. Seeds: physiology of development and germination. Plenum Press. New York. 367 p.
- Carter, A. K. & C. S. Vavrina. 2000. High temperature inhibits germination of Jalapeño and Cayenne pepper. URL: www.imok.ufl.edu/veghort/docs/trans_temp.pdf.

- Chen F. & K.J., Bradford. 2000. Expression of an expansion is associated with endosperm weakening during tomato seed germination. *Plant Physiology* 124:1265-1274 de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/handle/123456789/1001> (consultado agosto 2013)
- Flores G.A., Álvarez M.J.G., Rodríguez de la O J.L. y Corona A.A. 2008. Germinación in vitro de semillas de *Nolina parviflora* (H.B.K.) Hemsl. *Foresta Veracruzana* 10:27-33
- García F.A. H.S., L.J.A Montes, M.E. Rangel García & E.M. Mendoza. 2010. Respuesta fisiológica de la semilla chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill) al ácido giberélico e hidrotérmita. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1:203-216.
- Hernández-Verdugo S., R.G. López-España, F. Porras., S. T Parra-Terraza., M.Villarreal-Romero & T. Osuna-Enciso. 2010. Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de chile silvestre. *Agrociencia* 44:667-677.
- Hernández-Verdugo S., P. Sánchez-Peña, & M. Villareal Romero. 2006. Variación entre poblaciones y años: algunos factores que promueven o regulan la germinación de semillas en chile silvestre. 3ª Convención Mundial de Chile. Chihuahua y Delicias, Chihuahua, México. 105-111 pp.
- INIFAP. 2011. Generación de tecnologías de producción de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *Aviculare*). Folleto informativo p. 434.
- Jarma A.J., J.C. Arbeláez. & J. Clavijo. 2007. Germinación de *Ischaemum rugosum* Salisb., en respuesta a estímulos ambientales y químicos. *Temas Agrarios* 12:31-41.
- Magnitskiy S.V. & G. A. Ligarreto. 2007. El efecto del nitrato de potasio, del ácido giberélico y del ácido indolacético sobre la germinación de semillas de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 1:137-141
- Marín, S.J., C.J.A. Mejía, L.A. Hernández, C.A. Carballo & L.A. Peña. 2007. Acondicionamiento osmótico de semillas de cebolla (*Allium cepa* L.). *Agricultura Técnica en México* 33:63-71.
- Medina M.T., M. H. Villalón., V.M. Lara, G.G. Gaona, H.L. Trejo & E.A. Cardona. 2000. Informe Técnico de Proyecto, Sireyes 95/111.
- Medina-Martínez T., L. A. Rodríguez del Bosque, H. Villalón-Mendoza, O. Pozo-Campodónico, M. Ramírez-Meraz, R. López de León, M. Lara-Villalón, G. Gaona-García, A. Cardona-Estrada & A. Mora-Olivo. 2002. El chile piquín (*Capsicum annuum* var. *aviculare*) en el noreste de México. Aspectos ecológicos y socioeconómicos. *Revista BIOTAM*. 13:1-14.
- Medina-Martínez T., H. Villalón-Mendoza, J.M. Pérez-Hernández, R.G. Sánchez & S. Salinas-Hernández. 2010. Avances y perspectivas de investigación del chile piquín en Tamaulipas, México. *Ciencia UAT* 4:16-21.
- Ogawa K. & M. Iwabuchi. 2001. A mechanism for promoting the germination of *Zinnia elegans* seeds by hydrogen peroxide. *Plant and Cell Physiology* 42:286-291

- Ramírez, M., M. 2001. Manual para la producción de hortalizas menores en el sur de Tamaulipas. Campo Experimental Sur de Tamaulipas. CIR Noreste-INIFAP. Folleto para Productores No. 1. Junio de 2001. 49 p.
- Ramírez, M.M. 2008. Chile piquín. 1. Tecnología para incrementar germinación y conservar especies silvestres de chile piquín. Ficha Tecnológica por Sistema Producto. Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, INIFAP/CIRNE. 23 p
- Ramírez-Meraz, M., C. O Pozo, & L. A. Rodríguez del Bosque. 2003. Tecnología para inducir la germinación en chile piquín. In: Rodríguez del Bosque, L. A. (ed). Memoria del 1er. Simposium regional de chile piquín: avances de investigación en tecnología de producción y uso racional del recurso silvestre. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Río Bravo, México. Publicación especial. Núm. 26. 35-36 pp.
- Randle W. M. & S. Honma. 1980. Inheritance of low temperature emergence in *Capsicum baccatum* var. *pendulum* Euphytica Volume 29, Issue 2, pp 331-335
- Richards D.E., K.E. King, T. Ait-ali, & N.P. Harberd. 2001. How gibberellin regulates plant growth and development: A molecular genetic analysis of gibberellin signaling. Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology 52:67-88
- Rodríguez del Bosque, L.A., M. Ramírez - Meraz, & O. Pozo - Campodonico. 2004. Tecnologías de producción de chile piquín en el Noreste de México. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Rio Bravo. Folleto técnico número 29, Tamaulipas México. 33 p.
- Rodríguez, B.L.A. 2003. Memoria del 1er Simposio Regional de Chile Piquín: Avances de Investigación en Tecnología de Producción y Uso Racional del Recurso Silvestre. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Río Bravo. Publicación Especial Núm. 26. 54 p.
- Shim S.I., J.C. Moon, C.S. Jang, P. Raymer & W. Kim. 2008. Effect of potassium nitrate priming on seed germination of seashore paspalum. HortScience 43:2259-2262.
- Wall, A. D., R. Kochevar, & R. Phillips. 2002. Chile seed quality. New Mexico chili task force. New Mexico State University and United State Department of Agriculture. Report 4. 6 p.
- Watkins J.T. & D.J Cantliffe. 1983. Hormonal control of papper seed germination. Hortscience 18. 342-343

Virus y geminivirus transmitidos por el biotipo b de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), análisis de la situación actual

Virus and geminivirus transmitted by the biotype b of the whitefly (*Bemisia tabaci*), analysis of the current situation

*Epifanio Mireles-Rodríguez¹⁶

Rolando Salazar-Hernández

Hermilo Lucio-Castillo

Clarisa Pérez Jasso

Sergio Castro-Nava¹⁷

Resumen

¹⁶Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica Multidisciplinaria Mante – Centro. Blvd. Enrique Cárdenas González # 1201 Pte. CP. 89840., El Mante, Tamaulipas. *Contacto: epimireles@uat.edu.mx

¹⁷Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Ingeniería y Ciencias. Centro Universitario Adolfo López Mateos

La mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) (MB) es una de las plagas más importantes y dañinas para las hortalizas cultivadas en México. Su principal impacto es como transmisor de enfermedades virales. El biotipo B es considerado el más importante debido a su amplia gama de plantas huésped, velocidad reproductiva y generación de resistencia a insecticidas. La MB es una plaga de importancia mundial, en las regiones tropicales y subtropicales. Aunque puede causar problema por daño directo; en Mesoamérica y el Caribe actúa como vector de geminivirus muy destructivos en chile, frijol y tomate. *B. tabaci* puede actuar como plaga directa, por sus desmesuradas poblaciones, o como vector de geminivirus, lo cual ha justificado grandes esfuerzos en investigación básica y en métodos para su manejo (Cock, 1986; Ohnesorge y Gerling, 1986; Gerling, 1990; Gerling y Mayer, 1996). En la presente revisión se realizó un análisis de la problemática actual en el impacto de BT en los sistemas agrícolas actuales, sobre todo de su capacidad para la transmisión de virus y Geminivirus, los daños, el manejo racional de insecticidas y técnicas de manejo integrado y sustentable de la plaga. Se concluye que los sistemas de producción actual tienden al manejo y control racional de plagas mediante el uso de plaguicidas biológicos, hongos entomopatógenos y productos químicos selectivos para disminuir la resistencia de BT.

Abstract

Whitefly (*Bemisia tabaci*) (MB) is one of the most important pests causing damage to vegetables grown in Mexico. Its main impact transmitter is as viral diseases. Specifically biotype B, it is considered the most important, because of their wide range of host plants, reproductive rate and generation of insecticide resistance. The MB is a globally important pest in tropical and subtropical regions. Although it can cause direct damage problem; in Mesoamerica and the Caribbean acts as a vector of very destructive geminiviruses in chilli, beans

and tomato. *B. tabaci* can act as a direct pest populations for their excessive, or as vector of geminivirus, which has justified great efforts in basic research and methods for management (Cock, 1986; Ohnesorge and Gerling, 1986, Gerling, 1990; Gerling & Mayer, 1996). In this review I conducted an analysis of the current problems in the impact of BT in the current agricultural systems especially its capacity for transmission of viruses and Geminivirus, damages, the sound management of insecticides and techniques for integrated management and sustainable Plague. It is concluded that current production systems tend to management and rational pest control using biological pesticides, entomopathogenic fungi and selective chemicals to decrease the resistance of BT.

Key words: Whitefly, geminivirus, transmission, damage.

Introducción

Los sistemas de producción de hortalizas presentan varias características que dificultan la aplicación de programas de manejo integrado de plagas (MIP). La alta rentabilidad de sus productos, su corta temporada de producción, y el ataque de insectos y patógenos con gran capacidad reproductiva y de diseminación. Esto hace que los agricultores apliquen plaguicidas en forma excesiva (muchas frecuencias y altas dosis), puesto que la inversión se puede recuperar a corto plazo. Sin embargo, sus altos beneficios económicos pueden ser pasajeros, pues el abuso en el uso de plaguicidas desencadena procesos y fenómenos inconvenientes en aspectos agrícolas, económicos y ambientales por la conversión de plagas secundarias en primarias, y el desarrollo de resistencia. Un ejemplo de esto es la crisis provocada en el último decenio por la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) (Homóptera: Aleyrodidae) en varias hortalizas y otros cultivos anuales, especialmente en los sistemas agrícolas de las regiones tropicales y subtropicales (Brown, 1994; Brown y Bird, 1992; Ioannou 1997).

La mosca blanca (*Bemisia tabaci*) (MB_{Bt}) es una de las plagas que ocasiona mayor daño a las hortalizas cultivadas en México. Su principal impacto es como transmisor de enfermedades virales. El biotipo B, es considerado el más importante, debido a su amplia gama de plantas huésped, velocidad reproductiva y generación de resistencia a insecticidas. La MB_{Bt} es una plaga de importancia mundial, en las regiones tropicales y subtropicales. Aunque puede causar problemas por daño directo; en Mesoamérica y el Caribe actúa como vector de geminivirus muy destructivos en chile, frijol y tomate. *B. tabaci* puede actuar como plaga directa, por sus desmesuradas poblaciones, o como vector de geminivirus, lo cual ha justificado grandes esfuerzos en investigación básica y en métodos para su manejo (Cock, 1986; Ohnesorge y Gerling, 1986; Gerling, 1990; Gerling y Mayer, 1996).

En América Latina y el Caribe, aunque hay serios problemas de daño directo (debilitamiento y alteraciones fitotóxicas), así como de fumagina, en algodón, melón, sandía, soya y tomate, los mayores problemas se deben a geminivirus, especialmente en chile, frijol y tomate (Brown, 1994; Brown y Bird, 1992; Hilje y Arboleda, 1993; Hilje, 1996).

La mosquita blanca y su impacto en los sistemas de producción

La mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) es una de las plagas más distribuidas en regiones tropicales y subtropicales del mundo donde afecta más de 600 especies de plantas cultivadas y silvestres. Los daños que causa se deben a diversos efectos del insecto en las plantas atacadas, como el debilitamiento de la planta por la extracción de nutrientes; problemas fisiológicos causados por el biotipo B de *B. tabaci* (e.g. madurez irregular en tomate y plateado en cucurbitáceas); la excreción de sustancias azucaradas que favorecen el crecimiento de hongos sobre las plantas (i.e. fumagina); y la transmisión de begomovirus (figura 1) (Geminiviridae) (Brown et al., 1995; Morales y Anderson 2001; Oliveira et al., 2001).

Mound y Halsey (1978); Greathead (1986); Secker et al. (1998) ratifican que la mosquita blanca se encuentra muy extendida en México. (MB_{BI}) *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1899) (Homóptera: Aleyrodidae). Su principal impacto es como transmisora de enfermedades virales. El biotipo B (figura 2), es considerado el más riesgoso debido a su amplia gama de plantas huésped, velocidad reproductiva y generación de resistencia a insecticidas.

Figura 1. Impacto de los daños ocasionados por mosquita blanca (*Bemisia tabaci*)

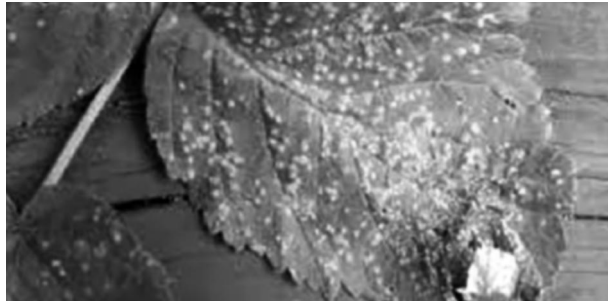


Figura. 2. Biotipo B. de mosquita blanca, el más importante por sus daños y la eficiencia en la transmisión de virosis.



Daños directos e indirectos

En las últimas tres décadas, *B. tabaci* ha causado millones de dólares en pérdidas de cultivos en agroecosistemas a lo ancho del mundo (Brown et al., 1995; Morales y Anderson, 2001; Oliveira et al., 2001). No obstante, la estimación real del impacto económico de sus poblaciones en la agricultura mundial ha sido difícil de cuantificar debido a la gran cantidad de áreas afectadas, el número de cultivos y plantas ornamentales involucradas y los diferentes sistemas monetarios. El daño a los cultivos se debe a su alimentación directa en el floema, a los desórdenes fisiológicos causados por el biotipo B, y de modo indirecto, a la excreción de melaza que favorece el crecimiento de hongos (e.g. *Capnodium spp.*) (figura 3), y a la transmisión de virus. Estos son factores que afectan el rendimiento de los cultivos en términos cuantitativos y cualitativos.



Figura 3. Daños indirectos causados por mosquita blanca: fumagina (Capnodium sp) en pimiento morrón

La magnitud de la infestación, la especie y variedad de planta, la época del año, el sitio geográfico y el biotipo de *B. tabaci* determinan los daños causados sobre un cultivo (Oliveira et al. 2001; Byrne et al. 1990). Igualmente, la magnitud del daño causado por virus, depende de este mismo tipo de factores (Brown y Bird 1992; Cohen 1990; Galvez y Morales 1994a; Morales y Niessen 1988). La alimentación de unas pocas ninfas por planta induce fitotoxicidad o desórdenes fisiológicos (Costa et al. 1993) en una variedad de especies de plantas, y los síntomas varían de acuerdo con la especie del hospedero y los diferentes cultivares (Brown et al., 1995).

El desorden más reportado es el plateado de las cucurbitáceas (Costa et al., 1993; Mc Auslane et al., 2004). Otros desórdenes incluyen la madurez irregular en el tomate, también conocido como arco iris (Schuster et al., 1990; Morales et al., 2003), el rayado blanco longitudinal en los tallos de col y la deformación en las hojas y clorosis en el tallo de lechugas (Brown et al., 1995; Quintero et al., 1998), y más recientemente la decoloración o albinismo de los tejidos jóvenes y de las vainas del frijol (Hassan y Sayed, 1999; Rodríguez et al., 2005).

En condiciones de campo, estos síntomas han sido definitivos para la identificación y confirmación de la presencia del biotipo B (Quintero et al., 1998; Morales et al., 2003).

Virus transmitidos por *Bemisia tabaci*

Uno de los daños indirectos y quizá el mayor problema generado por este insecto es la transmisión de virus. *B. tabaci* transmite virus pertenecientes a siete grupos que incluyen Begomovirus, Carlavirus, Ipomovirus y Crinivirus (Jones, 2003). Los virus más importantes por el daño causado son los Begomovirus y los Crinivirus (Closteroviridae: Crinivirus). A pesar de que la mayoría de los virus que infectan plantas (80 a 90%) tienen ARN de cadena sencilla como componente genético, los begomovirus poseen ADN de cadena sencilla, con una o dos moléculas de ADN circular y de reducidas dimensiones (aproximadamente de 2.6 a 2.8 kb). El tamaño total del genoma varía de 2.7 a 5.4 kb, lo cual coloca a los geminivirus como uno de los virus más pequeños en poseer genomas de replicación independiente, y como uno de los únicos virus de ADN en poseer el genoma dividido. El nombre de los Geminivirus proviene de la morfología característica de su cápside, la cual asemeja dos poliedros regulares idénticos (gemelos o geminados) fusionados por una de sus caras (Fig. 1a). El tamaño de los viriones es de 18 x 30 nanómetros (Harrison, 1985).

De acuerdo con su estructura genómica, el vector que los transmite y los hospederos que infectan, la familia Geminiviridae está dividida en cuatro géneros:

El primer género, Mastrevirus, deriva su nombre de su virus tipo Maize streak virus. Estos virus solo tienen un componente genómico, infectan exclusivamente monocotiledóneas y son transmitidos por cicadélidos (Mullineaux et al., 1984). El segundo género, Curtovirus, nombre derivado del virus tipo Beet curly top virus poseen un solo componente genómico, infectan dicotiledóneas y son también transmitidos por cicadélidos (Stanley et al., 1986). El tercer género, Begomovirus, nombre derivado del virus tipo Bean golden mosaic Gvirus (Howart et al., 1985), posee uno o dos componentes genómicos, solo infectan dicotiledóneas y son transmitidos por *B. tabaci*. El virus del enrollamiento de la hoja del tomate y varios aislamientos del virus del enrollamiento amarillo de la hoja del tomate, son begomovirus atípicos porque poseen genomas monopartitas. Un cuarto género, Topocuvirus incluye únicamente el Tomato pseudo-curly top virus, transmitido por el membrácido *Micrutalis malleifera* (Rojas, 2000).

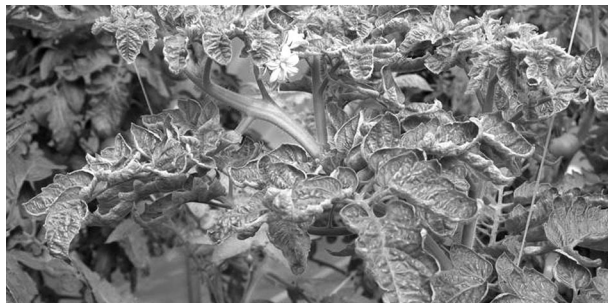
Figura 4. Geminivirus en cucurbitáceas transmitidos por mosquita blanca



La transmisión de begomovirus por *B. tabaci*

Es considerado del tipo persistente circulativo, descrita para otros homópteros (Duffus, 1987). Los adultos necesitan un periodo de 20 minutos o más para adquirir el virus de plantas infectadas. Este período de adquisición relativamente prolongado (comparado con los 15-60 segundos requeridos para virus semi-persistentes), se debe a la localización de estos virus en el floema de las plantas afectadas. Una vez adquirido, el virus requiere un periodo de incubación en el vector, que varía de algunas horas a un día. Esta observación es la que sugiere que el virus circula en el insecto vector.

Figura 5. Begomovirus en tomate transmitido por el biotipo B de la mosquita blanca



El proceso de transmisión (inoculación), generalmente requiere un tiempo similar al de adquisición del virus. Esto se debe a que algunos virus transmitidos por mosca blanca, aparentemente pueden iniciar el proceso de infección en tejido no vascular. La persistencia del virus en la mosca blanca varía de algunos días hasta semanas, llegando a ser retenido de por vida en algunos adultos. Sin embargo, hay comúnmente pérdida de infectividad con el tiempo, lo cual sugiere que estos

virus no se multiplican dentro de la mosca blanca. Estos virus, sin embargo, parecen ser retenidos por los diferentes estadios del insecto hasta el adulto, a pesar de que solo el primer instar y el adulto son móviles (Morales, 1994a).



Figura 6. *Begomovirus* en hortalizas transmitidos por mosca blanca

Origen y distribución mundial

B. tabaci, también conocida como la mosca blanca del algodón, del tabaco o de la papa, fue originalmente observada en tabaco en Grecia, y fue descrita como *Aleyrodes tabaci*. En el Nuevo mundo fue colectada por primera vez en 1897 sobre *Ipomoea batata* (L.) Lam., en los Estados Unidos, donde se describió como *Aleyrodes inconspicua* Quaintance (Quaintance 1900, citado por Oliveira et al., 2001). Debido a la variación morfológica que sufre este insecto de acuerdo con el hospedero donde ha sido encontrado, se le han dado 22 nombres, los cuales hoy se consideran sinónimos de la especie *Bemisia tabaci*. Una detallada revisión de la nomenclatura que rodea el complejo de especies de *Bemisia* es presentada por Perring (2001). Algunos científicos sugieren que *B. tabaci* puede ser originaria de África tropical, desde donde se dispersó a Europa y Asia, y fue posteriormente introducida al Neotrópico, principalmente por transporte de material de plantas (Brown y Bird, 1992; Campbell et al., 1996). Sin embargo, otros científicos sugieren que esta especie puede ser nativa de India o Pakistán, donde se ha encontrado la mayor diversidad de especies de sus enemigos naturales (Brown et al., 1995). *B. tabaci* se extiende en un amplio rango de sistemas agrícolas, desde subtropicales hasta tropicales, pero también ocurre en áreas de climas templados. Es una especie distribuida globalmente y se encuentra en todos los continentes con excepción de la Antártica (Martin et al., 2000; Oliveira et al., 2001).

Biotipos

El término biotipo es usado para designar poblaciones que carecen de diferencias morfológicas, pero que poseen otras características que sirven para separarlas de otras (Claridge et al., 1997, citado por Perring 2001). Al respecto, se han usado diversas técnicas principalmente electroforesis de esterases no específicas, técnicas moleculares como RAPD-PCR y análisis de genes específicos (18S rARN, 16S rADN), para estudiar 41 poblaciones de *B. tabaci*; de estas poblaciones, 24 han recibido la designación de biotipos (Perring, 2001). Sin embargo, en estos estudios se han usado diversas herramientas para los análisis moleculares e interpretación de los resultados, lo cual causa dificultad para poder compararlos y dar conclusiones (Oliveira et al., 2001). En 1986 se encontró una nueva forma de *B. tabaci* en plantas de poinsetia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.) mantenidas en invernaderos del estado de Florida. Esta nueva forma, llamada biotipo “poinsetia” o biotipo B, se introdujo al suroeste de los Estados Unidos,

rápidamente reemplazando la forma original, el biotipo A. Para 1991, el biotipo B había causado millones de dólares de pérdidas en los cultivos de California y Arizona (Anderson, 2000). Se ha demostrado que el biotipo B posee un rango más amplio de plantas hospedantes (Brown et al., 1995), una fecundidad mayor que la del biotipo A (Bethke et al., 1991), ingiere una mayor cantidad de savia del floema de las plantas durante la alimentación y consecuentemente excreta un mayor volumen de melaza que el biotipo A (Byrne y Miller, 1990); además, a diferencia del A, el biotipo B induce desórdenes fisiológicos (McAuslane et al., 2004). Con base en datos experimentales biológicos, morfológicos y genéticos, utilizando poblaciones de *Bemisia* de California, Perring et al. (1993) y Bellows et al. (1994), concluyeron que los biotipos A y B, eran especies distintas denominando el biotipo B como *Bemisia argentifolii* (Bellows y Perring). Sin embargo, esta conclusión no ha sido sustanciada al mirar más ampliamente las poblaciones de *B. tabaci* del Viejo y Nuevo Mundo (Brown et al., 1995). Estudios filogenéticos y reproductivos realizados por Campbell et al. (1993) entre los dos biotipos, no apoyan la existencia de dos especies. Por consiguiente, se considera que solo existe una especie, *Bemisia tabaci* (Gennadius) como un complejo de biotipos (Anderson, 2000).

Rango de hospederos

B. tabaci ha sido registrada alimentándose de más de 600 especies de plantas hospederas (Mound y Halsey, 1978; Greathead, 1986; Secker et al., 1998). Estas especies se ubican en 74 familias, incluyendo hortalizas, plantas ornamentales, cultivos industriales y numerosas especies silvestres. Entre los hospederos atacados por este insecto se encuentran comúnmente plantas que pertenecen a las familias Cruciferae, Cucurbitaceae, Solanaceae, Leguminosae, entre otras (Brown 1993). Aunque *B. tabaci* ha sido considerada como una especie polífaga, se han descubierto poblaciones monófagas (Brown et al., 1995; Perring, 2001; Thompson, 2003). Al respecto, se sugiere que existe un amplio rango de diferencias genéticas entre las poblaciones de *B. tabaci* que le permiten adaptarse a nuevos hospederos y climas en distintas regiones geográficas (Basu, 1995, citado por Oliveira, 2001), y que también podrían asociarse con las variaciones morfológicas que sufre la especie en las diferentes especies de plantas (Mohanty y Basu, 1986).

Manejo integrado de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*)

El MIP consiste en la combinación de varios métodos para mantener las plagas a niveles que no causen pérdidas de importancia económica, sin provocar serios perjuicios ambientales ni humanos. El MIP debe fundamentarse en el conocimiento de las interrelaciones entre el vector, los geminivirus, las plantas hospedantes y el ambiente físico, a continuación se presentan las causas de los problemas provocados por el complejo *B. tabaci*-geminivirus:

La premisa básica del MIP es que, por lo complejo que es enfrentar a las plagas, un solo método generalmente es insuficiente para tener el éxito deseado. A su vez, el MIP se sustenta en tres principios: convivencia, prevención y sostenibilidad, los cuales se pueden aplicar para el manejo de *B. tabaci*, ya sea como vector de geminivirus o como plaga directa. A continuación se ilustra la

aplicación de dichos principios para el tomate en Costa Rica, con base en el esquema de manejo sugerido por Hilje (1993). Sin embargo, varias de las ideas y prácticas discutidas aquí podrían aplicarse a otros cultivos presentes en América Latina y el Caribe. En primer lugar, para lograr la convivencia con el insecto, es preciso aceptar que siempre esté presente, incluso causando daño y pérdidas. Pero lo clave es que se puedan obtener rendimientos satisfactorios. Ello se puede alcanzar estableciendo y aplicando criterios de decisión. En el MIP es frecuente el concepto de umbral económico o umbral de acción, pero en el caso de *B. tabaci* como vector, aunque inicialmente se trata de establecer un umbral (Rosset et al., 1990), los autores reconocieron que no tiene sentido hacerlo, por tratarse de un vector de geminivirus, que alcanza densidades muy altas, sobre todo en la estación seca; actualmente se sabe que bastan densidades muy bajas para que se infecten todas las plantas en una parcela. En el caso de los síndromes causados por *B. tabaci*, en otros países se realiza investigación sobre umbrales de daño (Dr. Thomas Perring, 2000, Universidad de California, com. pers.). Otro tipo de criterio de decisión es la etapa fenológica durante la cual un cultivo es más susceptible a los geminivirus.

En el caso del tomate, el efecto de varios geminivirus sobre el rendimiento (período crítico) comprende los primeros 50-60 días desde la emergencia de la planta (Franke et al., 1983; Acutua, 1993; Schuster et al., 1996). Por tanto, las medidas de manejo se deben concentrar durante dicho intervalo, para retardar la epidemia viral, pues es imposible evitarla; así se ahorra dinero y se evita o reduce la contaminación mediante insecticidas. En cuanto a la prevención, la situación es compleja debido a los bajos umbrales y a las altas poblaciones comúnmente observadas en el campo. Por tanto, la clave será eliminar los reservorios de insectos y de geminivirus, los cuales normalmente son los campos viejos de tomate, debido a su extensión. Otras prácticas agrícolas preventivas son el establecimiento de períodos de veda y fechas de siembra estrictas, como se ha hecho con éxito en la República Dominicana (Álvarez y Abud-Antonn, 1995) y Florida (Dr. Philip Stansly, 2000, Universidad de Florida, com. pers.). Además, será deseable el desarrollo de cultivares resistentes o tolerantes a los geminivirus, en lo cual REDCAHOR (Red Colaborativa de Investigación y Desarrollo en Hortalizas) promovió investigaciones en Mesoamérica y el Caribe, en años recientes. Otra posibilidad son las prácticas agrícolas y utilización de sustancias repelentes/disuasivas, acerca de las cuales se discute posteriormente.

Variabilidad genética de la mosquita blanca

B. tabaci tiene 17 razas o biotipos, de los cuales al menos seis están en América (Brown et al., 1995; De Barro y Driver, 1997). El biotipo B, que es originario del Viejo Mundo (Brown et al., 1996), es considerado por algunos autores como una nueva especie, *B. argentifolii* (Bellows et al., 1994), pero sobre ello hay mucho debate. Contrasta con el biotipo A, que es el Original, en los siguientes aspectos: tiene mayor fecundidad, completa su desarrollo en el cultivo de tomate, ataca un mayor número de cultivos, tiene mayor tolerancia al frío, e induce varios síndromes particulares (Perring, 1996).

En México, aunque hasta hace pocos años, el patrón electroforético de isoenzimas revelaba la presencia, exclusiva para el país, del biotipo C, así como

la ausencia del biotipo B (Brown 1993, Brown et al., 1995), en las principales zonas productoras de tomate actualmente se conoce que predomina el biotipo A (Hilje et al., 2001a). Además, se ha confirmado la presencia del biotipo B, pero restringido a zonas muy delimitadas en el estado de Sinaloa, en campos de cucurbitáceas, como el melón (*Cucumis melo*), sandía (*Citrullus lanatus*) y pepino (*Cucumis sativus*), y de chile jalapeño (*Capsicum frutescens*). En cuanto a otros biotipos, se les ha detectado en tomate, chile dulce y chile jalapeño, a veces junto con el biotipo A, pero no se tiene certeza de si alguno de los biotipos desconocidos corresponde al que previamente se había denominado como biotipo C. Se ha observado que el biotipo A casi no se reproduce en el tomate, pero lo hace profusamente en el chile dulce (*Capsicum annuum*) (Hilje et al., 1993a).

Abundancia poblacional

En las regiones productoras de México, las poblaciones de *B. tabaci* son muy altas durante la estación seca (Hilje, 1995), lo cual depende del potencial reproductivo, que a su vez está determinado por la fecundidad, el tiempo generacional y la proporción de sexos. La fecundidad del biotipo B es cercana a 200 huevos/hembra, casi el doble del biotipo A (Bethke et al., 1991); el tiempo generacional (intervalo entre dos generaciones sucesivas) es de unos 40 días (Eichelkraut y Cardona, 1989; Salas y Mendoza, 1995); la proporción de sexos es muy variable, pero además las hembras pueden reproducirse sin fertilización, originando solo machos, mediante partenogénesis arrenotoquica (Byrne y Bellows, 1991). Asimismo, el biotipo B tiene mayor tolerancia al frío que el biotipo A, lo cual le permite invadir zonas ubicadas a mayores altitudes y latitudes, así como soportar períodos adversos y recuperar sus poblaciones en forma rápida, posteriormente (Perring, 1996). En algunos casos, estas poblaciones tan elevadas permiten al insecto causar daños directos, por extracción de savia y debilitamiento de las plantas, así como indirectos (fumaginas) (Schuster et al., 1996), los cuales dependen tanto de la presencia de ninfas como de adultos. Sin embargo, para la rápida diseminación de los geminivirus no se requieren altas densidades de adultos. Por ejemplo, en Costa Rica es frecuente observar el 100% de las plantas infectadas con el virus del moteado amarillo del tomate (ToYMoV) a pesar de las muy bajas densidades del vector; la menor cifra registrada hasta ahora es 0,3 adultos/planta, en promedio (Cubillo et al., 1999a).

Conclusión

Se concluye que debido a las altas tasas de reproducción, a la variabilidad genética, la habilidad para la búsqueda de alimento y la resistencia del Biotipo B de *B. tabaci* en los sistemas agrícolas actuales, los productores han optado en las últimas décadas por el abandono parcial o total de los cultivos.

No obstante, una estrategia viable y sostenible es el manejo racional de poblaciones mediante prácticas poco agresivas sustentadas en el MIP dentro de las que destacan, el control biológico, la rotación de cultivo, la aplicación de hongos entomopatógenos y la aplicación de insecticidas orgánicos y de bajo impacto ambiental.

Bibliografía

- Acuña, W.1993. Efecto de la infección de un geminivirus sobre el rendimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum*) en diferentes estadios de desarrollo de la planta. Tesis Lic. Agr. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Sede del Atlántico. 73 p.
- Álvarez, P; Abud-Antun, A.1995. Reporte de República Dominicana. In Taller Latinoamericano sobre Moscas Bancas y Geminivirus (4, 1995, Tegucigalpa, Honduras). Memoria. Caballero, R; Pitty, A. Ed. Ceiba (Honduras) 36(1):39-47.
- Byrne, D.; Bellows, T.; Parrella, M. 1990. Whiteflies in agricultural systems. In: Gerling, D. (ed.), Whiteflies: Their Bionomics, Pest Status and Management. New Castle, U.K. Atheneum. P. 227-251.
- Bethke, JA; Paine, T D; Nuessl y, G. S. 1991. Comparative biology, morphometrics, and development of two populations of *Bemisia tabaci* (*Homoptera: Aleyrodidae*) on cotton and poinsettia. Annals of the Entomological Society of America 84:407-411.
- Bellows, T S Jr; Perring, T M; Gill, R J; Headrick, D H.1994. Description of a species of *Bemisia* (Homoptera: Aleyrodidae). Annals of the Entomological Society of America 87: 195-206.
- Brown, JK.1993. Evaluación crítica sobre los biotipos de mosca blanca en América, de 1989 a 1992. In Las moscas blancas (*Homoptera: Aleyrodidae*) en América Central y el Caribe.
- _____ 1994. Current status of *Bemisia tabaci* as a plant pest and virus vector in agroecosystems worldwide. FAO Plant Protection Bulletin 42(1-2): 3-32.
- Brown, JK; Bedford, ID; Bird, J; Costa, HS; Frohlich, DR; Markham, PG. 1995. Characterization and distribution of esterase electromorphs in the whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae). Biochemical Genetics 33:205-213.
- Brown, J.K.; Bird, J. 1992. Whitefly-transmitted geminiviruses and associated disorders in the Americas and the Caribbean Basin. Plant Disease 76(3): 220-225.
- _____ 1992. Whitefly-transmitted geminiviruses in the Americas and the Caribbean Basin: Past and present. Plant Disease 76: 220-225.
- _____ 1992. White fly transmitted geminiviruses and associated disorders in the Americas and the Caribbean Basin. Plant Disease 76(3): 220-225.
- Brown, J. K.; Frohlich, D. R.; Rosell, R. C. 1995. The sweet potato or silver leaf whitefly: biotipes of *Bemisia tabaci* or a species complex? Annual Review of Entomology 40: 511-534
- Brown, JK; Bird, J; Frohlich, DR; Rosell, RC; Bedford, ID; Markham, PG. 1996. The relevance of variability within the *Bemisia tabaci* species complex to epidemics caused by subgroup III geminiviruses. In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. Gerling, D; Mayer, RT. Ed. United Kingdom, Intercept. p. 77-89.
- Campbell; B. C.; Stephen-Campbell, J. D.; Gill, R. 1996. Origin and radiation of whiteflies: an initial molecular phylogenetics assessment. In: Gerling.

- Cock, MJW. Ed. 1986. *Bemisia tabaci*- A literature survey. Silwood Park, UK. CAB Intl.Inst.Biol.Control.121 p.
- Cohen, S. 1990. Epidemiology of whitefly transmitted viruses. In: Gerling, D. (ed.), *Whiteflies: their Bionomics, Pest Status and Management*. Intercept, U.K., p. 210-225.
- Costa, H.S.; Ullman, D.E.; Johnson, M.W.; Tabashnik, B.E. 1993. Squash silverleaf symptoms induced by immature, but not adult, *Bemisia tabaci*. *Phytopathology* 83: 763-766.
- Cubillo, D; Sanabria, G; Hilje, L. 1999a. Eficacia de coberturas vivas para el manejo de *Bemisia tabaci* como vector de geminivirus, en tomate. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 51:10-20.
- De Barro, PJ; Driver, F. 1997. Use of RAPD PCR to distinguish the B biotype from other biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Australian Journal of Entomology*. 36:149-152.
- D., Mayer, R. T. (eds.), *Bemisia: Taxonomy, Biology, Damage, Control and Management*. Intercept, UK, p. 29-52.
- Duffus, J.E. 1987. Whitefly transmission of plant viruses. In: *Current Topics in Vector Research*. Vol 4, Harris K.F. (ed.), Springer- Verlag, New York. p.73-91.
- Franke, G; Van Balen, L; Debrot, E. 1983. Efecto de la época desinfección por el mosaico amarillo sobre el rendimiento del tomate. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia (Venezuela)* 6(2):741-743.
- Gálvez, G.E.; Morales, F.J. 1994. Virus transmitidos por la mosca blanca. En: Corrales, P; Antonio, M.; Howard, S. (eds.). *Problemas de producción del frijol en los trópicos*. 2. ed. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). p. 435-464.
- Gennadius, P. 1889. Disease of tobacco plantations in the trikonia. The aleurodid of tobacco. *Ellenike Georgia (Grecia)* 5: 1- 3.
- Gerling, D. Ed. 1990. *White flies: Their bionomics, pest status and management*. New Castle, U K. Athenaeum Press. 348 p.
- Gerling, D; Mayer, RT. Ed. 1996. *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. United Kingdom, Intercept. 702 p.
- Greathead, A.H. 1986. Host plants. In: *Bemisia tabaci a Literature Survey on the Cotton Whitefly with an Annotated Bibliography*. Cock, M.J.W. (ed.). CAB International Institute, Biological Control. Silwood Park, UK. p. 17-26.
- Harrison, B.D. 1985. Advances in geminiviruses research. *Annual Review of Phytopathology* 23: 55-82.
- Hassan, A.A.; Sayed S.F. 1999. Chlorotic pod: a new physiological disorder of greenpodded snap bean, *Phaseolus vulgaris* L. associated with silverleaf whitefly infestation. *Egyptian Journal of Horticulture (Egipto)* 26(2): 213-228.
- Hilje, L; Arboleda, O. 1993. Las moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en América Central y el Caribe. Turrialba, Costa Rica, CAT I E Serie Técnica: Informe Técnico No. 205. 66 p.
- Hilje, L. 1993. Un esquema conceptual para el manejo integrado de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en el cultivo del tomate. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 29:51-57.

- Hilje, L; Lastra, R; Zoebisch, T; Calvo, G; Segura, L; Barrantes, L; Alpízar, D; Amador, R. 1993b. Las moscas blancas en Costa Rica. In Las moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en América Central y el Caribe. Hilje, L; Arboleda, O. Ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 205.66 p.
- Hilje, L.1995.Aspectos bioecológicos de *Bemisia tabaci* en Mesoamérica. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 35:46-54.
- _____ 1996. Introducción. In Metodologías para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. Hilje, L. Ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Materiales de Enseñanza No. 37. p. VII-XV.
- Hilje, L; Stansly, PA. 1998. Development of crop associations for managing geminiviruses vectored by whiteflies in tomatoes. First Annual Progress Report. Turrialba, Costa Rica, CATIE, U.S. Department of Agriculture (USDA). 49 p.
- _____ 1999. Development of crop associations for managing geminiviruses vectored by whiteflies in tomatoes. Second Annual Progress Report. U.S. Turrialba, Costa Rica, CATIE Department of Agriculture (USDA).98 p.
- Hilje, L. 2000. Use of living ground covers for the managing whitefly *Bemisia tabaci* as a geminivirus vector in tomatoes. In Proceedings British Crop Protection Council- Pest & Diseases (2000, Brighton, United Kingdom). v.1. p. 167-170.
- Hilje, L; Stansly, PA. 2001. Development of crop associations for managing geminiviruses vectored by whiteflies in tomatoes. Final Report. U.S. Turrialba, Costa Rica, CATIE Department of Agriculture (USDA). 132 p.
- Hilje, L; Ramírez, P; Sibaja, G ; Morales, F J ; Anderson, P K. 2001. Inventario de biotipos de mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y de geminivirus en Costa Rica.(En preparación).
- Hilje, L; Costa, HS; Stansly, PA. 2001b. Cultural practices for managing whiteflies and associated viral diseases. Crop Protection (En prensa).
- Hilje, L; Cubillo, D; Segura, L.1993a. Observaciones ecológicas sobre la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 30:24-30.
- Hilje, L; Kass, D; Prins, K; Schlnvoigt, A; Carballo, M; Sánchez, V; Jones, J; Sanabria, G; Granados, R; Castro, OM; Del Valle, G. 2001c. Validación de tecnologías para el manejo del complejo mosca blanca-geminivirus en tomate, mediante investigación participativa. In. Taller Iberoamericano y del Caribe sobre Moscas Blancas y Geminivirus (10, 2001, Varadero, Cuba). Resúmenes. p. 224.
- Howarth, A.J.; Caton, J.; Bosset, M.; Goodman, R.M. 1985. Nucleotide sequence of bean golden mosaic virus and a model for gene regulation in gemini viruses. Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 82: 3572-3576.
- Ioannou, N. Ed. 1997. Management of the whitefly-virus complex. Rome, Italy, FAO Plant Production and Protection Paper No. 143.
- Jones, D. 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. European Journal of Plant Pathology 109: 197-221.

- Martin, J. H.; Mifsud, D.; Rapisarda, C. 2000. The whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) of Europe and Mediterranean basin. *Bulletin of Entomological Research* 90: 407-448.
- Mc Auslane, H.J.; Cheng, J.; Carle, R.B.; Schmalstig, J. 2004. Influence of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) infestation and squash silverleaf disorder on zucchini seedling growth. *Journal of Economical Entomology* 97(3): 1096-1105.
- Morales, F.J. 1994a. Mosaico Dorado del Fríjol Avances de Investigación 1994. Palmira, Valle del Cauca, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 193 p.
- Morales, F.J.; Anderson, P.K. 2001. The emergence and dissemination of whitefly-transmitted geminiviruses in Latin America. *Archives of Virology* 146: 415- 441.
- Morales, F. J.; Martínez, A. K.; Velasco, A. C. 2003. Nuevos brotes de begomovirus en Colombia. *Fitopatología Colombiana* 26(1): 75-79.
- Morales, F.J.; Niessen, A. 1988. Comparative responses of selected *Phaseolus vulgaris* germoplasm inoculated artificially and naturally with bean golden mosaic virus in *Phaseolus vulgaris* L. *Euphytica* 52: 113-117.
- Mound, L.A.; Hasley, S.H. 1978. Whitefly of the World: a Systematic Catalogue of the Aleyrodidae (Homoptera) with Host Plant and Natural Enemy Data. Wiley, New York, 340 pp.
- Mullineaux, P.M.; Donson, J.; Morris-Krsinich, B.A.M.; Boulton, M.I.; Dacies, J.W. 1984. The nucleotide sequence of maize streak virus DNA. *EMBO Journal* 3: 3063-3068.
- Ohnesorge, B; Gerling, D. Ed. 1986. *Bemisia tabaci*- Ecology and control. Special issue. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 17:1-152.
- Oliveira, M. R. V.; T.J. Henneberry; Anderson, P. 2001. History, current status, and collaborative research projects for *B. tabaci*. *Crop Protection* 20: 709-723.
- Perring, T.M. 1996. Biological differences of two species of *Bemisia* that contribute to adaptive advantage. In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. Gerling, D; Mayer, R.T. Ed. United Kingdom, Intercept. p. 1-16.
- Perring, T. M. 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. *Crop Protection* 20: 725-737.
- Quintero, C.; Cardona, C.; Ramírez, D.; Jiménez, N. 1998. Primer registro del biotipo B de *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 24(1- 2): 23-28.
- Rodríguez, I.; Morales, H.; Bueno, J.M.; Cardona, C. 2005. El biotipo B de *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) adquiere mayor importancia en el Valle del Cauca. *Revista Colombiana de Entomología* 31(1): 21-28.
- Rojas, M.R. 2000. Los begomovirus. En: *El Mosaico Dorado y otras enfermedades del fríjol común causadas por geminivirus transmitidos por mosca blanca en la América Latina*. F. J. Morales (ed.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia. p. 87-106.

- Rosset, P; Meneses, R; Lastra, R; González, W. 1990. Estimación de pérdidas e identificación del geminivirus transmitido al tomate por la mosca blanca *Bemisia tabaci* Genn. (Homoptera: Aleyrodidae) en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 15:24-34.
- Salas, J; Mendoza, O.1995. Biology of the sweet potato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) on tomato. *Florida Entomologist* 78(1): 154-160.
- Secker, A.E.; Bedford, I.A.; Markham, P.G.; William M.E.C. 1998. Squash, a reliable field indicator for the presence of B biotype of tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*. In: Brighton Crop Protection Conference: Pests and Diseases. British Crop Protection Council, Farnham, UK. P 837-842. Secker et al. (1998).
- Schuster, D. J; Mueller, TF; Kring, JB; Price, JF. 1990. Relationship of the sweetpotato whitefly to a new tomato fruit disorder in Florida. *HortScience* 25(12):1618-1620.
- Schuster, D. J; Stansly, PA; Polston, JE. 1996. Expressions of plant damage of *Bemisia*. In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage control and management*. Gerling, D; Mayer, RT. Ed. Hants, UK, Andover. p. 153-165.
- Stanley, J.; Marham, P.G.; Callis, R.J.; Pinner, M.S. 1986. The nucleotide sequence of an infectious clone of the geminivirus beet curly top virus. *EMBO Journal* 5: 1761-1767.
- Bisaro D. M. 1996. Geminivirus DNA replication. Pp:833- 854. *DNA Replication in Eucaryotic Cells*. Vol. 31. Cold Spring Harbor Laboratory Press. New York, USA. 1058p.
- Morales F. J and Anderson P. K. 2001. The emergence and dissemination of whitefly-transmitted geminiviruses in Latin America. *Archives of Virology* 146:415–441.
- Czosnek H. 2007. Interactions of Tomato yellow leaf curl virus with its whitefly vector. Pp:157-170. In: Czosnek H. (ed.). *Tomato yellow leaf curl virus Disease: Management, Molecular Biology, Breeding for Resistance*. Vol. VIII. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 448p.

Desarrollo sostenible de alimento para engorda de ganado bovino a partir de *Pennisetumsp* (maralfalfa)

Sustainable development of food for beef cattle from *Pennisetumsp* (*maralfalfa*)

Gabriela Magdalena Ortega Mulia¹⁸

* Jorge Aurelio Lois Correa

Diana Isis Llanes Gil López

José Luis Horak Loya¹⁹

Resumen

¹⁸Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA-IPN). Carretera Tampico – Puerto Industrial Altamira km 14.5. CP 89600, Altamira, Tamaulipas. Contacto: *Contacto: joralois@yahoo.com

¹⁹Instituto Tecnológico de Altamira. Carretera Tampico – Mante km 24.5. CP 89600, Altamira, Tamaulipas

Durante la última década, los estados del norte y centro de la República Mexicana han atravesado por sequías fuertes y prolongadas, que causan la escasez de pastos y la baja calidad nutritiva de los que logran ser cultivados, generando pérdidas económicas de gran magnitud en los sectores agropecuario y ganadero. Por este motivo, se estudia la propuesta de formular un alimento para engorde de ganado bovino, usando como materia prima clave, el pasto maralfalfa (*Pennisetumsp*), que además de tener una alta producción de forraje, es capaz de crecer en condiciones de sequía. Se buscará realizar un tratamiento pre-digestivo al pasto adquirido en rollo seco (presentación comercial en la zona norte de Veracruz), con el fin de remover la concentración de lignina de la planta; posteriormente, se formulará el alimento, complementando el pasto pre-digerido con otros insumos de valor energético y proteico conocidos, usando las tablas de la *National Research Council* (NRC), buscando que el diseño tecnológico para el proceso de producción sea técnico-económicamente sustentable. El producto final será consumido por becerros de engorda en etapa de terminación y su efecto será evaluado comparando la ganancia de peso diario que se obtenga, con la de los animales que no consumen la formulación.

Abstract

Over the past decade, the northern and central states of Mexican Republic have gone through severe prolonged droughts, that cause the shortage of pasture and the low nutritional quality of those that manage to be cultivated, causing economic losses of great magnitude in the agricultural and livestock sectors as well. For this reason, the proposal to formulate a feed for fattening cattle using maralfalfa grass (*Pennisetum sp*) as key raw material, which besides having a high production of fodder, it is able to grow in drought conditions, is studied. It seeks to make a pre-digestive treatment to the grass, acquired in a roll dry (commercial presentation in the north of Veracruz), in order to remove the lignin concentration of the plant, then the food will be formulated, complementing pre-digested grass with other inputs of energy and protein known, using the tables of the National

Research Council (NRC), looking for that technological design for production process will be technical and economically sustainable. The final product will be consumed by calves fattening stage of completion and its effect will be evaluated by the daily weight gain that is obtained in comparison with the animals that do not consume the formulation.

Introducción

Según el glosario internacional de hidrología de la organización meteorológica mundial (OMM, 2012), la sequía se define como la “ausencia prolongada o escasez acusada de precipitación”, es durante este periodo, que se desencadena una serie de conflictos medioambientales, sociales y económicos (Esparza, 2014), teniendo efectos directos e indirectos sobre la agricultura y la ganadería, como la erosión del suelo que interfiere con el proceso de crecimiento de la vegetación, provocando una pobre producción de pastos para el consumo de animales de pastoreo, los cuales, frente al calor, el estrés y la falta de alimento, no desarrollan sus funciones metabólicas correctamente, deteriorando su salud y muriendo como consecuencia (SAGARPA, 2012). La comunidad científica investiga tecnologías que enfrenten y solucionen estos problemas desde distintas perspectivas, una de ellas es el desarrollo de complementos alimenticios para ganado bovino utilizando materias primas sustentables, como residuos de la agroindustria o pastos de gran producción de forraje, permitiendo que el alimento tenga bajos costos de elaboración y que genere beneficios económicos a largo plazo.



Figura 1. Maralfalfa (elaboración propia)

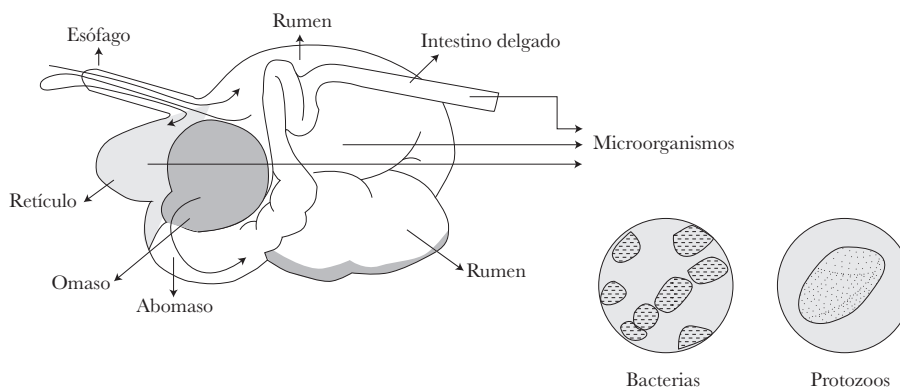
La maralfalfa (*Pennisetum sp*) (Figura 1) es un pasto perenne, que permite de dos a tres cortes al año, logrando una producción de más de 120 t/ha/año (Hinojosa Y, y otros, 2014), además, se ha reportado un contenido de entre 10 y 12% de proteína en etapa de crecimiento óptima (Citalán Cifuentes, y otros, 2012). Este capítulo abordará la propuesta tecnológica de utilizar maralfalfa como materia prima para la formulación de un complemento alimenticio para engorde de ganado bovino, en épocas de déficit hídrico.

Microbiología ruminal

Los rumiantes son capaces de convertir los carbohidratos fibrosos de las plantas, en nutrientes (Rinehart, 2008), degradando los alimentos por digestión fermentativa, gracias a la existencia de diferentes tipos de microorganismos (mo), tales como bacterias, protozoarios y hongos, que se encuentran alojados en sus cavidades estomacales, a diferencia de las especies no-rumiantes que utilizan enzimas

producidas en el mismo organismo (Relling & Mattioli, 2003). Estas cavidades conforman una cámara pre-gástrica formada por el retículo, el rumen y el omaso (Van Lier & Regueiro, 2008), que anteceden al abomaso (de función análoga al estómago monogástrico). En la Figura 2 se puede apreciar la distribución de los estómagos en el interior de un bovino.

Figura 2. Digestión poligástrica (elaboración propia)



Alrededor del 4% del volumen total del rumen es de contenido microbiano, del cual cerca del 50% es de origen bacteriano y 50% protozoario (Grudsky & Arias, 2015), siendo identificados 22 géneros y 63 especies de bacterias anaerobias, en una concentración de 10^9 a 10^{10} u/g de contenido ruminal y de aerobias facultativas en 10^4 u/g; así como 6 géneros y 16 especies de protozoarios con una concentración de 10^4 a 10^6 u/g. También, se han identificado 3 géneros y 4 especies de hongos, no obstante, su presencia en el rumen es mucho menor debido a su tasa de reproducción (Vargas, 2010). En el cuadro 1 se puede observar la clasificación de las bacterias ruminales, en función de los sustratos que utiliza, y los productos que genera.

Cuadro 1. Clasificación de las bacterias ruminales (Relling & Mattioli, 2003)

Grupo de bacterias	Característica funcional	Principales productos finales de su metabolismo
Celulolíticas	Fermentan hidratos de carbono estructurales de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y pectinas)	AGV (especialmente acetato)
Amilolíticas	Fermentan hidratos de carbono de reserva de granos de almidón	AGV (especialmente propionato)
Sacarolíticas	Fermentan hidratos de carbono simples (azúcares vegetales)	AGV (especialmente butirato)
Lactolíticas	Metabolizan el lactato	AGV (especialmente propionato)
Lipolíticas	Metabolizan las grasas	Ácidos grasos libres y AGV (especialmente propionato)
Proteolíticas	Degradan las proteínas	AGV y amoníaco (NH_3)
Metanógenas	Producen metano	Metano (CH_4)
Ureolíticas	Hidrolizan la urea	CO_2 y NH_3

Losmo presentes en el rumen, fermentan de forma anaerobia el alimento consumido, produciendo ácidos grasos volátiles (AVG), CH₄ y CO₂. Los AVGs sirven de fuente de energía y carbono para el animal, y los gases son expulsados por medio de la eructación, por su parte, la fermentación, proporciona a los mo energía para su desarrollo y división. El rumiante interviene durante el proceso, proporcionando las condiciones fisicoquímicas adecuadas para la operación de los mo, como la regulación del pH, la temperatura y el control de la tasa de renovación de los alimentos en el rumen.

Maralfalfa (*Pennisetum*sp): Generalidades

Existen varias teorías respecto al origen de la maralfalfa, una de ellas explica que es el resultado de una serie de ensayos realizados por el biólogo genetista José Bernal Restrepo, quien combinó varias fuentes forrajeras utilizando un procedimiento de diseño propio llamado Sistema Químico Biológico (SQB), sin embargo, los fundamentos de la metodología no son explicados por el autor, lo que le resta seriedad a sus publicaciones. En el cuadro 2, se muestra la combinación de pastos que Bernal propuso (Correa Cardona, Arroyave, Henao, López, & Cerón, 2015). Se cree que la maralfalfa podría corresponder a un *Pennisetum hybridum* comercializado en Brasil como *Elefante Paraíso Matsuda*. Lo que es claro, es que la maralfalfa es una planta herbácea y perenne de la familia de las gramíneas o *Poaceae*, una de las familias más importantes económicamente hablando, que cuenta con 6 subfamilias, 26 tribus, 30 subtribus, 206 géneros y más de 1000 especies (Valdés Reyna, Patricia, & Dávila, 1995).

Fuentes	Productos
Pasto elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>) + grama nativa de Colombia (<i>Paspalum macrophyllum</i>) = X X + Gramalote (<i>Paspalum fasciculatum</i>)	Gramafante (1965)
Gramafante + Guaratara (<i>Axonopus purpussi</i>)	Gramafante (1965)
Maravilla + Alfalfa Colombia [Alfalfa Peruana (<i>Medicago Sativa</i> Linn) + Brasileiro (<i>Phalarisazudinacea</i> Linn)]	Maralfalfa (1979)

Cuadro 2. Origen de la maralfalfa (elaboración propia)

Se desarrolla en regiones de clima tropical y subtropical, y se caracteriza por la fotosíntesis de tipo C4 (Lalama Vela & Ramírez Alava, 2009). Los tallos de la maralfalfa están compuestos por nudos y entrenudos; de los nudos inferiores surgen las raíces de manera adventicia y pueden presentarse varias cañas en la misma raíz. También de los nudos surge la vaina de la hoja, cubriéndolos de manera justa y traslapada, comúnmente presenta bordes libres y pilosos. La longitud y ancho de las hojas es variable dentro de la misma planta y la presencia de pelos en la hoja es característica de la especie. La lígula, que es la región que une el limbo con la vaina, presenta corona de pelos, otra característica de la especie. Los entrenudos son cortos en la parte inferior de la caña y se alargan hacia la parte superior. Tiene una flor similar al trigo y su altura puede llegar hasta los cuatro metros (Sevilla, 2011). En la Figura 3 se pueden observar algunas de estas características.

Figura 3. Características de la maralfalfa (elaboración propia)



Relación fibra– lignina

La fibra conforma la pared celular de las plantas y le brinda estructura y rigidez a las mismas. Está conformada principalmente por celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina, de igual forma, contiene cutina, sílice y otras sustancias en menor proporción (Gorosito, 1997). Esta estructura, está dispuesta en redes de lignina-hidratos de carbono y su composición es variable según la planta (Chávez-Sifontes & Domine, 2013). Los rumiantes deben consumir una cantidad determinada para estimular la rumia y la salivación, si el consumo es bajo, se produce un mayor llenado ruminal y una disminución en la tasa de pasaje, reduciendo el consumo de alimentos; si, por otra parte es excesivo, se pueden generar enfermedades como la acidosis, laminitis o desplazamiento del abomaso. La fibra solo se degrada en el rumen y de acuerdo con Bargo, Palladino, & Wawrzkiwicz (2006), el grado de lignificación de la pared celular es una de las principales limitantes a la digestión.

La lignina es un polímero natural complejo, formado principalmente por unidades monoméricas de p-cumanil, conifenil y sinapil, que se encuentran unidos entre sí por enlaces covalentes carbono-carbono y carbono-oxígeno-carbono (éter) siendo difícil de hidrolizar (Llanes Gil López, 2012).

Chávez-Sifontes & Domine, presentan algunas de las características de la lignina:

1. Son polímeros vegetales a base de monómeros fenilpropanoides.
2. Presentan, principalmente grupos metoxilo.
3. Son resistentes a la hidrólisis ácida.
4. Se oxidan fácilmente.
5. Son solubles en álcali caliente.
6. Se condensan fácilmente con fenoles o tioles.

Objetivo general

Formular un complemento alimenticio económicamente sustentable, que sea capaz de reactivar la microbiotaruminal, basado en maralfalfa (*Pennisetum sp*) pre-digerida y enriquecida con insumos de alto valor nutritivo, que al ser consumido por el ganado, le permita asimilar los nutrientes que necesite de su dieta regular, y aumentar su peso en época de sequía.

Objetivos específicos

1. Realizar un tratamiento químico pre-digestivo para aumentar la digestibilidad de la maralfalfa, a base de hidróxido de sodio (NaOH) y miel-urea.

2. Evaluar los cambios en la morfología y estructura química de la maralfalfa debidos al tratamiento pre-digestivo.

3. Formular un alimento a base de maralfalfa pre-digerida, complementada con otros insumos de valor energético y proteico conocidos.

4. Suministrar la formulación durante 40 días, en época de sequía, a cinco becerros de engorda suizos-cebú en etapa de terminación, en condiciones de pastoreo, evaluando su efecto en la ganancia de peso diario y la actividad microbiana del líquido ruminal por comparación con los de cinco testigos, bajo las mismas condiciones.

5. Realizar un diseño tecnológico y un análisis técnico-económico para determinar el grado de viabilidad de la producción del reactivador.

Resultados esperados

Se espera que el tratamiento pre-digestivo provoque una ruptura en la estructura de la lignina, pudiendo observarse mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (IR-FT) y Microscopía Confocal con Barrido Láser (MCBL), siendo evidencia de que el tratamiento permite aumentar la digestibilidad de la maralfalfa. De igual forma se espera que la administración del reactivador ruminal provoque un aumento de peso considerablemente mayor, en los becerros de estudio, en comparación con los testigos, que no consumieron el producto, así como el aumento en las poblaciones microbianas del líquido ruminal. Así mismo, se espera que al tratarse de un pasto de gran producción de forraje, la tecnología de producción del reactivador sea económicamente sustentable.

Agradecimientos

Al Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA-IPN) Unidad Altamira, al Instituto Tecnológico de Altamira (ITA), a los proyectos SIP-20140206 y SIP-20151141, a la Asociación Ganadera de Ozuluama, Veracruz y a la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI).

Bibliografía

- Bargo, F., Palladino, A., & Wawrzkiwicz, M. (2006). La Fibra. Recuperado el 15 de Junio de 2015, de Sitio Argentino de Producción Animal: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/66-fibra.pdf
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: Una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*.
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 15-46.
- Citalán Cifuentes, L., Domínguez Coutiño, B., Orantes Zebadúa, M. Á., Manzur Cruz, A., Sánchez Muñoz, B., De los Santos Lara, M. d., y otros. (2012). Evaluación nutricional de maralfalfa (*Pennisetum* spp) en las diferentes etapas de crecimiento en el rancho San Daniel, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. *Quehacer Científico Chiapas*, 19-23.
- Correa Cardona, H. J., Arroyave, H., Henao, Y., López, A., & Cerón, J. (2005). *Pasto maralfalfa: Mitos y realidades*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras. Secuencia. *Revista de historia y ciencias sociales*, 193-219.
- Gorosito, R. (1997). *Cantidad, calidad y tamaño de fibra en la dieta de las vacas lecheras*. Recuperado el 15 de Junio de 2015, de Sitio Argentino de Producción Animal: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/70-fibra_en_lecheras.pdf
- Grudsky, R., & Arias, J. L. (24 de Febrero de 2015). *Aspectos generales de la microbiología del rumen*. Obtenido de Sitio argentino de producción animal: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/12-microbiologia.pdf
- Hinojosa Y., L. A., Yopez N., D., Rodal C., F., Ríos O., A., Claros B., R., Suárez N., T., y otros. (2014). Producción y características agronómicas de cuatro variedades de pasto de corte del género *Pennisetum*, en Trinidad, Bolivia. *Agrociencias Amazonia No. 3*, 28-34.
- Lalama Vela, G. A., & Ramírez Alava, A. (2009). *Determinación de la calidad nutricional de la maralfalfa (*Pennisetum* sp) en la alimentación de ganado bovino en el valle de Chillos hacienda La Guadalupeana*. Ecuador, Quito: Universidad las Américas (Tesis de Licenciatura).
- Llanes Gil López, D. I. (2012). *Desarrollo técnico-económicamente viable de harinas forrajeras predigeridas y enriquecidas proteicamente a partir del bagazo de la caña de azúcar*. Altamira, México: Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA-IPN) (Tesis de Maestría).
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2012). *Glosario Internacional de Hidrología*. Ginebra, Suiza.
- Relling, A. E., & Mattioli, G. A. (2003). *Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes*. La Plata: EDULP.
- Rinehart, L. (2008). Nutrición para rumiantes en pastoreo. *ATTRA*.

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2012). México: El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático.
- Sevilla, P. (2011). La utilización de la maralfalfa como alimento principal en la explotación bovina de carne de la finca Pulpaná del Cantón Sigchos. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Agronómica.
- Valdés Reyna, J., Patricia, E., & Dávila, A. (1995). Clasificación de los géneros de gramíneas (Poaceae) mexicanas. *Acta Botánica Mexicana*, núm. 33, 37-50.
- Van Lier, E., & Regueiro, M. (2008). Digestión en retículo-rumen. *Curso de anatomía y fisiología animal*. Montevideo, Uruguay.
- Vargas, L. (2010). Rumen: morfofisiología, trastornos y modulación de la actividad fermentativa. *Morfocinética ruminal*. Chile: América Ltda.

Factores presionantes sobre la sostenibilidad en la agroindustria de azúcar de caña en México

Factors that influence the sustainability in the sugar cane agro-industry of Mexico

*Jorge A. Lois Correa²⁰
Diana I. Llanes Gil López
Vanessa N. Orta Guzmán
María E. Sánchez Pardo²¹

Resumen

²⁰*Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología de Avanzada. CICATA-IPN. Km. 14.5 Carretera Tampico-Puerto Industrial Altamira. Altamira 89600, Tamaulipas, México. *Contacto: joralois@yahoo.com*

²¹*Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. ENCB-IPN. Campus Casco Santo Tomás. México DF*

Se mencionan y analizan las causas que determinan que la producción agroindustrial de la caña de azúcar en México esté aún lejos de ser sostenible a pesar de su carácter estratégico que mantiene productivas a casi 700 000 Ha con una producción anual de cerca de 5.0 millones de t de azúcar. Se expone su situación actual, las funciones económicas importantes que han caracterizado su desarrollo y el hecho de que representa una fuente de ingreso de más de 3.0 millones de mexicanos y la oportunidad de desarrollo económico y social en cerca de 230 municipios y 15 estados. Los factores que con mayor fuerza presionan la falta de sostenibilidad de esta industria son: a) La quema de caña previo a su cosecha, y la falta de reciclaje de los RAC (residuos agrícolas de caña), b) El excesivo consumo de energía y de productos químicos c) Las emisiones contaminantes, d) El deterioro del medio ambiente afectándose las condiciones laborales y de salud de los trabajadores, e) La ausencia de una política de diversificación y conversión de los subproductos en co-productos de valor agregado y f) Los elevados costos de producción. Igualmente, se proponen estrategias que coadyuven a enfrentar con éxito la competencia en el mercado de edulcorantes y bio-energéticos con productos de calidad provenientes de procesos rentables y sustentables.

Abstract

The causes for determining that Mexican sugar cane agro-industrial production is still far from being sustainable despite its strategic character that keeps productive almost 700 000 ha with an annual production of about 5.0 million t of sugar are mentioned and analyzed. Outlining its current situation, as well as the important economic functions that have characterized its development and the fact that it represents a source of income of more than 3.0 million Mexicans and an opportunity for economic and social development in more than 230 municipalities and 15 states. The factors that more forcefully push the lack of sustainability of this industry are: a) the burning of cane prior to harvest, and the lack of recycling of agricultural residues, b) excessive consumption of energy and chemicals, c) the emission of pollutants, d) the deterioration of the environment affecting the working conditions and health of workers, e) the absence of a policy

for diversification and conversion of the by-products in value-added co-products f) the high costs of production. Also, strategies that contribute to successfully face the competition in the market of sweeteners and bio-energy with products of quality from profitable and sustainable processes are proposed.

Introducción

Los humanos requieren el azúcar en su alimentación, al constituir éste un alimento perfecto, en una forma tal que permite ser asimilado por el organismo. Su valor principal estriba en ser un productor de energía y estar especialmente bien adaptado para su uso después de un fuerte ejercicio físico. Una gran industria azucarera se ha desarrollado relacionada con la extracción de azúcar de los tejidos de la planta, su purificación y refinación, y buena prueba de ello se refleja en el hecho de que adicionalmente, más de 10 mil diferentes co-productos químicos derivados se han sintetizado a través de su historia.

Las áreas cañeras del mundo están en la faja de 35° LS y 35° LN y la cosecha global de *Saccharum* spp., durante 2012, fue de 26 088 636 ha, cuyo cultivo es realizado en 113 países. El mayor productor mundial de caña de azúcar es Brasil, con 9 075 388 ha cultivadas (FAO-STAT, 2014 a;b) y con 421 ingenios (un ingenio produce azúcar, etanol y electricidad; ÚNICA, 2013; Jornal Cana, 2014). La importancia del cultivo de la caña de azúcar reside en la posibilidad de obtener numerosos co-productos, algunos de ellos de alto valor agregado. Ésta es la principal razón para cosecharla en forma mecanizada sin quemarla previamente, para no causar pérdidas económicas y ambientales, como se había creído originalmente (Cuba, 2012).

La caña de azúcar es una gramínea con un tallo grueso y fibroso, que crece hasta alcanzar los 6.0 m de altura. Las variedades comerciales de la caña de azúcar son híbridos complejos de varias especies dentro del género *Saccharum*. La especie más conocida es *Saccharum officinarum*. Las plantas de caña de azúcar almacenan sacarosa en la savia del tallo para llenar las semillas luego de la floración. Sin embargo, es importante que los cultivos de caña de azúcar no florezcan para que den altos rendimientos de azúcar. En el momento de la cosecha, la caña contiene aproximadamente 10% de azúcar, lo cual cambia según la variedad y la estación y el lugar.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es uno de los cultivos más importantes de México, ya que genera alrededor de 440 mil empleos directos y 2.6 millones de empleos indirectos. Se adapta a casi cualquier tipo de suelo, aunque se desarrolla mejor en suelos francos, profundos y bien drenados. Se prefieren suelos con un pH de 7.4, pero se puede cultivar en un rango de 5.5 a 7.8 (Ramírez, 2008). En el país se tiene establecida una superficie aproximada de 680 mil ha. La agroindustria de azúcar de caña ha sido una rama importante para el desarrollo económico del país cumpliendo importantes funciones. Según los datos de FAO, en el mundo se sembraron cerca de 22.0 millones de hectáreas de caña de azúcar en el 2009, siendo Brasil el mayor con 8.0 millones de Ha, seguido por India (4.4×10^6 Ha), China (1.63×10^6 Ha) y Pakistán (1.03 Ha), por consiguiente Brasil (40,88%), India (20,9%), China (7,75%) y Pakistán (4,89%), son los que mayor área de siembra destinaron al cultivo.

Estos cuatro países siembran más del 74,42% de la superficie mundial (USAID, 2011). La producción de azúcar en México había permanecido estable en alrededor de 5.1 millones de toneladas en promedio durante los últimos 10 años. En la zafra 2011/12 la producción del edulcorante registró un volumen de 5.04 millones de toneladas, es decir, una reducción de 2.6% respecto a la zafra anterior, y en la zafra siguiente, 2012/13 el pronóstico nacional de producción del endulzante había sido 5.6 millones de toneladas, indicando un incremento de 12.3% a tasa anual respecto de la zafra previa. Dicho crecimiento obedecía a un aumento de 2.3% de la superficie de caña, 5.5% en el rendimiento, y de 7.8% en la caña industrializable (toneladas de caña molida). De esta forma, según los datos reportados pronosticados de azúcar para la zafra 2012/13 se esperaba que fuera la segunda mejor producción desde la zafra 1969/70. Entidades como Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí habrían concentrado 58.6% de la producción de azúcar para esa zafra 2012/13 con un volumen estimado de 3.3 millones de toneladas. Sin embargo, en el período 2013-2014, México bajó en la producción de azúcar estimativamente, casi un millón de toneladas en relación con la zafra anterior, Estados Unidos también tuvo una merma en su producción de azúcar de caña y de remolacha, donde la región volvió a ser deficitaria en ese ciclo 2013-2014 (El Informante, 2013).

Importancia de la caña de azúcar

La caña de azúcar es un inmenso monocultivo (FAOSTAT, 2014_{ab}). El punto de saturación lumínica entre 8 000 a 10 000 pie velas. Ha llegado a producir altos rendimientos, pero ha causado grandes problemas de estabilidad ecológica de los agro-sistemas donde el cultivo es atacado por diversas plagas de enfermedades, roedores, nematodos, insectos y malezas invasoras (Córdova, 2014). La temperatura óptima para la caña de azúcar está entre 30 y 45 0 C. El punto de compensación de CO₂ de 0 a 10 mg kg CO₂ (Gliessman, 2002; Córdova, et. al, 2014). La tasa fotosintética máxima, de 30 a 45 mg CO₂ dm²·h, y la tasa de crecimiento máximo de la fitomasa de 4.0 g dm²·día⁻¹ (Gliessman, 2002; Martínez, 1995). La caña de azúcar ocupa un área de 20.42 millones de hectáreas en todo el mundo, con una producción total de 1 333 millones de toneladas métricas. El área cultivada con caña de azúcar y la productividad difieren considerablemente de un país a otro.

La industria azucarera mexicana ha sido históricamente una de las más importantes del país debido a la gran fuerza del sector agropecuario. En su desarrollo ha cumplido funciones económicas importantes, tales como producir un producto básico, abastecer de materias primas a otras industrias, generar empleos directos e indirectos, servir de mercado interno y a portar divisas, vía exportaciones, (Arguello-Zepeda, 2009). Los primeros ingenios eran trapiches de tracción animal y su capacidad de producción era muy limitada. Sin embargo, el posicionamiento político, la invasión del desarrollo urbano, el mayor control del medio ambiente, la competencia por el uso de la tierra de otros cultivos y la silvicultura, así como la diversidad existente entre las regiones productoras de azúcar son factores que han venido afectando la capacidad de esta industria en México para que pueda coincidir con los criterios de sostenibilidad. En el mundo globalizado es necesario que las actividades agropecuarias y pesqueras

vayan más allá de la producción de alimentos y materias primas. Para enfrentar los retos de la sociedad mundial es preciso diversificar y darle valor agregado a los productos del campo y del mar. Desafortunadamente, no se puede afirmar que exista en México una rigurosa aplicación reglamentaria acerca de la gestión del riesgo y la mejora continua de nuevas prácticas agrícolas que realizan los productores azucareros para la sostenibilidad económica, social y ambiental siendo el resultado de una insuficiente reinversión en las instalaciones fabriles, el exceso de empleados en algunos ingenios y de un alto consumo de energía, lo cual elevó los costos de producción del azúcar. Con ello se ha mermado el potencial competitivo de esta rama productiva en el contexto del TLC, a la vez que se han presentado algunos problemas ambientales, debido al ruido excesivo en la fábrica y a emisiones contaminantes de diversa índole que han venido deteriorando las condiciones laborales y de salud de los trabajadores del campo cañero y de la fábrica.

Materiales y métodos

Situación actual en México. La caña de azúcar se desarrolla, de acuerdo a las estadísticas, en 230 municipios de los 15 estados de la república y en los cuales, vive el 10 por ciento de la población nacional, y a su vez, de alguna manera la economía de esas regiones, vive de la producción de la caña de azúcar.

México, es uno de los diez países con mayor superficie cosechada y producción de caña de azúcar a nivel mundial. De acuerdo a estadísticas obtenidas del Senado de la República, la industria azucarera emplea alrededor de 3.0 millones de mexicanos y se extiende por cerca de 230 municipios en 15 estados de la república.

En todo el país más de 160 000 productores de caña dependen de esta industria, igual que la agroindustria depende de ellos. Lo mismo podemos decir de los más de 20 000 obreros; 175 000 cortadores que laboran en la zafra, 28 000 choferes de camiones y 16 000 empleados de oficinas. Esto sin considerar a las compañías distribuidoras y comercializadoras.

A pesar de su importancia económica, la producción y el procesamiento agroindustrial de la caña en México están aún lejos de ser una industria sostenible a pesar de ser actividades muy importantes en el país que impacta el 0.5 % del PIB. Con un rendimiento promedio de 73.15 ton/ha, las 42 547 000 ton de caña que se obtienen anualmente en México producen cerca de 5.0 millones de ton de azúcar (Lois-Correa, 2010). En la Tabla 1 se muestra el rendimiento agrícola de los principales países productores de caña de azúcar en la región (FAO, 2002-2006). México elevó sus estimaciones para la producción de azúcar en ese ciclo a lo que podría ser un nuevo récord de 6.68 millones de toneladas, debido a una mayor superficie sembrada y a un mejor rendimiento, dijo un comité sectorial en su más reciente proyección.

México esperaba producir 6.25 millones de toneladas en el ciclo 2012/13, según estimaciones del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA), un organismo oficial que reúne a propietarios de ingenios, productores de caña y al gobierno. De llegar a alcanzar esa meta, la producción hubiera sido mayor al récord de 5.8 millones de toneladas alcanzadas en el ciclo 2004/05.

Tabla 1. Rendimiento agrícola de caña de azúcar por países. (Fuente: FAO Statistics. Promedios 2002-2006)

País	Ton/Hectárea
Perú	109.68
Guatemala	96.03
Colombia	91.57
Ecuador	73.72
Brasil	73.15
México	72.72
Venezuela	70.44
Argentina	65.21
República Dominicana	52.56
Cuba	30.79

Rezagos tecnológicos. Insuficientes remodelaciones y reinversiones en las instalaciones agro-industriales de los ingenios, y los excesivos consumos energéticos y de productos químicos, aunados a la elevación en los costos de producción, han sido las causas principales de los rezagos tecnológicos y del surgimiento de la crisis que ha venido afectando la industria azucarera mexicana en las últimas dos décadas. Otros factores no menos importantes son los problemas de impacto ambiental derivados del excesivo ruido de instalaciones en niveles de obsolescencia, las significativas emisiones contaminantes en el ingenio y también en el campo, han venido afectando la salud de los trabajadores del ingenio y los que laboran en el campo, así como a los habitantes de localidades cercanas (Arroche-Herrera, 2004). Pese a los modestos avances técnicos alcanzados en México, todavía existe una brecha tecnológica con respecto a otros países, tales como Perú, Guatemala y Colombia en cuanto al rendimiento de campo tal y como se puede apreciar en la Tabla 1 (FAO, 2002-2006).

Tabla 2. Datos del campo cañero mexicano.

Superficie cosechada	683 598 Ha
CO ₂ a la atmósfera por la quema de cañaverales	561 917 ton
CO ₂ recuperado por la fotosíntesis	449 534 ton
CO ₂ excedente a la atmósfera	724 767 ton /161.22%
Caña cosechada neta	56 865 076 ton
Caña perdida por transportación (17.6 %)	8 510 418 ton
Caña molida	48 354 649 ton
Residuos Agrícolas de la Caña de Azúcar (RAC)	64 258 ton

Existe aún un desarrollo heterogéneo de la industria azucarera mexicana, marcado por ingenios de alta, media y baja productividad (García y Escalante, 1997). Estas diferencias se originaron desde la fundación arbitraria de algunos ingenios en zonas no aptas para el cultivo de la caña, y también ha influido en ello la deficiente administración de los ingenios. Otros problemas recientes de la industria son la pérdida de empleos que trajo consigo la reconversión de esta industria en los años noventa, así como el deterioro del medio ambiente

que ocasionan los ingenios. En las Tablas 2 y 3 se muestran los principales indicadores productivos del campo y fábricas de azúcar mexicano en los que se puede apreciar que el total de emisiones de CO₂ solamente por la quema de caña supera las 560 mil ton que sumado al CO₂ excedente emitido a la atmósfera representa un total de 1.29 millones de t de CO₂ emitidos a la atmósfera.

Rendimiento en fábrica	11.11%
Agua utilizada para elaboración de azúcar	20 792 499 m ³
Cachaza obtenida	1 595 703 ton
Azúcar producida	5 467 098 ton
CO ₂ emitido por la elaboración de azúcar	500 000 ton
Excedente de CO ₂ emitido por los ingenios azucareros	50 466 ton
Miel final	1 257 220 ton
Bagazo	11 169 923 ton

Tabla 3. Datos promedio de la industria de azúcar de caña en México.

Resultados y discusión

Impacto medioambiental de la industria azucarera. Gran cantidad de factores de conjunto dictan la práctica agro-industrial. Por ejemplo, en la mayoría de las zonas azucareras, los incendios son comunes durante la cosecha de la caña esgrimiéndose variadas justificaciones en su aplicación, mientras que en otras regiones,- unas muy pocas,- desde hace años, los incendios de caña han sido reemplazados por la cosecha de caña verde, la mecanización y el encamado de los surcos con los RAC, residuos agrícolas de la caña (Aroche-Herrera, 2004).

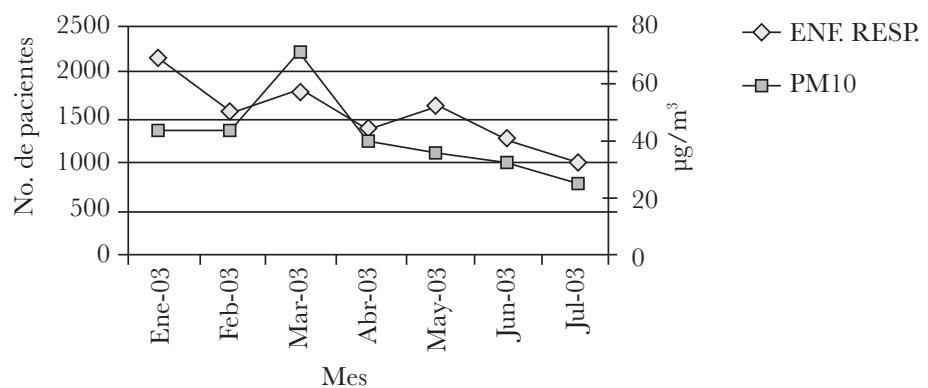
La quema de cerca de 700 mil Ha de superficie de caña cosechada en México, representa una significativa emisión de alrededor de 560 mil t de CO₂ a la atmósfera. Esto genera emisiones a la atmósfera, principalmente de PST y monóxido de carbono que, dependiendo de las condiciones locales y técnicas aplicadas de quema pueden tener incidencia en la salud humana. Debido a las condiciones climatológicas y las características aerodinámicas de las partículas emitidas por la quema de caña, éstas logran viajar largas distancias, por lo que sus concentraciones pueden afectar no solo regiones aledañas a la zona cañera. De acuerdo a modelos de dispersión analizados, las concentraciones pueden permanecer altas hasta distancias de aproximadamente 50 km.

Cuando se efectúa la quema de caña se produce contaminación. Puede ser vista en el día como una lluvia de trozos de cenizas que cae sobre toda la ciudad. Estas cenizas van acompañadas de una serie de gases no visibles y humo que agravan los problemas. La combustión produce gases como monóxido de nitrógeno que tiene efectos tóxicos sobre los humanos; anhídrido sulfuroso, que al unirse con el agua de la atmósfera forma las llamadas *lluvias ácidas* y tiene efectos irritantes en la vista y en concentración de 0,5 ppm elimina la vegetación; el anhídrido carbónico en reacción fotoquímica produce irritación en los ojos y afecta las vías respiratorias. También se producen cenizas que contienen potasio en altas cantidades y en presencia del agua tienen un alto poder corrosivo sobre diversas superficies (autos, casa, estantes, etc.), además

de manchar la ropa y crear contaminación estética (basura) que resulta costoso eliminar (García, R., 1997).

En un estudio realizado para determinar la incidencia del particulado provocado por la quema de caña sobre el número de pacientes por mes con enfermedades respiratorias y las concentraciones de PM10, se notó que al disminuir PM10 de mayo a junio decrecía también el número de pacientes; sin embargo, en los meses más fríos hay otros factores que influyen sobre las enfermedades respiratorias, pareciera ser que la elevación del nivel de PM10 en marzo tuviera relación con este tipo de enfermedades. En la Figura 1 se muestra cómo influye la presencia de PM10 sobre el número de pacientes (Ruiz, M., 2008).

Figura 1. Concentración de PM10 y Frecuencia de afecciones y enfermedades respiratorias (Fuente: Ruiz, 2008).



- **Contaminación por nutrientes y pesticidas.** El uso intensivo de agroquímicos para el cultivo de la caña de azúcar contamina cuerpos acuíferos pudiendo también afectar a organismos de poca importancia económica, pero esenciales para la formación de redes alimenticias complejas que contribuyen a la biodiversidad y estabilidad del ecosistema. Para ello, los organismos de protección del medio ambiente deberían ser más activos y la legislación más completa.

- **Generación de efluentes líquidos.** En la última etapa del proceso de producción de azúcar, en la fábrica se expide agua con una alta carga orgánica, aceites y grasa; sin embargo, no siempre se cuenta con eficientes sistemas de tratamiento de agua industrial.

- **Degradación de suelos.** El incremento de la acidez de los suelos es más frecuente en las plantaciones de caña debido al uso de fertilizantes nitrogenados como la urea y el sulfato de amonio. Cuando tienen lugar fuertes lluvias, se originan lixiviados de sulfatos que promueven la acidificación del suelo (García, L., 1997).

La causa básica de muchos de los problemas ambientales de las regiones azucareras de México, radica en que la legislación ambiental no se aplica como corresponde y en la baja capacidad para formular proyectos ambientales (Arguello-Zepeda, F.J., 2009).

Factores de riesgo. En la industria azucarera mexicana se registra una tasa de accidentes que oscila entre el 9 y 10 %, cuatro veces mayor al promedio nacional

en la industria manufacturera así como al de la economía en su conjunto La mayoría de los ingenios del país aún presenta una situación laboral riesgosa, debido a los siguientes factores (Espinosa, G. 2002):

a) Mal estado de las instalaciones, pues a pesar de la supuesta reconversión azucarera, el 39 % del total de ingenios sólo actualizaron sus equipos y parcharon maquinaria obsoleta.

b) Falta de uso del equipo de protección, bien por negligencia del ingenio o por la costumbre de los trabajadores.

c) Tipo de substancias que se impregnan en toda la fábrica, lo cual potencia la ocurrencia de accidentes.

En el campo cañero, no se puede afirmar que la situación sea mejor ya que los cortadores de caña afrontan condiciones de vida muy difíciles, su trabajo es temporal, con extenuantes jornadas laborales, su pago es a destajo, y se exponen a quemaduras por el medio en que se desenvuelven. A pesar de la tendencia existente a la mecanización de la cosecha de la caña (en mayor medida el alce que el corte), aún se presentan problemas serios de salud en los trabajadores obligados a recurrir a los servicios médicos disponibles. Según datos del IMSS, los cortadores que acuden en busca de atención presentan diversas enfermedades, de tipo nutricional, además de algunos padecimientos relacionados con riesgos físicos vinculados a las operaciones del corte y alza de la caña de azúcar. De aquí se infiere la necesidad de implementar una política ambiental que no sólo maneje la protección a la salud en el discurso, sino que busque los mecanismos reales para lograrla (Arguello-Zepeda, 2009).

Factores presionantes sobre la sostenibilidad. Sostenibilidad es un concepto que debe implicar tres factores esenciales: personas, planeta y beneficios. La caña de azúcar en México puede llegar a convertirse en una industria sostenible al igual que lo han logrado otros países como Brasil, que han alcanzado avances significativos en su sostenibilidad. Se demuestra que un ingenio típico de hoy día, puede procesar el doble de la caña de azúcar con el mismo equipo y con aproximadamente la misma energía, mantenimiento, mano de obra, agua, etc. de manera que sea factible producir tanto como el doble de producto (Fingerut, J., 2010).

Los principales problemas medioambientales que se registran son:

- Degradación de los suelos.
- Afectaciones a la cobertura forestal.
- Contaminación.
- Carencia de agua.
- Pérdida de la diversidad biológica.

En términos de impacto sobre el medio ambiente, se reconoce que toda actividad económica tiene en mayor o menor grado un impacto, pero en el caso de México la agroindustria de la caña constantemente demuestra que su producción y procesamiento son viables solamente en el largo plazo. Diferentes análisis económicos realizados han indicado más utilidad con caña verde (197%) en comparación con una vez quemada (143%) y dos veces quemada (100%) presentando la caña verde un 35% mayor cantidad de energía producida por unidad invertida.

Alternativas y acciones dirigidas al logro de la sostenibilidad azucarera

Es justo reconocer que muchas de las investigaciones en la industria del azúcar de caña en México tienen un enfoque de sostenibilidad. Existen enfoques de trabajo acerca de la reducción de las necesidades de fertilizantes, las mejoras en la focalización y la eficacia del uso de plaguicidas, tolerancia a la sequía de nuevas variedades y sistemas de cultivo con insumos más bajos y menores pérdidas, así como el formidable potencial económico y ambiental que brindarían los RAC como materia prima para el desarrollo de co-productos de valor agregado si se cambiara el sistema de cosecha en caña quemada por la de caña verde, son todos ejemplos de la investigación dedicada a mejorar la sostenibilidad expresada en términos de utilización integral de la caña. Sin embargo, no siempre se puede afirmar que la transferencia y aplicación de estos resultados en la práctica social haya sido exitoso ni que contribuyera a la creación de una sólida y verdadera cultura de desarrollo sostenible.

México debe cesar la nociva quema de caña y aprovechar todos los residuos agrícolas de la caña RAC, mediante su reciclaje en los campos de caña, así como en su aprovechamiento energético. El uso de energía y productos químicos en el procesamiento industrial también debe reducirse considerablemente.

El uso y conversión de las melazas, el bagazo de la caña de azúcar, y otros subproductos, en un amplio surtido de co-productos, algunos de ellos de alto valor agregado, la producción de bioplásticos y el establecimiento de una sólida base de producción de biocombustibles representan para México nuevos caminos para una mayor sostenibilidad. La totalidad de la cadena de producción mexicana de caña de azúcar tiene que estar muy bien preparada para un examen más intenso de la sostenibilidad (Lois-Correa, J., 2002).

En el campo cañero mexicano se observa el hecho de que la determinación y aplicación de las variedades de caña y de los herbicidas las decide el ingenio, sin considerar los intereses de los campesinos, que en su mayoría son ejidatarios minifundistas. En cuanto al aspecto industrial, se observa la falta de industrialización de muchos subproductos de la caña, que terminan como desechos industriales; existen también problemas de contaminación de ríos por los materiales que utilizan los ingenios azucareros y una falta de seguridad en las fábricas y en la zafra en general.

Algunos indicadores básicos que deben tomarse en cuenta para una buena gestión de sostenibilidad ambiental son los siguientes:

1. Adecuado funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de residuales azucareros.
2. Disminución de los riesgos de derrames de hidrocarburos y grasas en las distintas áreas de la industria.
3. Aprovechamiento de los sub-productos y su conversión en co-productos de valor agregado.
4. Disminución de consumos de sosa cáustica y ácido clorhídrico en la industria.
5. Segregación de las corrientes residuales de limpieza.
6. Implantación de eficientes sistemas de fertirriego.
7. Identificación y control de los puntos críticos del proceso que generan la contaminación.

8. Incluir en el proceso inversionista los indicadores de lucha contra la contaminación.
9. Aplicación de una política de producciones más limpias (PML).
10. Cultivo de la caña de forma intensiva y racional.
11. Mantenimiento preventivo de las calderas.
12. Evaluación del impacto ambiental provocado por el ruido en las instalaciones e implantar medidas tecnológicas para disminuirlas.
13. Inventariar y controlar las fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero.

Conclusiones

Los aspectos de sostenibilidad que con urgencia requiere México, y que se pueden destacar, en el procesamiento agroindustrial de azúcar de caña son:

- Productividad: Obtener más con el mismo equipamiento.
- Eficiencia: Alcanzar mayores niveles de productividad con la misma materia prima.
 - Reducción de las pérdidas y emisiones contaminantes.
- Energía: Producir más con la energía instalada.
- Agua: Aumentar la producción con la misma cantidad de agua.
- Productos químicos: Producir más con los mismos productos químicos.
 - Menos contaminación-polución.

Agradecimientos

A los proyectos **SIP20140206** y **SIP 20151141** del Instituto Politécnico Nacional IPN.

Bibliografía

- Argüello-Zepeda, F. J. (2009). Desarrollo tecnológico de la agroindustria azucarera mexicana, impactos sociales y formas de gestión ambiental [http://www.eumed.net/libros/2009a/476/Desarrollo tecnológico de la agroindustria azucarera mexicana impactos sociales y formas de gestión ambiental.htm](http://www.eumed.net/libros/2009a/476/Desarrollo_tecnológico_de_la_agroindustria_azucarera_mexicana_impactos_sociales_y_formas_de_gestión_ambiental.htm).
- Arroche-Herrera, D. (2004). Problemática y Crisis de la Industria Azucarera Mexicana en el Marco del Tratado de Libre Comercio de América del Norte TLC. Tesis Licenciatura. Relaciones Internacionales. Departamento de Relaciones Internacionales e Historia, Escuela de Ciencias Sociales, Universidad de las Américas, Puebla. México, Febrero.
- Borlaug, N. (2002). *La revolución verde: paz y humanidad*. N° 5 de Ciencia-Tecnología e Historia: Serie 2002. Editor Universidad Autónoma Chapingo, PIHAAA-CIESTAAM, 2002. 59 pp.
- Cuba. (2012). Caña de azúcar: *Las potencialidades de sus derivados*. Disponible en: <http://dcuba.net/rss/azucar-las-potencialidades-de-sus-derivados> (11 de abril de 2013). En: Córdova Sánchez S. et al (2014). *Saccharum spp. in Brazil. A review*. Avances en Investigación Agropecuaria 18(3): 49-64 ISSN0188789-0. Una revisión. Disponible en: <http://tropicos.org/name/25509848> (Consultado el 30 de abril de 2015).
- El Informante de Veracruz. (2013). El sector cañero y la industria de la caña de azúcar, un ejemplo dentro de la agroindustria mexicana: *Carlos Blackaller*. <http://www.elinformantedeveracruz.com> p. 5. (2013)
- Espinosa, G. (2002), “Políticas de privatización: los saldos de una década en la industria azucarera” En Ma. Magdalena Saleme, et al (Comps.), Desarrollo regional, mercado laboral, sociedad rural en México, México: UAM-Xochimilco, División de Ciencias Sociales y Humanidades, pp. 221-240.
- Lois-Correa, J. (2010). Caña de azúcar y medioambiente. Conferencia dictada en la Semana Nacional por la Conservación del Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México Nov.23-27.
- FAO. Statistics 2002-2006. En: Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles. Una alternativa para la generación de empleos e ingresos. Módulo V: caña de azúcar. Servicio holandés de cooperación al desarrollo SNV, 1ra ed. Tegucigalpa, Honduras.
- FAOSTAT. (2014^a). Faostat Division. Área mundial cosechada de caña de azúcar. Disponible en: faostat.fao.org/site/567/Default.aspx?PageID=567#anchor (Consultado el 14 de mayo de 2015).
- FAOSTAT. (2014^b). Faostat Division. Área cosechada de caña de azúcar en Brasil. Disponible en: faostat.fao.org/site/567/Default.aspx?PageID=567#anchor (Consultado el 14 de mayo de 2015).
- Finguerut, J. (2010) Sustainability in sugarcane processing in Brazil. *Proceedings XXVII Congress of ISSCT*, marzo, Boca de Río, Veracruz, México, pp. 9.
- García, L. y R. Escalante (1997). La agroindustria azucarera de México en el marco de la apertura, Comercio exterior, Vol. 47, núm. 12, diciembre, pp. 975-983.

- García, R.; Espinoza, J. y Marcano, J. (1997). La contaminación ambiental causada por la quema de la caña de azúcar, al momento de la cosecha. FONAIAP Divulga, No. 5(1997). 7, Julio-Sept. (1997).
- Gliessman, S. (2002). Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Edición en español: Rodríguez, E.; Benjamín, T.; Rodríguez, L. y Cortés, A. *Editorial Turrialba*, CATIE, C.R., 359 pp.
- Jornal Cana. (2014). Brasil possui 421 usinas e destilarias. Disponible en: <http://www.jornalcana.com.br/brasil-possui-421-usinas-e-destilarias> (Consultado el 10 de abril de 2014)
- Lois-Correa, J. (2002). Advantages of the Production and Use of Gasohol and Biodiesel as a Clean Renewable Energy Resource from Sugar Cane Juice, *Sugar Journal*, Oct., Louisiana, USA.
- Lois-Correa, J. (2010). Caña de azúcar y medioambiente. Conferencia dictada en la Semana Nacional por la Conservación del Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México Nov. 23-27.
- Martínez, F.G. (1995). Elementos de fisiología vegetal. Relaciones Hídricas. Nutrición mineral. Transporte. Metabolismo. *Mundi Prensa* Madrid. Pp.627-629
- Ramírez M. Á. (2008). Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: una alternativa para la generación de empleos e ingresos. Módulo V: Caña de Azúcar. 1a ed. Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV. Tegucigalpa, Honduras (Consultado el 18 de mayo del 2015).
- Ruiz, M. y O. Arroyo (2008). Estudio de la contribución de partículas suspendidas por la quema de caña en la calidad del aire. Instituto Tecnológico de Puebla, Estado de México.
- SAGARPA (2012). Programa de producción sustentable de insumos para bioenergéticos y de desarrollo científico y tecnológico. Gobierno Federal. www.gobierno.federal.gob.mx/www.sagarpa.gob.mx (2009-2012)

Pulpa fresca de cítricos: una alternativa para la alimentación de rumiantes

Fresh citrus pulp: an alternative for the feeding of ruminants

*Juan Carlos Martínez González²²

Benigna Faustino Lázaro

Froylán Andrés Lucero Magaña

Sonia Patricia Castillo Rodríguez

Resumen

²²Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Ingeniería y Ciencias. Centro Universitario Adolfo López Mateos. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México. CP. 87149. *Contacto: jmartinez@uat.edu.mx

La nutrición es un factor importante en los sistemas de producción animal, sobre todo en sistemas intensivos. Actualmente los concentrados han alcanzado precios que hacen poco competitiva la actividad pecuaria, sin embargo, existen subproductos agroindustriales que pueden ser usados para la alimentación animal. La pulpa fresca de cítricos es un subproducto que permite reducir los costos de alimentación y su aprovechamiento puede ser durante las épocas de escasez de alimentos (sequía). La pulpa fresca de cítricos presenta características nutritivas para usarse como forraje y/o alimento energético, ya que posee un alto contenido de energía y buena digestibilidad. Además, la pulpa fresca de cítricos se puede emplear natural, ensilada o seca.

Abstract

Nutrition is an important factor in animal production, especially in intensive systems. Currently have concentrates have reached a price that makes them uncompetitive to the livestock. However, there are agro-industrial by-products that can be an alternative for animal feeding. Fresh citrus pulp is a by-products that can reduce nutrition costs and can be used during times of shortage of food (dry season). Fresh citrus pulp presents nutritional characteristics with potential use forage or food energy, since it has a high content of energy and good digestibility. In addition, fresh citrus pulp can be used in fresh, ensiled or drying.

Introducción

Los sistemas de producción pecuaria atraviesan por problemas de rentabilidad ante el aumento constante de los costos de alimentación, principalmente de los granos que en muchas ocasiones se destinan para la elaboración de biocombustibles (Chuck-Hernández et al., 2011). Además, con la globalización de los mercados los productos finales que se obtienen como carne y leche deben satisfacer las normas de calidad e inocuidad. Esto obliga a los productores y técnicos de la alimentación a buscar nuevas fuentes de alimentos (alternativos) que sean de bajo costo sin afectar la eficiencia animal.

Las materias primas no convencionales disponibles en la región, ya sean

subproductos agrícolas o agroindustriales deben utilizarse como una alternativa cotidiana para disminuir los costos de producción (Pereira et al., 2008; Villanueva et al., 2013; Pinto et al., 2014; Ramírez-Cathí et al., 2014). Pero siempre tomando en cuenta los requerimientos nutricionales por etapa fisiológica del animal así como el tipo de producción (NRC, 2000, 2001, 2007).

En el mundo se producen más de 120 millones de toneladas de cítricos, de las que el 40% se destina a la industria alimentaria para la elaboración de zumos. Las plantas destinadas a la elaboración de estos productos sólo aprovechan la mitad de la materia prima. El resto, corteza, semillas y pulpa, se convierten en residuo. Sólo en la comunidad de Valencia, España estos desechos suponen más de 600.000 toneladas al año.

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015), en el anuario estadístico del cierre de la producción agrícola por cultivo para el año 2013, reportó una producción estimada de 7 279 630,46 t de cítricos. Mientras que para el estado de Tamaulipas de acuerdo a la Secretaría de Desarrollo Rural (SDR, 2014), la cosecha de naranja podría alcanzar las 400 000 t con una superficie de 35 000 ha de naranja valencia en el año 2014.

Gran parte de esta producción se destina a la industrialización de los cítricos que consiste en la producción de concentrado de jugo de cítricos (naranjas, toronjas-pomelos, mandarinas y limones), el residuo está constituido por pulpa, cáscara, semillas y frutos de desecho. Anteriormente estos subproductos eran secados y ofrecidos en el mercado como cascarilla de cítricos y eran un excelente suplemento en la dieta de los rumiantes. Hoy en día con el incremento en los costos de los combustibles fósiles no es una práctica muy rentable para las industrias del jugo, teniendo que desechar grandes cantidades de pulpa de cítricos al ambiente sin tratamiento alguno, convirtiéndose en una fuente de contaminación (Faustino-Lázaro et al., 2014).

La solución más extendida hasta ahora es administrar directamente este residuo al ganado sin pasar por un proceso de tratamiento. Sin embargo, su rápida fermentación hace de este subproducto un agente contaminante. El efecto secundario más común de utilizar la pulpa de cítricos como suplemento dietético es el trastorno digestivo conocido como paraqueratosis ruminal. Para prevenir el endurecimiento de los órganos digestivos, hay que garantizar el acceso a pastos ricos en fibra.

El problema del residuo cítrico se ha logrado transformar en un recurso para la industria agroalimentaria.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es discutir algunas ventajas y desventajas de la utilización de la pulpa fresca de cítricos en la alimentación de rumiantes.

Subproductos agrícolas y agroindustriales

Los cítricos son frutas que se consumen frescas o como jugos, ya sean refrigerados o concentrados (Spreen, 2001). El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-FAS, 2012), cita que la naranja fue el principal producto cítrico, alcanzando el 61.2% de la producción mundial de cítricos, de las cuales alrededor del 40% se procesó. Mientras que en México el Servicio de

Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015) cita que se produjeron alrededor de 4.5 millones de toneladas de naranja en el año 2014

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-FAS, 2012) y Martínez et al. (2008), añade que los cítricos, en su mayor parte, se procesan para la obtención de jugos, concentrados y aceites esenciales. Durante el procesamiento se generan grandes cantidades de subproducto, que representa del 45 al 60% del peso total del fruto procesado (Martínez et al., 2008), constituido principalmente por 60 a 65% de piel (cáscara), 30 a 35% segmentos del fruto (pulpa) y 0 a 10% de semillas (Calsamiglia et al., 2004; Bampides y Robinson, 2006; Mirzaei y Maheri, 2008) dando un contenido de 20% de materia seca (Macedo et al., 2007).

Los subproductos agrícolas y agroindustriales se han utilizado más en rumiantes, debido a la capacidad que tienen de consumir alimentos con alto contenido de fibra. Sin embargo, la falta de información sobre el uso y/o manejo adecuado de los subproductos limita su uso. Por ejemplo, la pulpa fresca de cítricos no se utiliza con frecuencia por lo complicado de su manejo (traslado y manipulación), causado por el alto contenido de humedad (Gasa y Castrillo, 1992; González-Reyna et al., 2013).

En los últimos años, la producción de cítricos destinada a las industrias para ser procesada (extracción de jugo), genera una gran cantidad de residuos (cáscara, semillas, pulpa, aceite e inclusive frutos de desecho), que debido al contenido de energía y calidad de la fibra, resultan útiles para la alimentación de los rumiantes (Bampidis y Robinson, 2006; Quintero et al., 2008; Villanueva et al., 2013).

México es uno de los países productores de cítricos, según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015). La producción de naranja, limón, toronja-pomelo, mandarina, lima y limón real rondó 7.27 millones de toneladas en el 2013. Veracruz, San Luis Potosí, Tamaulipas, Michoacán y Nuevo León fueron los principales estados productores.

Composición química y contenido nutricional de la pulpa fresca de cítricos

La composición química de la pulpa fresca de cítricos depende de su origen, variedad y procesamiento (Villanueva et al., 2013) y/o las diferentes fracciones de subproducto utilizados, ya que al mezclar pulpa fresca de cítricos con fracciones del subproductos de limón, el contenido de pectina aumenta y la proteína cruda disminuye (Calsamiglia et al., 2004). De igual modo, la calidad nutritiva puede afectarse por los días de almacenamiento a cielo abierto (González-Reyna et al., 2013).

El contenido en lignina es del orden del 3% y el de cenizas de 6 a 8%, sin embargo, el contenido de ceniza varía en función de la cantidad de buffer neutralizante (óxido o hidróxido de calcio), que a menudo se usa para neutralizar el pH de este subproducto por lo que en proporción de minerales es muy variada, presentando niveles altos de calcio y bajos de fósforo, sodio, cloro y magnesio (Faustino-Lázaro et al., 2014). Finalmente, se tiene un subproducto con un elevado contenido de carbohidratos solubles y de pectinas (Calsamiglia et al., 2004).

En La Tabla 1, se presentan los valores de la composición bromatológica de la pulpa fresca de cítricos en diferentes presentaciones.

Subproducto	MS	PC	FB	EE	Ce	FND	FAD	Cita
Ensilado de naranja	19.4	7.2	13.8	3.3				Villanueva, 2013
Harina de cítrico deshidratada	88.0	7.4	17.7	2.9				González et al., 2003
Pulpa de cítrico prensado	24.4	7.4	16.7	3.2				Pereira et al., 2008
Pulpa de cítricos deshidratada	90.4	6.2	13.1			25.9	23.1	Belibasakis y Tsirgogianni, 1996
Pulpa de cítricos deshidratada	90.1	6.5	12.8	3.4				Chong, 1998
Pulpa de cítricos deshidratada	82.5	8.3	14.1	3.3	6.3	24.2	19.3	Calsamiglia et al., 2004
Pulpa de cítricos deshidratada	90.0	8.3	12.4	3.3				Gasa y Castrillo, 1992
Pulpa de limón	15.8	6.0	12.7					Chong, 1998
Pulpa de limón	15.7	5.8	13.6	0.9				Villanueva, 2013
Pulpa ensilada de cítricos	14.8	7.6	14.3	3.8				Montejo et al., 2008
Pulpa ensilada de naranja	15.0	8.3		3.3				Ítavo, 2000
Pulpa fresca de cítricos		8.0		3.5	7.0	22.5	19.0	Calsamiglia et al., 2004
Pulpa fresca de cítricos	19.7	7.2	10.9	3.0				Gasa y Castrillo, 1992
Pulpa fresca de cítricos	21.9	6.0	16.2	2.4	3.2	22.7	17.1	Villanueva et al., 2013
Pulpa fresca de naranja	16.7	6.5	14.4	1.6				Chong, 1998
Pulpa fresca de naranja	24.9	8.3			5.6			González-Reyna et al., 2013
Pulpa fresca de naranja		8.0		3.4		36.4		Macedo et al., 2007
Pulpa fresca de toronja	11.3	6.8	21.0					Chong, 1998
Pulpa fresca de toronja	18.4	9.4	2.4	2.4				Villanueva, 2013

Tabla 1. Composición bromatológica de la pulpa fresca de cítricos en diferentes presentaciones.

MS=materia seca;
 PC= proteína cruda;
 FB=fibra bruta;
 EE=extracto etéreo;
 Ce=cenizas;
 FND=fibra neutro detergente;
 FAD=fibra ácido detergente.

La pulpa fresca de cítricos además de ser un producto de alta palatabilidad, tiene un alto valor nutritivo, ya que es rico en energía bruta, con un valioso contenido de energía metabolizable, similar al del grano de cebada y la pulpa de remolacha, con una fermentación típicamente acética (Calsamiglia et al., 2004).

Digestibilidad de la pulpa fresca de cítricos

El conocimiento del valor nutritivo de los alimentos es fundamental para la nutrición animal. Además, hay que considerar los efectos de los procesos de digestión, absorción y metabolismo animal. Las pruebas de digestibilidad permiten estimar la proporción de nutrientes presentes en una ración que pueden ser absorbidos por el aparato digestivo (Church y Pond, 1994).

La alimentación de los rumiantes juega un papel importante dentro del sistema de producción animal, ya que al cubrir los requerimientos nutricionales de los mismos, éstos podrán manifestar su máximo potencial productivo y reproductivo. Parte importante de los alimentos es su digestibilidad (Basurto y Tejada, 1992; Ítavo et al., 2000; Lachmann y Araujo, 2006; Macedo et al., 2007; Faustino-Lázaro et al., 2014). Además, hay que considerar factores como consumo voluntario y valor nutricional de los alimentos (Lachmann y Araujo, 2006).

Un forraje, se considera de alta calidad cuando tiene un 70% de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), menos de 50% de fibra detergente neutra y más de 15% de proteína cruda (Di marco, 2011). En un forraje de mala calidad, la DIVMS disminuye a menos del 50% y los valores de fibra detergente neutra son menores del 65%, con un nivel de proteína cruda de menos del 8% (Di marco, 2011).

Tabla 2. Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) de varios subproductos de cítricos.

Subproducto	DIVMS (%)	Cita
Ensilado de pulpa de cítricos	62.8	Villanueva, 2013
Harina de cítrico deshidratada	76.3	González et al., 2003
Pulpa de limón	64.5	Villanueva, 2013
Pulpa de limón deshidratada	78.7	Basurto y Tejada, 1992
Pulpa fresca de naranja	72.3	Villanueva et al., 2013
Pulpa fresca de toronja	62.6	Villanueva, 2013

La pulpa fresca de cítricos se puede considerar como un alimento de buena calidad y digestibilidad como se muestra en la Tabla 2. Por la alta digestibilidad y el valor de la energía de la pulpa fresca de cítricos se utiliza como un sustituto de cereales en las dietas integrales (Bampidis y Robinson, 2006; Villareal et al., 2006).

A diferencia de los cereales la energía no se basa en almidón, pero sí en carbohidratos solubles y fibra digerible, así como las pectinas, las cuales son fácilmente y ampliamente degradables. Además, por su contenido de fibra, la pulpa fresca de cítricos prolonga el tiempo de la rumia, resultando en mayores cantidades de saliva, lo cual tiene un efecto amortiguador en el pH del rumen (Faria et al., 2008). De igual modo, Basurto y Tejada (1992) encontraron que la digestibilidad de las fibras detergentes neutro y ácida fueron 71.0 y 77.1%, respectivamente.

Subproductos cítricos y su manejo

La pulpa fresca de cítricos es un subproducto que puede utilizarse en forma fresca, ensilada y deshidratada, considerando que las dos últimas permiten su conservación para épocas de estiaje. Sin embargo, con base en el contenido de humedad que presenta se dificulta su traslado y manejo (González-Reyna et al., 2013; Villanueva et al., 2013; Faustino-Lázaro et al., 2014).

La pulpa fresca de cítricos presenta un elevado contenido de humedad, dependiente del tipo de proceso al que se hayan sometidos los frutos para la obtención del jugo, por lo que se considera un subproducto perecedero. Por lo que su uso debe ser inmediato y preferentemente por las unidades de producción cercanas a la planta procesadora. Regularmente la pulpa fresca de cítricos es conservada en estibas o montones al aire libre por periodos muy cortos, dentro de las unidades de producción, el tiempo varía dependiendo del número de animales para ser alimentados y del sistema de alimentación en la explotación, así como de la cantidad de pulpa fresca de cítricos que se quiera almacenar de esta forma (Martínez et al., 2008; Quintero et al., 2008; González-Reyna et al., 2013).

El ensilaje de la pulpa fresca de cítricos (naranja, toronja, mandarina, limones, etc.) representa una opción para la conservación del subproducto en la unidad de producción, logrando una administración continua de este material, sin tener que depender de la estacionalidad del producto, situación importante, para optimizar el funcionamiento de los sistemas de producción animal (Juárez et al., 2012). Dependiendo de la infraestructura con que cuente la unidad de producción podrá optarse por silos tipo pastel dado que se trata de un subproducto con alto contenido de humedad y para garantizar una buena fermentación se requieren condiciones anaerobias, mediante el tapado y sellado hermético del silo (Villanueva, 2013) o en lugares más altos del terreno, con el fin de asegurar un buen escurrimiento y en consecuencia una buena fermentación, que produzca suficientes ácidos orgánicos naturales, para inhibir el desarrollo de microorganismos nocivos ya que este subproducto es rico en carbohidratos solubles (Len't, 1999).

El producto ensilado se mantiene por un largo periodo sin que cambie la calidad (Len't, 1999). Además, de favorecer ligeramente la velocidad de producción de gas en el ensilaje con el 100% del material, sufriendo cambios durante la conservación que pudieran mejorar su empleo, por los microorganismos del rumen (Pedraza et al., 2006).

Otra manera de mantener en buenas condiciones la pulpa fresca de cítricos, es someterla a un proceso de deshidratación. La pulpa de cítricos deshidratada comúnmente llamada cascarilla es un ingrediente común en las dietas de rumiantes en varias partes del mundo.

Pulpa fresca de cítricos en la alimentación rumiantes

La pulpa fresca de los cítricos es una fuente de alimentos alternativa para los rumiantes. Además, es un subproducto de muy bajo costo, pues en ocasiones solo hay que pagar el flete del traslado a la unidad de producción (Faustino-Lázaro et al., 2014).

Debido al contenido nutricional que presenta, se han obtenido buenos resultados en diversos trabajos realizados, utilizando la pulpa fresca de cítricos

(Rojas-Bourrillón et al., 2001; Quintero et al., 2008; Cienfuegos et al., 2010; Macías et al., 2010; Villanueva et al., 2013), como sustituto de fibra o granos. Es importante reconocer las ventajas que presenta su uso, así como la deficiencia de algunos nutrientes y la presentación de la misma (Chong, 1998; Macías et al., 2010; González-Reyna et al., 2013; Villanueva et al., 2013).

Como todo alimento la incorporación de la pulpa fresca de cítricos debe ser lenta, con el fin de permitir a los rumiantes adaptarse al nuevo alimento.

Belibasakis y Tsirgogianni (1996) encontraron que a medida que se aumentó el nivel del subproducto al utilizar pulpa deshidratada de cítricos, aumentó el contenido y la producción total de grasa en la leche de vacas Holstein. Asimismo, Rojas-Bourrillón et al. (2001) al alimentar vacas Holstein con pulpa deshidratada de limón no encontraron efecto de los niveles de sustitución ($p > 0.05$) sobre la producción de leche. Pero cuando fue corregida la producción de leche por el nivel de grasa (4%) la sustitución afectó el nivel de producción ($p < 0.05$), siendo mayor a medida que se aumentó la pulpa deshidratada de limón.

Los ovinos y caprinos son especies de pequeños rumiantes domésticos. Son fuente importante de alimentos para la humanidad (carne, leche y sus derivados), sobre todo para los países en vías de desarrollo. De tal forma, que la pulpa fresca de cítricos es una alternativa real para satisfacer las necesidades alimenticias para el mantenimiento, crecimiento, reproducción y producción de los ovinos y caprinos en las regiones cítricas del país.

A los corderos en desarrollo se les puede dar de 20 a 30% de ensilaje de pulpa de cítricos o hasta un 40% en forma fresca, en sustitución de heno de buffel (Cienfuegos et al., 2010; Macías et al., 2010; Villanueva et al., 2013). En su presentación fresca, posiblemente podría reemplazar parcialmente el grano o forraje en dietas integrales para corderos (Bampidis y Robinson, 2006). Además, de poseer la característica de satisfacer parte del requerimiento de agua.

En varios trabajos (Quintero et al., 2008; Cienfuegos et al., 2010; Macías et al., 2010; Villanueva et al., 2013), se consideró ventajoso utilizar la pulpa fresca de cítricos como fuente de forraje. En corderos de la cruce Pelibuey-Dorper se sustituyó el forraje de buffel (*Cenchrus ciliaris*) por la pulpa fresca de cítricos (0, 10, 20, 30 o 40%) de la dieta (40:60 forraje:concentrado), evaluándose el consumo, la digestibilidad y el rendimiento, en ese estudio se concluyó que la pulpa fresca de cítricos es una fuente de fibra de alta calidad y en combinación con heno de zacate buffel, mejora la calidad nutritiva de las dietas de engorda de corderos y los costos de alimentación (Macías et al., 2010).

En otro estudio de engorda de corderos de pelo, se observó que la sustitución de pulpa fresca de cítricos, aumentó la ganancia de peso, en un nivel de sustitución del 50 % (Pereira et al., 2008). Considerando que la pulpa fresca de cítricos es una buena fuente de fibra digestible debido a su alto contenido de pectina y bajo contenido de lignina, altamente fermentable en el rumen, libera energía de forma rápida, para que ocurra el crecimiento microbiano ruminal (Pereira y González, 2004; Bampidis y Robinson, 2006). Sin embargo, para engorda intensiva de ovinos Velásquez et al. (2012), mencionaron que la sustitución de alimento comercial por ensilaje de pulpa de naranja, puede ser hasta del 25% sin afectar la ganancia de peso y la rentabilidad económica.

Sin embargo, siempre se deben considerar algunas restricciones para el uso eficiente de la pulpa fresca de cítricos como: la infraestructura con que cuente la unidad de producción, la ubicación, la disponibilidad, la presentación del subproducto y los factores económicos (traslado).

Pulpa fresca de cítricos, una oportunidad de negocio

Para algunos emprendedores la pulpa fresca de cítricos ha dejado de ser un problema, el residuo cítrico se puede transformar en una oportunidad de negocio en la industria agroalimentaria. Gracias al tratamiento y valorización del residuo cítrico, además, de materia prima para la alimentación animal, se puede obtener aceite esencial D-Limoneno, agua pura y bioetanol de segunda generación.

La solución más utilizada hasta ahora es la de administrar directamente este residuo al ganado. Sin embargo, su rápida fermentación hace de este subproducto un agente contaminante.

Los subproductos que se obtienen en el proceso industrial son:

Pellets de cítricos: se trata de pulpa de cítrico deshidratada pelletizada que sirve como materia prima para producción de piensos con destino a la alimentación animal.

Bioetanol de 2ª generación: llamado así porque no tiene los problemas asociados a los primeros biocombustibles al no emplear alimentos como materia prima. El bioetanol es un combustible limpio y renovable, idóneo para su utilización en motores de gasolina.

Aceite D-Limoneno: es el aceite esencial responsable del aroma y del color del cítrico. El D-limoneno tiene un amplio uso en la industria farmacéutica y alimentaria como aromatizante y para dar sabor.

Agua purificada: como consecuencia de los procesos desarrollados, se puede recuperar el agua contenida en el residuo y transformarla en agua purificada.

Conclusiones

El uso de la pulpa fresca de cítricos se constituye como una fuente muy versátil como insumo alimenticio, en los sistemas de alimentación de rumiantes en las regiones citrícolas.

La pulpa fresca de cítricos es un subproducto con un alto valor energético en la nutrición de los rumiantes.

La pulpa fresca de cítricos presenta un nivel bajo de proteína cruda, por lo que en algunas etapas fisiológicas, se deberá añadir una fuente de proteína, según los requerimientos nutricionales de los rumiantes.

La pulpa fresca de cítricos es un recurso alimenticio que puede ser una herramienta para reducir los costos de alimentación y hacer más rentable la producción de rumiantes.

Bibliografía

- Bampides, V.A., & Robinson, P.H. 2006. Citrus by-products as ruminant feeds: A review. *Animal Feed Science and Technology* 128:175-217.
- Basurto, G.R., & Tejada, I.H. 1992. Digestibilidad aparente de la pulpa deshidratada de limón. Comparación de métodos para estimarla. *Técnica Pecuaria en México* 30(1):13-22.
- Belibasakis, N.G., & Tsirgogianni, D. 1996. Effects of dried citrus pulp on milk yield, milk composition and blood components of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 60(1-2):87-92.
- Calsamiglia, S., Ferret, A., & Bach, A. 2004. *Tablas FEDNA de valor nutritivo de Forrajes y Subproductos fibrosos húmedos*. Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal. España. 70 p. http://www.fundacionfedna.org/subproductos_fibrosos_humedos/pulpa-de-c%C3%Adtricos. Fecha de consulta: junio de 2013.
- Chong, L. 1998. *Valoración nutritiva de tres mezclas formuladas para la alimentación bovina*. Tesis Maestría en Producción Bovina Lechera. Universidad de Matanzas. Cuba. 59 p.
- Chuck-Hernández, C. & et al. 2011. Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10(3):259-249.
- Church, D.C., & Pond, W.G. 1994. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. Editorial Limusa, S. A. de C. V. Grupo Noriega Editores. México. pp 438.
- Cienfuegos-Rivas, E.G. & et al. 2010. Corderos alimentados con combinaciones de pulpa fresca de naranja y heno de zacate buffel como fuentes de fibra. *Ciencia UAT* 15(1):64-68.
- Di Marco, O. 2011. Estimación de calidad de los forrajes. *Producir XXI* 20 (240):24-30.
- Faria, B.N. & et al. 2008. Efectos de la adición de monensina o propilenglicol de pulpa de cítricos en la descomposición de carbohidratos totales y la in vitro de producción de gas acumulada. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia* 60 (3):691-697.
- Faustino-Lázaro, B. & et al. 2013. Pulpa fresca de cítricos: Una alternativa para la alimentación de ovinos en el trópico seco. *Revista del Borrego* 82 (noviembre):28-36.
- Gasa, J., & Castrillo, C. 1992. *Hojas divulgadoras: Criterios de utilización de subproductos agroindustriales en la alimentación de rumiantes*. España. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 23 p.
- González, I., Vega, J., & Castillo, R. 2003. Formulaciones de mezclas a partir de harina de cítrico deshidratada para la alimentación bovina. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2:87-89.
- González-Reyna, A. & et al. 2013. Evolución del valor nutritivo de la pulpa de naranja fresca almacenada durante siete días. *Zootecnia Tropical* 31 (2):159-164.
- Ítavo, L.C.V. & et al. 2000. Composição e digestibilidade aparente da silagem de bagoço de laranja. *Revista Brasileira Zootecnia* 29 (5):1485-1490.

- Juárez, F.J. & et al. 2012. Niveles de urea en el ensilaje de cáscara de naranja como forraje en la alimentación de corderos de pelo. *Tercer Encuentro Estudiantil de Investigación*. Universidad Autónoma de Tamaulipas. México. Pp: 67-69.
- Lachmann, M., & Araujo, F.O. 2006. La estimación de la digestibilidad en ensayos con rumiantes. Memoria XIII Congreso Venezolano de Producción Animal. Asociación Venezolana de Producción Animal. Trujillo, Venezuela. Septiembre de 2006. <http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/xcongreso/Digestibilidadderumiantes.pdf>. Fecha de consulta: junio de 2013.
- Len't, M. 1999. Uso de ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesino. Memorias de conferencia electrónica de la FAO. <http://www.fao.org/docrep/005/x8486s/x8486s00.HTM>. Fecha de consulta: junio de 2013.
- Macedo, C.A.B. & et al. 2007. Apparent digestibility and nitrogen use of diets with different levels of fresh orange pulp. *Archivos de Zootecnia* 56 (216):907-917.
- Macías, C.U., Quintero, E.J.A., Avendaño, R.L., Correa, C.A., Álvarez, V.F., Soto, N.S., Lucero, M.F., & González, R.A. 2010. Buffel grass (*Cenchrus ciliaria* L.) substitution for orange pulp on intake, digestibility, and performance of hairsheep lambs. *Tropical Animal Health and Production* 42:223-232.
- Martínez, M.J., Chongo, G.B., Jordán, V.H., Hernández, S.N., Fontes, M.D., Lezcano, M.Y., & Cubillas, L.N. 2008. Características nutritivas de los hollejos húmedos de naranja (*Citrus sinensis* cv. Valencia) mantenidos en estibas. *Técnica Pecuaria de México* 46(2):183-193.
- Mirzaei, A.A., & Maheri, S.N. 2008. Nutritive value of some agro-industrial by-products for ruminants - a review. *World Journal of Zoology* 3 (2):40-46.
- Montejo, I. L., Lamela, L. Sánchez, T y López, O. (2008). "Nota técnica: Producción de leche con ensilaje de hollejo de cítrico". *Pastos y Forrajes* 31 (2): 179-186.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Seventh Revised Edition. National Research Council. The National Academies Press. 248 p.
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Seventh Revised Edition. National Research Council. The National Academies Press. 408 p.
- NRC. 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminant: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. Seventh Revised Edition. National Research Council. The National Academies Press. 384 p.
- Pedraza, O.R.M. & et al. 2006. Valor nutritivo in vitro de ensilajes de hollejo fresco de cítrico (*Citrus sinensis*) con bagacillo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). *Revista producción animal* 18 (2):95-98.
- Pereira, J.C., & González, J. 2004. Rumen degradability of dehydrated beet pulp and dehydrated citrus pulp. *Animal Research* 53 (2):99-110.
- Pereira, M.S. & et al. 2008. Consumo de nutrientes e desempenho de cordeiros em confinamento alimentados com dietas com polpa cítrica úmida prensada em substituição à silagem de milho. *Revista Brasileira da Zootecnia* 37 (1):134-139.
- Pinto, R.R., Medina, J.A. & et al. 2014. Sustitución de melaza por mucílago de café (*Coffea arabica* L.) en bloques nutricionales para rumiantes. *Archivos de Zootecnia* 63 (241):65-71.

- Quintero, E.J.A. & et al. 2008. Características bromatológicas de la pulpa fresca de cítricos con diferentes días de almacenamiento. *Memorias. XXXVI Reunión Anual de la Asociación Mexicana de Producción Animal*. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. pp: 218-221.
- Ramírez-Cathí, H. & et al. 2014. Bromatological and morphological characterization and yield of sugar cane top in Huasteca Potosina, Mexico. *Cuban Journal of Agricultural Science* 48 (4):411-415.
- Rojas-Bourrillón, A. & et al. 2001. La sustitución de maíz por pulpa de cítricos deshidratada sobre la producción y composición láctea de vacas encastadas Holstein en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 25 (1):45-52.
- SDR (Secretaría de Desarrollo Rural). 2014. Comunicado de prensa, mes de mayo de 2014. Gobierno del Estado de Tamaulipas. <http://desarrollorural.tamaulipas.gob.mx/>. Fecha de consulta: septiembre de 2014.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Cierre de la Producción Agrícola. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> Fecha de consulta: mayo de 2015.
- Spreen, T.H. 2001. Proyecciones de la producción y consumo mundial de los cítricos para el 2010. <http://www.fao.org/docrep/003/x6732e/x6732e02.htm#b>. Fecha de consulta: septiembre de 2014.
- USDA-FAS. 2010. Citrus: Mercados mundiales y comercio. 07 2010 Update Citrus. Servicio Exterior de Agricultura – USDA <http://www.fas.usda.gov/psdonline/>. Fecha de consulta: septiembre de 2014.
- Velásquez, V.R., Esquivel, M.H., Montero, C.L., & y Ku, J.C. 2012. Engorda de corderos Pelibuey con ensilaje de pulpa de naranja *Citrus sinensis* L. en jaulas elevadas. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 5 (1):67-71.
- Villanueva, C.Z. 2013. *Caracterización nutritiva del residuo de los cítricos una alternativa en la alimentación de los ovinos en la zona centro de Tamaulipas*. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. 198 p.
- Villanueva, Z., Ibarra, M.A. & et al. 2013. Comportamiento productivo de corderos de pelo alimentados con residuo fresco de naranja (*Citrus sinensis*) en sustitución de granos de sorgo (*Sorghum vulgare*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 47 (1):27-32.
- Villarreal, M., Cochran, R.C. & et al. 2006. Effect of supplementation with pelleted citrus pulp on digestibility and intake in beef cattle fed a tropical grass-based diet (*Cynodon nlemfuensis*). *Animal Feed Science and Technology* 125(1-2):163-173.

Uso potencial, factibilidad, perspectivas y ventajas de los biofertilizantes en la agricultura

Potential use, feasibility, Prospects and Benefits of the Biofertilizers in Agriculture

M. A. García-Delgado²³
H. Mata-Vázquez
J.E. Cervantes-Martínez
A.M. García-Zúñiga²⁴

Introducción

²³Universidad Autónoma de Tamaulipas

²⁴Facultad de Ingeniería y Ciencias-UAT

La fertilización química había sido una actividad necesaria en la producción agrícola para incrementar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Esto ha permitido mayor volumen de producción de alimentos a nivel mundial en los últimos 50 años; sin embargo, a pesar de tal beneficio su uso también ha contribuido al deterioro de los recursos naturales, propiciando alteraciones en la biodiversidad y afectaciones al medio ambiente.

El reto que presenta la agricultura sostenible en México es el descubrimiento de los recursos microbiológicos del suelo y de los diferentes simbiontes presentes en las plantas, para uso en los sistemas de producción agrícola, los cuales han sido una de las alternativas naturales más viables y aplicables para reducir el uso de fertilizantes químicos comerciales o fertilizantes sintéticos en la producción de los cultivos durante las dos últimas décadas. Un biofertilizante es un producto natural, sustentable y racional basado en la utilización de microorganismos benéficos, principalmente bacterias y hongos, sin descartar algunos actinomicetos y algas, los cuales se asocian o se adhieren directa o indirectamente principalmente en las raíces de los cultivos para favorecer nutrición, crecimiento y desarrollo de las plantas, para disminuir y en un futuro detener la adición de algunos fertilizantes químicos o sintéticos a los suelos agrícolas. El uso de estos productos microbiológicos presenta gran número de ventajas ambientales entre las que destacan el balance biológico y físico del suelo, la nula contaminación suelo, del aire y los cuerpos de agua, así como la participación en el mantenimiento del equilibrio de los procesos de nitrificación-desnitrificación ambiental.

En México como en otros países en vías de desarrollo y desarrollados, el deterioro de los recursos naturales, junto con la progresiva degradación y explotación antrópicas, han provocado alteraciones en la biodiversidad y un incremento en los fenómenos de erosión del suelo y la desertificación en amplias regiones. La pérdida de la cobertura edáfica conlleva a una disminución de los niveles de materia orgánica, agua, actividad microbiana y nutrientes particularmente nitrógeno (N) y fósforo (P) (Velasco-Velasco et al., 2001). La fertilización biológica o biofertilización incluye la inoculación con agentes promotores del crecimiento vegetal (hongos micorrízicos y bacterias benéficas del suelo o rizobacterias principalmente), así como la aplicación de desechos

orgánicos a través de composta y vermicompostas (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). Es una tecnología que se adiciona a las de conservación edafambiental para contrarrestar el deterioro de los sistemas agrícolas. Su enfoque desde el punto de vista de producción sostenible, está dirigido al manejo de los recursos disponibles en forma racional y natural.

La tendencia hacia la agricultura sostenible contempla el mantenimiento del ambiente ecológico en los diversos sistemas agrícolas, así como el desarrollo de aspectos relacionados al continuo proceso de adaptación, cambio cultural y socioeconómico. Todo ello mediante el uso de prácticas que son ecológicamente sanas, que satisfacen las necesidades de producción, contribuyen con la economía y mantienen los recursos naturales en equilibrio (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000; Sylvia, 1999). El proceso a través del cual los microorganismos del suelo fijan el nitrógeno atmosférico (N_2) hasta una forma asimilable es conocido como Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN). Esto es particularmente importante, dentro del contexto de la agricultura sostenible, ya que evita el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados sintéticos con el consiguiente ahorro en el consumo de energía y la disminución de la degradación del suelo y del medio ambiente en general. La FBN puede ser llevada a cabo por los microorganismos en vida libre, en forma mutualista o en simbiosis con las plantas, entre otras variantes de éste proceso, es que no solo permite utilizar el N_2 sino también reducir o revertir la degradación del suelo (Graham, 1998; Parsons, 2004).

Las instancias gubernamentales y privadas tanto nacionales como de otros países están convencidas que es necesario continuar analizando e investigando la gran diversidad de la microbiota del suelo, con la finalidad de encontrar microorganismos sinérgicos que ayuden a detener y en lo posible regenerar los sistemas agrícolas que se han ido contaminando paulatinamente con el uso inadecuado e irracional de los fertilizantes químicos o sintéticos.

Los biofertilizantes y las biocompostas en nutrición y fisiología vegetal

Cuando no se cuenta con la suficiente experiencia, especialización o bien no se está muy familiarizado con la aplicación y uso de insumos agrícolas de nutrición vegetal como sustancias, compuestos y productos biológicos que se utilizan biorracionalmente en la agricultura orgánica y la producción combinada en la explotación agrícola de los cultivos tanto extensivos como intensivos, es común, frecuente y muy fácil caer en confusiones sobre el tipo de productos orgánicos utilizados en la nutrición, la estimulación del crecimiento, desarrollo y fisiología de las plantas, a continuación se realiza una breve descripción y se realiza un análisis de esta terminología moderna y su potencial tecnológico en la agricultura intensiva y extensiva.

Biofertilizantes. Aguirre (2000) señala que los biofertilizantes, son un grupo de productos a base de microorganismos del suelo, los cuales se asocian directa o indirectamente al sistema radical de las plantas y favorecen su nutrición, crecimiento y desarrollo. Los microorganismos son aplicados a los suelos para desempeñar funciones específicas, las cuales benefician la productividad de las plantas, incluyendo: el aumento en la absorción de nutrientes y agua; la fijación de nitrógeno atmosférico; la solubilización de minerales; la producción

de estimuladores del crecimiento radical y el biocontrol de patógenos. Estos productos se consideran inocuos para el hombre y el ambiente, además permiten sustituir parcial o totalmente a los fertilizantes químicos o sintéticos. Un fertilizante microbiano o biofertilizante se le denomina a un producto a base de microorganismos del suelo que es capaz de fijar N, transportar nutrientes y agua, solubilizar P y otros minerales fijados o retenidos por los suelos, producir estimuladores del crecimiento en las raíces y reducir las enfermedades fungosas y nemátodos.

Alarcón y Ferrera-Cerrato (2000) señalan que la fertilización biológica o biofertilización, incluye la inoculación con agentes promotores del crecimiento vegetal (hongos micorrízicos y bacterias benéficas del suelo o rizobacterias), así como la aplicación de desechos orgánicos a través de compostas, biocompostas y/o vermicompostas. El concepto y descripción general de los biofertilizantes más aceptada se describió en el apartado anterior, la cual está basada en el concepto de Aguirre (2000). Desde el punto de vista de la nutrición vegetal, de acuerdo a su uso y aplicación Virgen (2013) realiza una descripción y clasificación más acertada sobre los **biofertilizantes**, los clasifica en cuatro grandes grupos: bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN), solubilizadores de fósforo y otros nutrientes minerales, captadores de fósforo y promotores del crecimiento vegetal.

Las BFN las subdivide en dos grupos, fijación de nitrógeno asociativa no-simbiótica y la fijación simbiótica de nitrógeno. **La fijación de nitrógeno asociativa no-simbiótica** es la que realizan microorganismos que se encuentran asociados a los tejidos de las plantas, en especial asociados a las raíces, o se encuentran en el interior de los tejidos, pero que no ocupan ni forman ninguna estructura especial de la planta, son llamadas bacterias de la filosfera de las plantas. En este caso se enmarca también por distintos autores (Ramírez-Gama y Luna-Millán, 1995; Salisbury y Ross, 1994) la fijación realizada por bacterias endófitas. En este tipo de fijación de nitrógeno se encuentran los estudios realizados en especies de gramíneas como la caña de azúcar, el arroz, maíz, trigo y otras gramíneas. Entre las especies más destacadas están *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Azospirillum brasilense*, *Azospirillum lipoferum*, *Azospirillum amazonense*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, *Beijerinckia indica*, entre las especies de bacterias más estudiadas como algunas los grupos de bacterias *Bacillum* sp y *Pseudomonas* sp. Por su relevancia en el caso de la caña de azúcar y otras gramíneas, es de considerable importancia la fijación de nitrógeno realizada por bacterias endófitas en estos cultivos, aunque en muchos casos no está bien documentada la capacidad de fijación de kg de N ha⁻¹ año⁻¹ por los diferentes grupos y especies de bacterias.

La fijación simbiótica de nitrógeno es la que realizan las BFN que viven en estructuras específicas (nódulos) de las raíces de las plantas; las bacterias simbióticas toman compuestos carbonados del metabolismo vegetal y le aportan a las plantas compuestos nitrogenados. Diferentes especies de plantas leguminosas y no leguminosas son capaces de albergar bacterias fijadoras de nitrógeno en estructuras especializadas. En el caso de las leguminosas como los frijoles comunes, la soya, haba y otras leguminosas, las bacterias fijadoras de nitrógeno de los géneros *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* se alojan en nódulos que se forman en las

raíces. En las células infestadas de los nódulos se alojan las bacterias fijadoras de nitrógeno; toman ácidos orgánicos de las plantas y entregan a éstas, compuestos nitrogenados como los ureidos y las amidas de reserva. Este tipo de fijación de nitrógeno es muy eficiente al recibir las plantas los compuestos nitrogenados directamente de los microorganismos nitro-fijadores que viven en simbiosis con éstas. La fijación simbiótica de nitrógeno se aprovecha comercialmente en la agricultura. En países como Argentina y Brasil se aplican biofertilizantes, con cepas de *Rhizobium* fijadoras de nitrógeno, sobre enormes áreas donde se cultiva comercialmente la soya para granos (Taiz y Zeiger, 1998).

Solubilizadores de fósforo y otros nutrientes minerales retenidos y fijados en el suelo

Son los microorganismos como bacterias, cianobacterias y hongos micorrízicos que realizan la captación y transformación del fósforo insoluble, fijado y poco disponible, el cual se encuentra en forma insoluble y lo transforman a sus formas inorgánicas solubles en la zona rizosférica en el suelo. La transformación biológica del fósforo y algunos metales pesados de formas no-disponibles o insolubles a formas inorgánicas disponibles o solubles en la rizósfera se realiza a través de tres bioprocesos: 1) Quelación, 2) Reducción de hierro (sideróforos) y 3) Producción de ácidos orgánicos.

Quelación. Durante el proceso de quelación se forman quelatos de minerales o metales pesados como el Fe, Ca, Mg, Zn y Cu, los cuales no atraviesan libremente la membrana celular, por lo tanto, es necesaria la quelación biológica (Benavides, 1999; Virgen, 2013). Los quelatos sintetizados biológicamente y cuya función es acarrear o secuestrar iones de metales son llamados ionóforos, y los ionóforos específicos para el hierro son conocidos como sideróforos de acuerdo con Emery (1982), Olsen et al. (1981) y Kloepper et al. (1980) citados por Benavides (1999). Un mecanismo general de acción entre las bacterias, cianobacterias y hongos, como respuesta a la carencia de hierro, es la excreción de sideróforos hacia el medio de crecimiento y la posterior recuperación de los mismos a través de un mecanismo de absorción, asociado al metabolismo energético, que involucra un reconocimiento por parte de una estructura receptora-transportadora de la membrana celular.

En el bioproceso de reducción del hierro, el Fe^{+3} es reducido biológicamente a su forma Fe^{+2} , por la pérdida de un electrón su radio iónico es menor, lo cual lo hace más soluble, esta reacción produce fosfato de hierro en el suelo y se libera difosfato a la solución del suelo, el cual es un compuesto disponible para ser absorbido por la raíz de las plantas. Por último, en el Proceso de Producción de Ácidos Orgánicos, los diferentes microorganismos producen y liberan algunos de éstos compuestos minerales que reaccionan con aniones de fosfatos fijados, lo que hace que se produzca su solubilización y disponibilidad en la raíz de las plantas (Virgen, 2013).

Los microorganismos que producen y participan en la solubilización de compuestos fijados e insolubles del suelo representan aproximadamente el 10% de la microbiota de la capa arable (Virgen, 2013). Los principales grupos y géneros de bacterias más estudiados son: *Pseudomonas putida*, *Acinetobacter sp.* (grupo *Pseudomonales*), *Bacillus subtilis*, *B. simplex*, *B. aryabhatai* (además solubiliza

Zn), *Penicillium bilaji* y *Aspergillus niger*, además de otras especies menos estudiadas de los géneros *Mycobacterium*, *Thiobacillus* y *Micrococcus* entre otros.

Es importante señalar que el concepto rizobacteria promotora del crecimiento de las plantas (PGPR por sus siglas en inglés) incluye a aquellas especies bacterianas benéficas que colonizan la zona radicular de las plantas o rizósfera, de tal manera que modifican e incrementan el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de una complejidad de procesos y mecanismos bioquímicos y fisiológicos (Glick, 1995), conceptualización en la cual están incluidas los tipos de bacterias descritas anteriormente. Sin embargo, difiere de los términos fitohormona u hormona vegetal y las sustancias bioestimulantes.

Captadores de fósforo. Enmarcado entre los microorganismos con la capacidad para captar y solubilizar el fósforo se encuentran los hongos micorrízicos. El acceso al fósforo se presenta por intercepción debido que las hifas de los hongos incrementan o alargan similar a una extensión el área de exploración de las raíces de las plantas (Virgen, 2013; Díaz-Franco y col., 2008). Dentro del concepto de la biofertilización, se incluye la inoculación de microorganismos benéficos como promotores del crecimiento de las plantas, y dentro de éstos, un grupo importante son los hongos micorrízicos arbusculares. Estos hongos micorrízicos son habitantes naturales del suelo que sobreviven al colonizar y entrar en asociación (simbiosis) con las raíces de las plantas durante su crecimiento y desarrollo. En la simbiosis se originan estructuras y extensas ramificaciones de filamentos del hongo, capaces de explorar mayor volumen de suelo y llegar a sitios donde la raíz por sí misma sería incapaz de penetrar. Debido a esto, la utilización de micorriza es una alternativa biológica que auxilia para que las plantas satisfagan sus requerimientos por nutrimentos y agua del suelo (Díaz-Franco y col., 2008).

Dentro del contexto de la biofertilización y debido al impacto que han tenido con el desarrollo de las plantas, se ha puesto mayor atención al estudio de los microorganismos benéficos. Por ejemplo, un componente dominante de la comunidad microbiana de la rizósfera son los hongos micorrízicos. Particularmente las micorrizas versículo arbusculares (MVA) han tenido tal repercusión que ya existen en el mercado diferentes productos comerciales (Sylvia, 1999) aunque tienen un alto costo por lo general.

Las MVA son un grupo de hongos habitantes del suelo, benéficos para las plantas, con capacidad de colonizar la raíz de gran número de especies y establecer una simbiosis. Actúan en la planta mediante la simbiosis originada de la asociación entre la micorriza arbuscular y la planta, es una alternativa biológica para ayudar a satisfacer a la planta de los nutrimentos y agua del suelo, ya que el hongo micorrízico desarrolla hifas capaces de explorar mayor volumen de suelo y llega a sitios donde la raíz de manera natural y que sin inocular no puede penetrar.

La simbiosis micorrízica arbuscular es interesante desde el punto de vista morfológico, ecológico, taxonómico y fisiológico. También es importante por los efectos que tiene en la biología de la planta en los procesos involucrados en la nutrición, promoción del crecimiento, fisiología y otros beneficios directos e indirectos. Todo esto conlleva al conocimiento del potencial de su uso, tanto en aspectos de investigación fundamental como de aplicación (producción de

inóculo y mantenimiento de cepas), así como en el conocimiento pleno de sus limitaciones (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2007).

En un estudio realizado en sorgo en el norte de Tamaulipas, Pecina-Quintero y col., (2005), aplicando micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azospirillum spp*), encontraron que el porcentaje de colonización radical fue bajo (6%), y encontraron la presencia de cepas nativas de hongos micorrízicos en el testigo (sin inocular). Concluyeron que la baja colonización se debió, en parte, a los bajos contenidos de N, P y materia orgánica del sitio de estudio y al efecto inhibitorio de las cepas nativas.

El papel de la simbiosis es fundamental en la captación de elementos minerales de lenta difusión en los suelos, como los fosfatos solubles, el Zn y el Cu. La absorción de N también se favorece con la micorrización (Barea y Azcón-Aguilar, 1987). Otros elementos como el K y el Mg se encuentran a menudo en concentraciones más altas en las plantas micorrizadas (Sieverding, 1991). La absorción del Ca es estimulada también con la simbiosis MA (Jaconsen, 1992).

Por lo que respecta a los microelementos Zn, Cu y Bo, éstos son activamente absorbidos por las hifas del hongo y transportados hasta el hospedador. Existen otros efectos producidos por la micorriza arbuscular entre los que destacan un aumento de la resistencia de la planta al estrés hídrico y a la salinidad, un aumento de la resistencia y/o tolerancia a determinados patógenos del suelo, un incremento de la supervivencia al trasplante y un incremento de la fijación del nitrógeno en leguminosas (Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990).

En las plantas micorrizadas se produce un aumento del contenido de agua, debido a un aumento de la conductividad hídrica de la planta o a una disminución de la resistencia al flujo de agua a través de ella. También puede ser debido a una mayor absorción a través de la extensa red de hifas externas del hongo MA, extendidas más allá de la zona a la cual tiene acceso directo el sistema radical. La planta hace un mejor uso del agua y es capaz de recuperarse más rápidamente en caso de estrés hídrico Jaconsen (1992).

Se ha demostrado que los hongos que forman micorrizas arbusculares producen, además, un efecto positivo sobre las características edáficas. Una planta micorrizada que crece en suelos arenosos es capaz de agregar más partículas de suelo en sus raíces por unidad de masa que una planta no micorrizada (Sieverding, 1991). La formación de agregados del suelo puede ser un factor importante para disminuir su erosión. Otra condición limitante del suelo es el exceso de caliza, que contribuye a la fijación de oligoelementos, especialmente el hierro (Fe), cuya deficiencia causa la clorosis férrica.

Otras ventajas adicionales de la inoculación de micorriza arbuscular son las siguientes: tienen capacidad para producir glomalina, sustancia viscosa que adhiere y aglutina partículas del suelo; con el uso de los hongos micorrízicos no se contamina el suelo; y pueden utilizarse como un componente dentro de un sistema de producción orgánica.

Los efectos beneficiosos de la introducción artificial de inóculo micorrízico resultan más evidentes en suelos donde las poblaciones de hongos MA nativos no existen, o han sido eliminadas por empleo de prácticas agrícolas desfavorables para su desarrollo como la fumigación del suelo y el cultivo intensivo.

La micorrización temprana de las plantas puede ser también interesante en situaciones en que la cantidad de inóculo MA en el suelo agrícola sea muy baja o por la existencia de un cultivo anterior no hospedador, y/o donde las poblaciones autóctonas no sean lo suficientemente agresivas y eficaces.

Se ha demostrado un efecto beneficioso de la inoculación temprana para la mayoría de los cultivos hortícolas y para los cítricos. Los beneficios económicos se derivan de una mayor y más uniforme producción, una mayor rapidez de crecimiento y entrada en producción de las plantas, una mejor calidad de la cosecha y un ahorro en fertilizantes, riego y productos fitosanitarios (Díaz-Franco y *col.*, 2008).

En la mayoría de los casos parece existir un efecto hormonal, pero resulta extremadamente difícil diferenciar los efectos producidos por las hormonas del hongo, los producidos por las hormonas vegetales y los producidos indirectamente por el estado nutricional de las plantas como consecuencia de la micorrización.

Fito hormonas. También llamadas **hormonas vegetales**, son sustancias producidas por células vegetales en sitios estratégicos de la planta y estas hormonas vegetales son capaces de regular de manera predominante los procesos metabólicos y fisiológicos de las plantas. Las fitohormonas se producen en pequeñas cantidades en tejidos vegetales, pueden actuar en el propio órgano o tejido donde se generan o bien a grandes distancias, mediante el transporte a través de los vasos xilemáticos y floemáticos hacia otros órganos y tejidos (Srivastava, 2002).

Interacciones entre las micorrizas y la microbiota del suelo.

Existen otros aspectos relacionados con los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) y su aplicación. La existencia de estos hongos en el suelo hace que se produzcan una serie de interacciones con otros microorganismos que viven también en ese hábitat. La micorrizosfera es la rizosfera de una planta micorrizada, y es en ella donde se producen las interacciones que se pueden resumir como: interacciones con microorganismos beneficiosos y con funciones específicas, e interacciones con patógenos. Entre los microorganismos beneficiosos podemos citar a las bacterias PGPR, a las bacterias fijadoras de nitrógeno (tanto libre como simbiote), las cianobacterias, los actinomicetos y a algunos hongos saprofitos que actúan como antagonistas de patógenos del suelo y que pueden ser empleados para el control biológico. En muchos casos las interacciones establecidas son de tipo positivo, llegándose a registrar un efecto de sinergismo, donde la presencia de la MA y del otro microorganismo produce un incremento del crecimiento, vigor y protección de la planta.

Se ha propuesto una serie de mecanismos a través de los cuales ocurre la interacción micorrizas/patógenos, ya que no se ha demostrado nunca que los hongos MA actúen directamente sobre éstos, ya sea por antagonismo, antibiosis, o por depredación, sino que su efecto es indirecto. Los mecanismos son los siguientes (Azcón-Aguilar y Barea, 1996):

- Cambios en la nutrición de la planta hospedadora. Alteraciones en la exudación radicular. Un mejor estado nutricional de la planta puede variar sus exudados y alterar así las poblaciones de microorganismos, ya sea por alteraciones en la germinación de esporas de hongos patógenos y su

penetración, que en la mayoría de los casos se produce por estímulos de las propias exudaciones radiculares.

También puede cambiar la atracción quimiostática de los nemátodos hacia la raíz.

Activación de los mecanismos de defensa de las plantas mediante la inducción de la producción de determinados metabolitos secundarios en las raíces como ligninas, fenoles, fitoalexinas, etileno, quitinasa y peroxidas, entre otros (Gianinazzi- Pearson et al., 1994).

- Competencia por los sitios de infección en la raíz.
- Competencia por los fotosintatos del hospedador.

Con respecto a estos dos mecanismos, podemos decir que la inoculación temprana de las plantas puede garantizar una menor penetración de patógenos radiculares.

El incremento de la tolerancia de las plantas a patógenos del suelo. Esta puede estar inducida por una compensación de los daños ocasionados por los mismos.

Como resumen se puede plantear que los beneficios de la inoculación temprana con hongos formadores de micorriza arbuscular repercuten en una reducción del aporte de fertilizantes y de agroquímicos fitosanitarios, un ahorro del suministro del agua, un mayor crecimiento y producción de las plantas, una mayor supervivencia en las condiciones de estrés y un mejor aprovechamiento de los suelos (Gianinazzi- Pearson et al., 1994).

Microorganismos	Sustancias que libera
Gibberella (<i>Fusarium moniliforme</i>)	Giberelinas
Anabaena, Nostoc	Ácido indolacético
Diplodia macrospora	Auxinas
Phomosis	Auxinas
Trichoderma	Giberelinas

Tabla 1. Microorganismos promotores del crecimiento vegetal y sustancia que producen y liberan (Virgen, 2013).

Promotores del Crecimiento Vegetal. Son aquellos microorganismos que durante su actividad metabólica, son capaces de producir y liberar sustancias y compuestos llamados metabolitos, los cuales son reguladores del crecimiento de las plantas. Virgen (2013) propone y presenta una clasificación de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal y las sustancias o fitohormonas que producen y liberan, esta información se presenta en la Tabla 1.

Los Bioestimulantes. Estos productos modernos son una variante y a la vez una combinación del uso de los biofertilizantes en la producción agrícola. Son sustancias y compuestos que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas, además de mejorar su metabolismo, mejoran la absorción de los nutrientes y su traslocación, así permiten que se incrementen el vigor y la resistencia a condiciones de estrés biótico y/o abiótico como el ataque de plagas y enfermedades, así como sequías, heladas, salinidad, alcalinidad y otros factores abióticos estresantes de las plantas. Los bioestimulantes vegetales, independientemente de su contenido de nutrientes que pueden ser químicos, incluyen sustancias, compuestos y/o

microorganismos, cuando se aplican a las plantas tanto vía foliar como a la zona radicular, que mejoran el vigor, crecimiento, desarrollo y resistencia de las plantas, incrementan el rendimiento y calidad de los productos cosechados mediante la estimulación del metabolismo y otros procesos fisiológicos de las plantas. Pueden estar compuestos a base de fitohormonas, microorganismos, de extractos de algas marinas, enzimas, aminoácidos, hidrolizados de proteínas, vitaminas, ácidos húmicos y fúlvicos, extractos bioquímicos de especies arbóreas y/o sustancias fitobióticas activadoras, así como, enriquecidas y complementadas con elementos minerales, entre otros (Saborio, 2002; EBIC, 2012).

Cultivos	Biofertilizante	Dosis	Época de aplicación
Tomate y chile	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices), mezcladas en la siembra	En 200 g de semilla (380 g + 1.0 kg)	Siembra Invernadero
Melón, pepino y sandía	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices), mezcladas en la siembra	En 2.0 kg de semilla (380 g + 1.0 kg)	Siembra en Campo
Chícharo	Rhizobium etli + Micorrizas (Glomus intraradices)	Para 60 kg de semilla (228 g + 0.60 kg)	Siembra en Campo
Lenteja	Rhizobium etli + Micorrizas (Glomus intraradices)	Para 25 kg de semilla (95 g + 0.25 kg)	Siembra en Campo
Frijol, garbanzo, soya y haba	Rhizobium etli + Micorrizas (Glomus intraradices)	Para 100 kg de semilla (342 g + 0.90 kg)	Siembra en Campo
Cebada y trigo	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices)	Para 100 kg de semilla (380 g + 1.00 kg)	Siembra en Campo
Maíz	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices)	Para 60 kg de semilla (228 g + 0.60 kg)	Siembra en Campo
Sorgo	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices)	En 20 kg de semilla (76 g+200 g)	Siembra en Campo
Ajonjolí	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices)	En 4.0 kg de semilla (16 g+40 g)	Siembra en Campo
Mango y cítricos	Azospirillum brasilensis, disolverlo en 200 L de agua, aplicarlo en el agua de riego	1.140 kg	Antes del trasplante
Cítricos, mango y cultivos forrajeros	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices), disolverlos en 400 L de agua y asperjarlo en la zona radicular	0.76 kg + 1.00 kg	Antes del trasplante o en campo

Experiencias a nivel nacional sobre el uso de biofertilizantes en diferentes cultivos anuales y perennes, en diferentes condiciones de humedad de riego y temporal se han obtenido en el noroeste del país, en el INIFAP (Arellano-Saldaña y col., 2004), la Tabla 2 se muestran algunos cultivos con los productos biofertilizantes utilizados.

Las biocompostas: biocompostas y vermicompostas

Biocompostas. Los beneficios que conlleva la utilización de compostas, por su alto contenido de materia orgánica descompuesta y porcentaje de humus producido, ayudan a contrarrestar la degradación de los suelos, que se debe principalmente al mal manejo, así como también por extracción nutrimental de los cultivos. Erosión hídrica, eólica y otros factores antropogénicos, como acidez y salinidad provocada por fertilizantes químicos e inadecuado manejo agronómico. El principal sustrato de las compostas y biocompostas es la materia orgánica, residuos, esquilmos y desechos fecales de diferentes tipos de especies pecuarias.

La cachaza es un residuo que se obtiene en el proceso de clarificación de los jugos de caña, que incluye materias terrosas e impurezas orgánicas. Por cada tonelada de caña procesada se obtienen de 30 a 50 kg de cachaza. Resultados obtenidos indican que la cachaza es rica en N, P, K y Ca, y que su uso como abono favorece las propiedades físicas y químicas del suelo; incrementa temporalmente la capacidad de intercambio catiónico del suelo por la producción de humus, aumenta la capacidad de retención de humedad del mismo, y durante su descomposición se produce gran cantidad de CO₂ que al transformarse en H₂CO₃ disuelve, junto con otros ácidos de origen orgánico, los nutrientes insolubles en suelos con pH alcalino (Zarate, 1993).

El composteo de la cachaza es una alternativa que permite reducir las dosis de aplicación de fertilizantes químicos comerciales, facilitando su transporte y aplicación en campo, por lo que favorece el proceso de mineralización, lo cual a su vez permite una mayor disponibilidad de nutrientes para el cultivo (Allende, 2012).

La composta biomineralizada es un abono orgánico, aportante de materia orgánica y 50 minerales al suelo, fuente de nutrientes y apartadora de microorganismos formadores de suelo. Aumenta la capacidad de intercambio catiónico, mejora la estructura del suelo además de regular el pH del mismo. Tiene un alto contenido de humus, materia orgánica, ácidos húmicos y fúlvicos, con elementos mayores, secundarios y oligoelementos de disposición inmediata para las plantas (Gómez, 2012).

Vermicomposta o Lombricomposta. Es un producto formado única y exclusivamente por las excretas, producto de la digestión natural de las lombrices de tierra composteadoras (por ejemplo lombriz roja californiana *Elsinoe foetida*); se presenta en la forma de infinidad de agregados cilíndricos, de uno o dos milímetros de longitud, cubiertos por una fina película muco-proteica, “membrana peritrófica” que aglutina y retiene miles de microorganismos del suelo, compuestos húmicos, órgano-minerales y nutrimentos, que contiene hormonas, antibióticos, membrana peritrófica, materia orgánica, hongos, bacterias, actinomicetos, sales minerales, enzimas, vitaminas. El humus de

lombrices es de color café oscura. El excremento contiene varios elementos, nitrógeno mineral de lenta asimilación y fósforo, potasio, calcio, magnesio, y micro-nutrientes de liberación lenta; además de una serie de compuestos orgánicos y ácidos húmicos (Forestales, 2008). Es un compuesto orgánico el resultado final también llamado humus depende del sustrato o alimento utilizado en la vermicomposta, por ejemplo tipo de estiércol utilizado: ovino, caprino, bovino u otros. Lo más recomendable es realizar análisis de características bioquímicas y contenidos nutrimentales en un laboratorio certificado.

La biocomposta de lombriz es de gran peso molecular y de naturaleza muy compleja que resulta de los bioprocesos de la descomposición parcial de los residuos vegetales y animales como materia orgánica o sustrato, así como la ingestión y transformación, por la excreta realizada por la lombriz de tierra, una especie muy utilizada es la Lombriz roja de California (*Elsinoe foetida*). La importancia y riqueza microbiana y nutrimental de las vermicompostas dependen del sustrato o materia orgánica utilizada en la alimentación de las lombrices.

Conclusiones

La biofertilización es una tecnología que se suma a las de conservación para contrarrestar el deterioro ambiental y específicamente el de los sistemas agrícolas. Algunos de los microorganismos que actúan como promotores del crecimiento vegetal como las bacterias y los hongos que producen metabolitos, al modificar su medio o entorno rizosférico incrementan la solubilidad de algunos micronutrientes minerales y el fósforo fijados y retenidos en el suelo, lo que regula estabiliza e incrementa los procesos metabólicos y fisiológicos de las plantas.

El uso de bioestimulantes que son sustancias, compuestos y microorganismos, de diferentes componentes orgánicos e inorgánicos, son una combinación de biofertilizantes con productos alternativos de microorganismos y químicos o sintéticos, los cuales se aplican tanto vía foliar como en la rizósfera de las plantas, son productos que incrementan el vigor, resistencia, crecimiento y desarrollo de los cultivos, incrementan el rendimiento y la calidad de las cosechas, así como la resistencia al estrés abiótico (sequías, heladas, etc.) y al estrés biótico como el ataque de plagas y enfermedades.

El incremento en la investigación, desarrollo, validación y producción de los biofertilizantes en los cultivos ofrece un prominente y atractivo camino para reducir la utilización de los fertilizantes químicos, pesticidas y otros agroquímicos aplicados para la producción de los cultivos. Sin embargo, el papel de los microorganismos en el aprovechamiento metabólico y fisiológico para incrementar el estado nutricional, promoción hormonal, así como el efecto fitosanitario en las plantas se ha investigado muy poco, lo cual ofrece un espacio de oportunidad para muchos investigadores de las áreas de microbiología, agroecología y las ciencias agronómicas.

La factibilidad del éxito en la utilización de los biofertilizantes en los cultivos depende en gran medida del conocimiento, experiencia y manejo del cultivo, su requerimiento nutricional en las diferentes fenofases, las condiciones

ambientales; así como, del conocimiento en la mezcla y combinación de los diferentes microorganismos, época, etapa de aplicación, dosis y formas de aplicación de los biofertilizantes.

La utilización de las compostas, biocompostas y vermicompostas, es necesaria para las explotaciones de cultivos en la agricultura orgánica, así mismo, es muy recomendable para aquellos suelos con bajo contenido de materia orgánica, y suelos erosionados y degradados. Se deben realizar los análisis del contenido nutrimental y de otros parámetros como: pH, conductividad eléctrica, relación c:n, materia seca, contenido de materia orgánica, y en lo posible determinar la población microbiana por tipo de microorganismos, los cuales se deben realizar en laboratorios certificados y con reconocido prestigio.

Bibliografía

- Aguirre, M.J.F. 2000. Los biofertilizantes. Revista: Hortalizas, Frutos y Flores. Febrero 2000. p. 30-31.
- Alarcón A., y R., Ferrera-Cerrato. 2000. Biofertilizantes: Importancia y utilización en la Agricultura. Agr. Tec. Mex. 26(2): 191-203.
- Allende, F.A. 2012. Fertilización Inorgánica e Inoculación de Microorganismos Benéficos (Biofertilizantes) en la Producción del Chile Serrano. Trabajo de investigación, Instituto tecnológico superior de Tantoyuca, Veracruz, México, Pp. 66.
- Arellano-Saldaña, J. & et al. 2004. Uso de Biofertilizantes y Fertilizantes Orgánicos en la Producción Agrícola. CIRNO-INIFAP, CE Valle de Culiacán, Sinaloa. Folleto para productores No. 50. P. 13.
- Azcon-Aguilar y Barea. 1996. Interactions between micorrhizae and soil microbial. Plant Soil 152: 109-117.
- Benavides, M. A. 1999. Absorción y asimilación de hierro en las plantas. Departamento de Horticultura, UAAAN, Saltillo, Coah., México. Disponible en: http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/hierro_en_plantas.pdf
- Díaz-Franco, A. & et al. 2008. Productividad del Sorgo con Inoculación de Micorriza Arbuscular. INIFAP-Campo Experimental Río Bravo, Tamaulipas, México. Folleto para productores No. 18.
- EBIC. European Biostimulants Industry Cosortion. 2012. Presentación de Bioestimulantes en Castellano. Abril de 2012. Disponible en: www.biostimulants.eu
- Ferrera-Cerrato, R., y A. Alarcón. 2007. Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo. Ed. Trillas, México. 568 p.
- Forestales, C. T. 2008. *Terra Nova*. Obtenido de lombricomposta: <http://terranovalombricultores.com/que-es-la-lombricomposta/>
- Gianinazzi-Pearson y Gianinazzi. 1983. Minor elements are actively absorbed by fungal hyphae. *Nature*, Inglaterra, 1983, pp. 194-201.
- Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can. J. Microbiol.* 41-109-117.

- Gómez, G. J. M. 2014. Evaluación de biofertilizantes y compostas como alternativas económicas para disminuir el uso de fertilizantes inorgánicos en Chile serrano. Tesis de Licenciatura Ingeniero Agrónomo. UAM Mante, UAT. 67 pp.
- Graham, P.H. 1998. Symbiotic Nitrogen Fixation. Disponible en: http://www.soils.agri.umn.edu/academics/classes/soil3612/Symbiotic_Nitrogen_Fixation/
- Guzmán-Plazola, R.A., Ferrera-Cerrato, R., y Bethenfalvay, G. J. 1993. Efecto de la endomicorriza V-A en maíz y frijol sembrados solos o asociados en condiciones de campo. *Terra* 11(2):185-192.
- Jacobsen, M. 1992. Effects of arbuscular endomycorrhizae in plants and absorption of nutrients. *Plant Soil* 134: 389-393.
- Pecina-Quintero, V.; A. Díaz-Franco; H. Williams-Alanís; E. Rosales-Robles; I. Garza-Cano. 2005. Influencia de fecha de siembra y de biofertilizantes en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 28, núm. 4, pp. 389-392.
- Parsons, R. 2004. Plant-Microbe Metabolism: nitrogen metabolism of N₂ Fixing Symbioses. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Saborio, F. 2002. Bioestimulantes en fertilización foliar. Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones. Costa Rica. Pp 111-127. Cursos INTAGRI. www.intagri.com.mx.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Edit. Grupo Editorial Iberoamérica, México. 759 pp.
- Sieverding. 1991. Different types of arbuscular endomycorrhizae criteria ordered by structural, functional and taxonomic. *Plant Soil* 130: 221-247.
- Srivastava, L. M. 2002. Crecimiento y desarrollo de las Plantas: hormonas y ambiente natural. Amsterdam: Academic Press. Pag. 140.
- Sylvia, D. M. 1999. Fundamentals and applications of arbuscular mycorrhizae: a "biofertilizer" perspective. pp. 705-723. In: J. O. Siqueira y F. M. Moreira (eds.). Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Sociedade Brasileira de Ciencia de Solo. Minas, Brasil.
- Taiz, L. y E. Zeiger, 1991. Plant Physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc., University of California, USA.
- Velasco-Velasco, J., R. Ferrera-Cerrato y J. J. Almaraz-Suárez. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra* 19: 241-248.
- Virgen, G. C. 2013. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Cursos online INTAGRI, México.
- Zárate, L. M. (1993). Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. Obtenido de Manejo y Uso Agronómico de la cachaza en suelos cañameleros: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/canadeazucar/canal102/texto/manejo.html.

Tecnologías de transformación de frijol bajo un enfoque sustentable: comunidad indígena de Xiliapa, SLP.

Transformation technologies of bean under a sustainable approach: indigenous community of Xiliapa, SLP.

Karina Ramírez Sedeño²⁵
Óscar Manuel Portilla Rivera
*Vicente Espinosa Solís
Carmen del Pilar Suárez Rodríguez²⁶
Maribel Ovando Martínez

Resumen

²⁵*Coordinación Académica Región Huasteca Sur. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera Tamazunchale-San Martín KM. 5. Tamazunchale, SLP. 79960. *Contacto: vicente.espinosa@uaslp.mx*

²⁶*Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera a la Victoria Km 0.6. Hermosillo, Sonora (83000) México*

La Huasteca Potosina, por su diversidad de especies vegetales y animales, ofrece la posibilidad de innovar en la elaboración de productos tanto alimentarios como no alimentarios a partir de materia prima producida en la región, y así, contribuir no solo a la mejora económica de los pobladores sino también a una alimentación saludable y de bajo costo, sin perder los aspectos culturales y en un entorno de sustentabilidad. La comunidad indígena de Xiliapa, Tamazunchale, San Luis Potosí, México, se caracteriza por mantener sus tradiciones y su alimentación. El maíz, chile y frijol, todos cultivados en la localidad y comercializados en las cabeceras municipales cercanas, son parte importante de la alimentación de sus habitantes. Las propiedades alimentarias de estos productos están definidas por las características medioambientales de la zona, lo cual podría afectar los compuestos bioactivos que contiene, y por ende ocasionar cambios en su funcionalidad. Dentro de los productos antes mencionados, se considera al frijol como la principal fuente de proteínas y el de mayor consumo en la región, por lo que en este trabajo se identifican las formas de comercialización y cultivo de un producto que forma parte de la dieta de la comunidad indígena. Así mismo, se hace una revisión de los productos alimentarios que pueden desarrollarse a partir del uso de la tecnología de alimentos para incrementar su valor nutrimental, y también se explora la posibilidad de introducir un alimento basado en harina de frijol bajo un modelo de sustentabilidad.

Abstract

The Huasteca Potosina due to its wide vegetable and animal diversity, extend the possibility to develop both food and non-food products by using the raw material produced in the region. In this respect, the economy of the population and the health-benefits caused by the intake of such products are improved, and at the same time, there is not loss of the cultural aspects and sustainability. The indigenous community of Xiliapa, Tamazunchale, San Luis Potosi, Mexico is

characterizing because of its traditions and food. Maize, chili and beans, all of them grown in the community and commercialized around the region, are an important part in the food of Xiliapa. The food properties of these products are defined by the environmental conditions, which could affect the bioactive compounds content and their functionality. Among the food products mentioned before, beans are considered the main source of proteins and the ones with higher intake in the region. Due to the mentioned before, in this work are identified different forms of commercialization and cultivation of bean which are part of the diet of the indigenous community. In the same way, it is reviewed the development of different food products using the food technology to increase their nutritional value, and it is also explored the possibility to develop a food product with bean flour based in a sustainability model.

Introducción

México es considerado un país megadiverso, cuya diversidad biológica es representada a nivel genético, de especies, ecosistemas y culturas (SEMARNAT, 2010). Dicha diversidad biológica se origina por las distintas condiciones climáticas, geográficas, geológicas y topográficas que confluyen en distintos ambientes naturales distribuidos por toda la república (Rzedowski, 2006). Esta riqueza ha sido aprovechada por el hombre para incentivar la economía (agricultura, ganadería, pesca), así como para aportar opciones en la alimentación (FAO, 2009a).

El estado de San Luis Potosí se divide en cuatro regiones: Altiplano, Centro, Zona Media y Huasteca; cuenta con una población de 2 585 518 habitantes, de los cuales, el 64% corresponde a la población urbana y el 36% a la población rural. Dentro de las lenguas indígenas más habladas en el estado se encuentran: Náhuatl (141 326 habitantes), Huasteco (99 464 habitantes), Pame (11 412 habitantes) y Otomí (320 habitantes) (INEGI, 2010). La Huasteca Potosina cuya extensión territorial es de 11 409 km², abarca 20 municipios del estado. En esta región, los hablantes de la lengua náhuatl se encuentran en Tamazunchale, Xilitla, Matlapa, Axtla de Terrazas, Coxcatlán, San Martín Chalchicuautla y Tampacán; mientras que los hablantes de huasteco están concentrados en Aquismón, Tancanhuitz de Santos, Ciudad Valles, Huehuetlán, San Antonio, Tanlajás y Tampamolón Corona (INEGI, 2005; INEGI, 2010).

Las comunidades indígenas en San Luis Potosí se agrupan en 389 unidades comunitarias que a su vez se estructuran en 1 189 sub-unidades. Dentro de estas subunidades se encuentran los barrios, anexos, secciones, fracciones, colonias y otras denominaciones, mismas que el INEGI clasifica como localidades (INEGI 2005). Las comunidades se encuentran distribuidas en 23 de los 58 municipios que integran al estado. Sin embargo, algunos autores reportan cifras mayores solo para la huasteca potosina en comparación a las cifras reportadas para el estado (Ávila-Méndez et al., 2005). Debido a las características geográficas de la región, generalmente el acceso a las comunidades es difícil, existe una alta marginación, y a pesar de los programas de desarrollo social y acceso a la educación, dichas comunidades se siguen considerando como de alta vulnerabilidad, con consecuencias como la migración, desnutrición y otros problemas de salud. El conocimiento de las características propias de un sector de la población, permite

identificar y proponer estrategias que coadyuven al desarrollo de la misma; es por ello, que en este trabajo se desarrollan los aspectos fundamentales de la comunidad en torno a la siembra, consumo y comercialización de distintas variedades de frijol con el fin de proponer la elaboración de un alimento funcional elaborado con los recursos naturales propios de la región.

Comunidad indígena “Xiliapa”

El municipio de Tamazunchale tiene 226 localidades catalogadas como indígenas. Una de éstas es Xiliapa. De acuerdo a INEGI (2010), Xiliapa es una localidad rural e indígena que se encuentra en la longitud -98.83750000 y a una latitud 21.27288889. Se localiza a 860 msnm (metros sobre el nivel del mar), enclavada en las montañas y estribaciones de la Sierra Madre Oriental como se muestra en la Figura 1. Tiene una población de 242 habitantes (141 hombres, 141 mujeres), de los cuales, cerca del 50% de los adultos hablan náhuatl. Sin embargo, dicho municipio presenta un alto grado de marginación (SEDESOL, 2015). En entrevista con miembros de la comunidad, se ha identificado que el principal sustento económico de los habitantes es la siembra del maíz, el cultivo de ciertas variedades de frijol tales como Pachaya (*Phaseolus lunatus*), Sarabanda (*Vigna unguiculata*), Ayocote (*Phaseolus cocineus*) y Michigan (*Phaseolus vulgaris*); además de chile piquín (*Capsicum annuum*), algunas hierbas (soyo, cilantro, menta) y ciertas frutas (mandarina, naranja, durazno). El producto cosechado es vendido en las cabeceras municipales (Tamazunchale o Matlapa) y una porción menor es utilizada para el consumo familiar. La elaboración de pan representa otra entrada económica en la comunidad (González-Flores, E., comunicación personal, 04 de junio, 2015).

Figura 1. Comunidad de Xiliapa, Tamazunchale, S. L. P
Fuente: Google Maps, Digital Globe.



El “etl”, nombre del frijol en lengua náhuatl, es uno de los cultivos más importantes para la localidad, cuyo precio de venta equivalente al volumen de una lata de sardina de 425 gramos puede variar de \$15.00 a \$30.00 pesos (Figura 2A), mientras que un rollo de vainas de frijol de 100 gramos puede llegar a los \$35.00 pesos (Figura 2B), estos precios dependerán de la cosecha. Como se conoce, la siembra del frijol es por temporal, donde los agricultores siguen un calendario comunitario de siembra que puede variar según se adelanten o retrasen las lluvias. De acuerdo a este calendario, para el mes de febrero se siembra principalmente la variedad Sarabanda (ciclo de cultivo dos meses), en el mes de mayo se inicia la siembra de la variedad Huarachito o Pachaya “pachalt”, y en diciembre se siembra la variedad llamada Frijolón o Ayocote (ciclo de cultivo cinco meses). Por temporada se pueden obtener entre 200 kilogramos a 400 kilogramos por

agricultor, cifra que puede variar de acuerdo a las condiciones climáticas que se hayan presentado durante el ciclo de cultivo del frijol (Bautista, A., comunicación personal, 04 de junio, 2015).

Al estar la comunidad de Xiliapa enclavada en las montañas de la Huasteca Potosina, las tierras de cultivo se encuentran en las laderas. La zona de cultivo se selecciona al azar y es de un tamaño aproximado a la media hectárea. Para la siembra de frijol, primero se barbecha con un machete o a mano. Debido a la ubicación del terreno de cultivo, hay partes en las cuales las piedras abundan y son imposibles de quitar, entonces se buscan lugares con tierra que permitan la siembra de dicha leguminosa (Bautista, C., comunicación personal, 04 de Junio, 2015).



Figura2. Venta de frijol en la cabecera municipal de Tamazunchale, SLP

A) Sardina, B) Vaina

Fuente: Elaboración propia

Para realizar la siembra y/o cosecha se recurre a la contratación de peones (vecinos de la comunidad o gente foránea), los cuales perciben un sueldo de \$80 pesos al día, actividad que genera una fuente de trabajo en la localidad.

Los residuos de la cosecha (vaina y planta), se dejan en el campo de cultivo para que se degraden y sean aprovechados como abono o camas de protección para la próxima siembra (González-Flores, comunicación personal, 05 de junio, 2015). Durante el ciclo de cultivo del frijol, los agricultores no utilizan fertilizantes industriales; sin embargo, hacen uso de plaguicidas para combatir a las catarinas (escarabajos) y ácaros (las plagas más comunes), solo cuando el cultivo comienza a ser invadido por la plaga, (Bautista, B., comunicación personal, 05 de junio, 2015).

La importancia del frijol radica en su asociación con el desarrollo de las culturas prehispánicas y por ser parte de la cultura gastronómica de México. Sin embargo, dicha situación ha cambiado debido a modificaciones en el estilo de vida, hábitos alimenticios, cambios climáticos, así como ir de una economía cerrada a una global, lo cual afecta la producción, comercialización, transformación y consumo del frijol (SAGARPA, 2012). En la Huasteca Potosina existen variedades de frijol que son cultivadas por comunidades indígenas. Entre estas variedades encontramos al frijol Sarabanda que se consume durante las festividades de día de muertos (Xantolo) para la preparación de bocoles, tamales, atoles que forman parte de la dieta básica de los habitantes de la Huasteca Potosina. El frijol Ayocote y el frijol Pachaya se utilizan en diferentes temporadas del año como parte fundamental de platillos típicos de la región.

El cultivo del frijol, bajo las prácticas de los habitantes de la comunidad y las condiciones climáticas de la región influye en la calidad nutricional y culinaria del mismo. Más allá de los aspectos alimentarios, el frijol es de suma importancia para los pobladores de la comunidad, ya que está asociado a su identidad cultural. Es por ello que se considera de vital importancia conocer las propiedades de las especies endémicas, para con ello hacer propuestas que influyan en el desarrollo de la región de manera positiva. La Universidad Autónoma de San Luis Potosí, a través de la Coordinación Académica Región Huasteca Sur, busca hacer investigación que permita caracterizar la interacción entre las biomoléculas presentes en la matriz alimentaria del frijol, antes, durante y después de un proceso de transformación, para estudiar sus propiedades funcionales y descubrir ventajas para su aprovechamiento en la producción de alimentos funcionales que puedan beneficiar la salud de quienes los consuman. El conocimiento de esta leguminosa puede incentivar a los habitantes de las comunidades a sembrar dichas variedades a mayor escala para mejorar su economía; siempre pensando en que las futuras generaciones podrán utilizar los mismos recursos.

En los siguientes apartados se abordan aspectos de las propiedades del frijol y las tecnologías que pudieran implementarse bajo un enfoque de sustentabilidad en la región Huasteca Sur.

Generalidades del frijol

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) es una de las leguminosas de mayor consumo a nivel mundial en países en desarrollo. Dicha leguminosa representa una rica fuente de vitaminas, proteínas, minerales y fibra, para las poblaciones de escasos recursos (Bitocchi et al., 2011). En México, existe una amplia diversidad de variedades de frijol que difieren en color, tamaño, forma y calidad comercial (Campos-Vega et al., 2009). Se considera que el color y tamaño de la semilla son dos cualidades importantes para los consumidores dependiendo de la región. Ambas características del frijol dependen de la variedades genética, el cultivar y las condiciones ambientales de crecimiento (Reynoso-Camacho et al., 2006). Dentro de las variedades de frijol de mayor cultivo en México se encuentran el frijol claro y negro. Se reportó que el 67% de la producción de frijol corresponde a las variedades de frijol claras; mientras que el 30% pertenece a las variedades de frijol negro (Financiera Rural, 2011). De acuerdo a los hábitos de consumo, preferencias y cultura, los consumidores demandan frijol de diferentes tipos y calidades, por lo que se hace necesario el estudio de variedades de frijol que no son explotadas en la región.

Respecto a las condiciones de cultivo del frijol, éste crece óptimamente en áreas con precipitaciones pluviales medias, mientras que no se recomienda su cultivo en lugares como los trópicos húmedos. Lluvias excesivas y climas calientes ocasionan caída de la flor y vaina, además de un incremento en la incidencia de enfermedades en la planta. Por dichas razones en las zonas indígenas de la Huasteca Potosina, el frijol solo se siembra en épocas específicas del año para disminuir las pérdidas del mismo. La temperatura mínima óptima promedio para el crecimiento del frijol es 10° C, mientras que la máxima es 27° C. Para que la semilla germine, se requiere una temperatura de suelo de

15° C o más. Si la germinación ocurre a 18° C, el proceso de germinación dura alrededor de 12 días, pero si ocurre a 25° C, este proceso tardará cerca de 7 días. Las condiciones climáticas encontradas en la Huasteca Potosina oscilan entre 30 – 40° C, lo cual trae como consecuencia que la composición química de las variedades de frijol antes mencionadas puedan llegar a ser diferentes a las cultivadas en otros lugares. En cuanto a los requerimientos de agua, para un periodo de 60 a 120 días, la planta necesita entre 300 y 500 mm de agua dependiendo del clima. Se ha encontrado que cuando ocurre una deficiencia severa de agua durante la etapa vegetativa, generalmente se atrasa el desarrollo de la planta y causa un crecimiento no uniforme. El riego frecuente durante la floración, desarrollo y llenado del grano de frijol incrementa la producción. Sin embargo, un exceso de agua lleva al aumento de enfermedades, especialmente en la raíz de la planta. Por ejemplo, bajo condiciones de deficiencia de agua durante la etapa vegetativa, el frijol evita la pérdida de este componente antes de la floración, mediante el cierre de estomas. Mientras que, cuando dicha deficiencia ocurre en la etapa de desarrollo y llenado del grano, se obtienen vainas descoloridas con frijoles deformes (FAO, 2009b).

Se considera que el cultivo de frijol en la Huasteca Potosina, debido a las condiciones climáticas de la región podría afectar la calidad culinaria y nutricional del mismo. Se considera necesario evaluar su composición nutricional y conocer como estos cambios podrían reflejarse en las propiedades funcionales de las biomoléculas presentes en dicho sistema alimenticio.

Estructura y composición química del grano de frijol

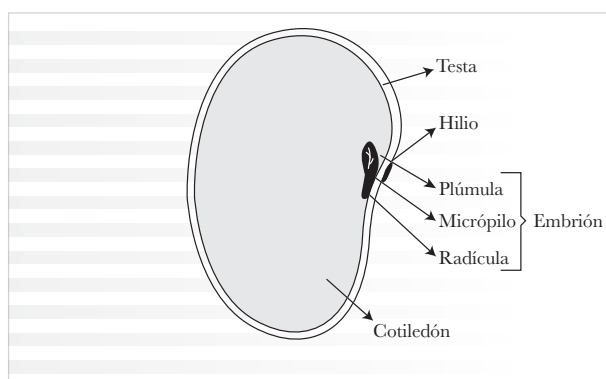


Figura 3. Características estructurales de la semilla de frijol.

Fuente: Oakleaf Gardening, disponible en: <http://www.oakleafgardening.com/glossary-terms/structure-of-seeds/>

Las dos principales partes estructurales del grano de frijol son la testa y el cotiledón (Figura 3). La testa sirve como barrera protectora entre el cotiledón y el ambiente exterior (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993). La testa es la fracción más grande después del cotiledón y se ha relacionado con la absorción de agua en la semilla; sin embargo, se considera que otros constituyentes de la semilla como el hilio y el micrópilo, forman junto con la testa un sistema integrado de absorción/eliminación de agua.

Respecto a la composición química de la testa de frijol, se ha reportado un contenido de 67% de polisacáridos insolubles no amiláceos y 4% de fibra soluble. Además, esta fracción es rica en compuestos fenólicos, los cuales por ser susceptibles a polimerizar, contribuyen a la impermeabilización de la testa,

característica no deseada desde el punto de vista calidad culinaria porque lleva al fenómeno denominado “hardtocook” (Velasco-González, et al., 2013). El cotiledón, parte estructural mayoritaria de la leguminosa (Figura 3), se considera el principal órgano de almacenamiento en la semilla (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993). Se ha reportado que el cotiledón de frijol contiene gránulos de almidón; que representan el componente de mayor proporción, embebidos en una matriz proteica (Berrios et al., 1998). Se ha encontrado que la estructura celular del cotiledón restringe el acceso libre de las enzimas durante la digestión del almidón de frijol. Esto es debido a la presencia de la pared celular y la matriz proteica, la cuales rodean a los gránulos de almidón, bloqueando la acción enzimática y por tal reduciendo la velocidad de hidrólisis del mismo (Berg et al., 2012).

Entre los componentes primarios de la semilla de frijol se encuentran las proteínas y los carbohidratos. Usualmente, se recomienda el consumo de frijol debido al contenido de proteína que presenta, el cual oscila entre 17-28%, valores que son similares a los reportados en carne (18-25%) y mayores a los encontrados en cereales (7-13%). No obstante, las proteínas del frijol y leguminosas en general, son de bajo valor nutricional debido a la baja digestibilidad de las mismas y a la deficiencia de algunos aminoácidos esenciales. Se ha reportado que la proteína de frijol presenta un alto contenido de lisina (6.4-7.6g/100g de proteína), fenilalanina y tirosina (5.3-8.2 g/100g de proteína). Como se mencionó, se conoce que el frijol es deficiente en los aminoácidos azufrados metionina y cisteína. Debido a ello, esta deficiencia se compensa con el consumo de cereales, tales como maíz, arroz y trigo (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993).

Las leguminosas como el frijol, contienen alrededor de 60-65% de carbohidratos, valor menor comparado con el de los cereales (70-80%). Los carbohidratos de las leguminosas están constituidos principalmente por monosacáridos (ribosa, glucosa, galactosa y fructosa), disacáridos (sacarosa y maltosa), oligosacáridos (rafinosa, estaquiosa y verbascosa) y polisacáridos (almidón, componentes de la fibra dietética). De todos los carbohidratos presentes en la semilla, el almidón es el principal carbohidrato de almacenamiento, debido a que constituye la fracción mayoritaria del total de carbohidratos de las leguminosas (Hernández-Salazar et al., 2010).

Actualmente, se recomienda el consumo de frijol debido a la presencia de compuestos polifenólicos, provenientes principalmente de la testa, aunque es claro que el cotiledón también contribuye con este tipo de compuestos, pero en menor proporción (González et al., 1999). Boateng et al., (2008) reportaron contenidos de polifenoles de 3.42 a 7.21 mg/g para frijoles con testa oscura y clara, respectivamente; mientras que Heimler et al., (2005) reportaron valores de 1.17 a 4.40 mg/g. Se ha reportado que la cantidad y composición de taninos condensados y antocianidinas determinan el color de la testa del frijol (Rocha-Guzmán et al., 2007).

El consumo *per se* de frijol trae como consecuencia diferentes efectos fisiológicos positivos sobre la salud de quienes lo consumen, dichos efectos han sido relacionados con el contenido de fibra dietaria (Tosh y Yada, 2010), contenido de almidón de baja digestión (Serrano y Goñi, 2004) y contenido de polifenoles (Cardador-Martínez et al., 2002). Sin embargo los consumidores

demandan frijol de diferente calidad culinaria de acuerdo a hábitos de consumo, preferencias y hábitos culturales. Por lo cual, el número de variedades de frijol demandadas es reducido. Existen diversas investigaciones en las cuales el frijol ha sido transformado para la generación de harinas o almidones y con ellos realizar productos funcionales. Esto podría ser utilizado para darle un uso alternativo a las variedades de frijol sembradas en las comunidades indígenas.

Tecnologías para la transformación del frijol

Para utilizar el frijol de una forma diferente a la tradicional, estas leguminosas deben someterse a un proceso de molienda en seco para producir harinas y/o someterlo a un proceso de molienda húmeda para obtener almidón (Ovando-Martínez et al., 2011a; 2011b). Para lo cual, una vez que el frijol ha alcanzado su maduración fisiológica; se deja secar en la vaina hasta que el contenido de humedad disminuye y tanto la testa como el cotiledón se endurecen. En este estado seco, los frijoles pueden ser triturados para obtener una harina, la cual puede ser empleada en diversos procesos de transformación como los que se mencionan a continuación.

1) Elaboración de productos de panificación

Por muchos años el pan ha sido uno de los principales constituyentes de la dieta humana. Elaborar pan a partir de masas fermentadas con levaduras, ha sido uno de los procesos biotecnológicos más antiguos. Las principales materias primas utilizadas para su elaboración son: harina de trigo, sal, levadura (química o biológica) y azúcar, aunque en algunos casos se agrega agua o leche y grasa (Hernández et al, 2003). Cada uno de estos componentes tiene una función específica en el proceso de elaboración y cocción del pan, ya que si falta alguno de ellos, el pan no tendría la consistencia adecuada y característica que ya conocemos. La mayoría de los productos de panadería, confitería y pastelería contienen harina de trigo como principal componente (Del Castillo et al., 2009). El proceso de elaboración de pan se divide en tres etapas: mezclado, fermentado y horneado. Durante todas las etapas de elaboración de pan, ocurren cambios químicos, bioquímicos y transformaciones físicas afectadas por los diversos constituyentes de la harina, en conjunto con el resto de los ingredientes presentes en la mezcla. Los productos horneados que tienen como base principal harina de trigo son consumidos por la mayoría de la población, sin embargo existe una sección de la población la cual presenta alergias o intolerancia al consumo de trigo, debido a la presencia del gluten.

El gluten es la principal proteína estructural de cereales como el trigo, la avena o el centeno y confiere a las masas, la elasticidad y extensividad necesarias para elaborar productos de panificación de buena calidad. (Sciarini et al., 2008). El gluten es una proteína de bajo valor nutritivo, cuyo uso se masificó debido a su capacidad de retener aire en la matriz proteica facilitando que la masa se adhiera mejor, fenómeno que favorece la elaboración del pan. Las gliadinas son la fracción del gluten soluble en alcohol y contienen la mayor parte de los componentes tóxicos para las personas intolerantes; son ricas en glutamina y prolina, cuya digestión en el tracto gastrointestinal es más difícil que el de otros péptidos (Parada y Araya, 2010)

Por esta razón existen diversas investigaciones que han estudiado la elaboración de productos de panificación libres de gluten. Sin embargo la elaboración de un pan sin gluten presenta dificultades, ya que las proteínas del gluten son indispensables en la formación de la red que da las propiedades viscoelásticas de la masa y de la capacidad de retención de gas que permite el aumento de volumen. En la actualidad se han estudiado varios ingredientes para imitar al máximo las propiedades funcionales del gluten. Algunos de ellos son: hidrocoloides (goma xantana, goma guar, hidroximetil celulosa), enzimas (transglutaminasas, xilanasas) y diferentes fuentes proteicas (leche, huevo, soja). La leche, el huevo y la soja, son las fuentes proteicas más utilizadas, tanto por sus propiedades nutricionales como tecnológicas. Cada una de ellas aporta diferentes propiedades que permiten la elaboración de productos libres gluten de buena calidad, aunque también las gomas son un factor muy importante para obtener las características generales del pan (Miñarro et al., 2009).

Además de los ingredientes arriba mencionados, también se han estudiado otro tipo de fuentes no convencionales en la elaboración de pan libre de gluten como harina de cereales y leguminosas. Por ejemplo, Manchado-Alencar et al., (2015) estudiaron la adición de harina de amaranto y quínoa en la elaboración de pan libre de gluten. Dichos autores encontraron que la adición de harina de quínoa y amaranto no afectaron las propiedades de textura del pan y aumentaron el contenido de proteínas, lípidos y cenizas. También se reportó que la adición de edulcorante al pan elaborado con estas harinas no afectó significativamente las propiedades sensoriales del producto. Shevkani et al., (2015) utilizaron proteína aislada de 2 variedades de frijol Sarabanda (frijol blanco y frijol rojo) para el enriquecimiento de pan tipo magdalena hecho a partir de harina de arroz en las proporciones (4, 8 y 12 g / 100 g, aislado de frijol/harina total). En este trabajo se encontró que las proteínas presentes en ambas leguminosas aumentaron los parámetros de textura a partir de la sustitución al 8% y entre estos, el frijol blanco aumentó en mayor proporción el volumen total de la magdalena.

A partir de dichos estudios, se considera que las variedades de frijol cultivados en la comunidad de Xiliapa pueden ser utilizadas para la fabricación de pan tipo pastelillo, con la finalidad de incrementar el contenido de antioxidantes y proteínas, mejorar la textura de los productos de panificación y/o incrementar el contenido de fibra dietaría total, todo esto dependiendo del uso de aislado proteínico, harina completa o el almidón aislado de frijol.

2) Elaboración de pastas

De acuerdo al Codex Stand 192-1995, la pasta es un producto alimenticio que no está tratado (No está calentado, hervido, cocido al vapor, cocido, pregelatinizado o congelado), solamente deshidratado, el cual se elabora a base de sémola de trigo y agua. Las pastas alimenticias tienen mucha aceptabilidad entre la población porque son de bajo costo, fáciles de preparar, versátiles, tienen atributos sensoriales adecuados y una larga vida de anaquel (Torres et al., 2007). Por mucho tiempo se ha creído que el consumo de pasta conduce al desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas. Sin embargo, se ha reportado que no es la pasta la que provoca esos padecimientos, sino que son ocasionados por

los ingredientes que acompañan su preparación para consumo. Los parámetros utilizados para evaluar la calidad de compuestos ricos en carbohidratos como la pasta corresponden a la digestibilidad de los mismos. Una herramienta para determinar dicha digestibilidad es el nivel del índice glucémico, parámetro que indica la liberación de glucosa en sangre después del consumo del alimento. Además, existen otras herramientas que miden la cantidad de carbohidratos como almidón que son hidrolizados rápida o lentamente en el intestino delgado y aquellos que resisten a la digestión por enzimas digestivas y que pasan al intestino grueso en donde son fermentados por la microflora del colon. Dentro de los estudios realizados en pasta, Goñi et al. (1997), reportaron un porcentaje de almidón resistente de 2.49% y un índice glucémico de 68%, considerado un índice glucémico moderado o medio. Esto indica que la pasta cocinada con agua no ocasiona daños en la salud, sin embargo, debe considerarse que al producir un índice glucémico moderado, se debe regular su consumo o buscar alternativas para disminuir dicho parámetro e incrementar su valor nutricional. Durante mucho tiempo se han empleado diversos ingredientes en la elaboración de la pasta, tales como espinacas, tomates, huevo y vitaminas. Las espinacas y el tomate confieren color y muy poco sabor, pero no tienen un efecto importante en el valor nutritivo de la pasta; a diferencia del huevo, que además de dar el color amarillo y aumentar su valor nutritivo, también mejora su textura haciéndola más fuerte que una pasta normal (Kill y Turnbull, 2004).

Se han hecho diversos estudios para mejorar la calidad nutricional de la pasta. Algunos autores han estudiado la adición de fibra dietaria (Lewis y Heaton, 1997) y carbohidratos indigeribles como el almidón de plátano (Hernández-Nava et al., 2009) y harina de plátano inmaduro (Ovando-Martínez et al., 2009). Otras investigaciones se han enfocado en aumentar el contenido proteico mediante la adición de materiales de origen vegetal. Las leguminosas pueden ser utilizadas en forma de harina, hidrolizados o concentrados usados en la elaboración de pasta. Por ejemplo, Granito et al., (2003) combinando sémola de trigo con diferentes concentraciones de harina de trigo, maíz desgrasado, frijol Orituco y almidón de yuca; encontraron que la sustitución de la sémola hasta un 45% con estas harinas mejoró el contenido nutricional de la pasta, en particular el contenido de minerales y fibra dietética total; concluyendo entonces que la pasta seleccionada en base a parámetros de calidad tecnológica, sensorial y nutricional, fue la sustitución al 55% con harina cruda de frijol y suplementada con 1% de gluten.

Gallegos-Infante et al. (2010) estudiaron el efecto de la adición de harina de frijol bayo sobre la calidad de cocción y el contenido de polifenoles totales en una pasta tipo espagueti. Los autores reportaron un grado de sustitución máximo de 30% harina de frijol, encontrando que la adición de harina de frijol disminuyó el tiempo de cocción y la capacidad de absorción de agua; además presentó una disminución de la firmeza. Sin embargo, esta adición tuvo un efecto positivo ya que se incrementó el contenido de polifenoles totales. Tal resultado sugiere que la adición de harina de frijol, además de incrementar el contenido proteico, aumenta la cantidad de antioxidantes. Esta tecnología podría ser utilizada para generar alimentos funcionales listos para comer. Es importante reflexionar que la introducción de nuevos productos en el mercado, requerirá un incremento en

la demanda de materia prima, lo cual tendría un impacto en el entorno debido a la necesidad de incrementar las tierras de cultivo entre otras cosas; es por ello que se considera necesario una evaluación de la sustentabilidad de la propuesta para desarrollo de alimentos funcionales con los recursos naturales propios de una región.

El concepto de desarrollo sustentable

En 1987, la Organización de la Naciones Unidas (ONU) en el Informe de la Comisión de Brundtland hizo mención del desarrollo sustentable, definiéndolo como aquel “desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”, basándose en el ambiente, la sociedad y la economía, generando un conjunto de procesos, tecnologías, formas de vida y recursos monetarios para buscar un bien común y lograr un equilibrio entre el hombre y el ambiente, con la finalidad de mejorar la calidad de vida (alimentación, vivienda, trabajo, diversión) de la población (UNESCO, 2015).

La agricultura es un sector muy importante para el desarrollo social, ambiental y económico de la población, principalmente en el medio rural (FAO, 2009a). La localidad de Xiliapa tiene un proceso agrícola rural sustentable, en el que incorpora los tres ejes fundamentales, en este proceso agrícola se pretende incorporar una actividad tecnológica productiva para lograr una seguridad alimentaria en la localidad.

La Agenda 21 nació en la Conferencia Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible organizada por las Naciones Unidas en Río de Janeiro (Brasil) en el año 1992, en la también conocida como Cumbre de la Tierra (ONU, 2015), donde más de 170 países se comprometieron en buscar acciones orientadas a generar indicadores para medir y evaluar las políticas y estrategias para la toma de decisiones en todos los niveles: manejo de recursos naturales, elementos económicos y sociales (INEGI, 2000).

La pregunta obligada es ¿qué tan sustentable es el proceso agrícola empleado, la tecnología implementada, en base a nuestros tres puntos importantes, el ambiente, la sociedad y la economía?, ¿cómo podemos evaluar y analizar nuestros procesos industriales? La respuesta es diversa, hay múltiples metodologías diseñadas para analizar y evaluar la sustentabilidad, diversos grupos de investigadores, organizaciones civiles, organizaciones gubernamentales han desarrollado todo un campo de indicadores. Si definimos a los indicadores como parámetros que nos proveerán o señalarán información necesaria sobre un fenómeno o pregunta específica, y que son utilizados a nivel internacional, nacional, regional, estatal y local (INEGI, 2000). Algunos de los índices más conocidos propuestos por organizaciones no gubernamentales (ONG) y gubernamentales para evaluar el desarrollo sustentable son: la Huella Ecológica (*Ecological Foot print*) (WWF, 2015a), El índice del planeta viviente (*Living Planet Index*) (WWF, 2015b), el Índice de Sustentabilidad Ambiental (*Environmental Sustainability Index*) (SEDAC, 2014). Desde la parte económica y financiera, también encontramos el Índice de Sustentabilidad de la Bolsa Mexicana de Valores (BMV, 2008), el cual coloca un valor en la bolsa a las ideas verdes. Además están los indicadores culturales para la seguridad, soberanía alimentaria y desarrollo sostenible de los pueblos indígenas.

En Johannesburgo se llevó a cabo la Cumbre de Desarrollo Sostenible del 2002, en donde se estableció la iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible (ILAC). En esta iniciativa se dan a conocer 41 indicadores distribuidos en seis áreas: diversidad biológica, gestión de recursos hídricos, vulnerabilidad de asentamientos humanos y ciudades sostenibles, salud, inequidad y pobreza, comercio y los patrones de producción y consumo, y los aspectos institucionales (SEMARNAT, 2012). Cada indicador hace referencia a una situación en particular presente en la república mexicana.

Propuesta de evaluación de la sustentabilidad de un producto de panificación

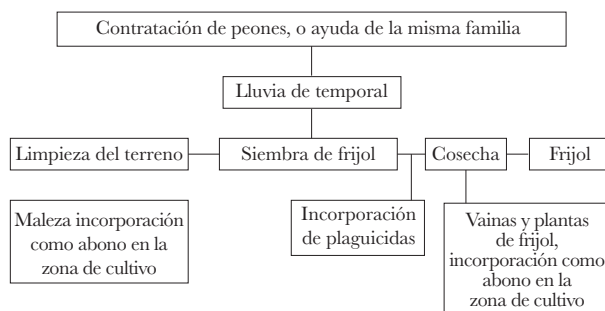


Figura 4. Proceso de la siembra del frijol.

Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar la sustentabilidad del cultivo del frijol en la localidad de Xiliapa y la sustentabilidad en la elaboración de un alimento (magdalena), teniendo como referencia una zona de cultivo tradicional y la elaboración de pan en la región, se utilizará la metodología del Marco para la Evaluación del Sistema de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) (Masera et al. 1999; Astier et al., 2008). Cada indicador toma un valor, el cual se estandariza y gráfica, para apreciar el mejor o peor escenario del objeto de estudio y la referencia.

Metodología MESMIS para la construcción de la propuesta

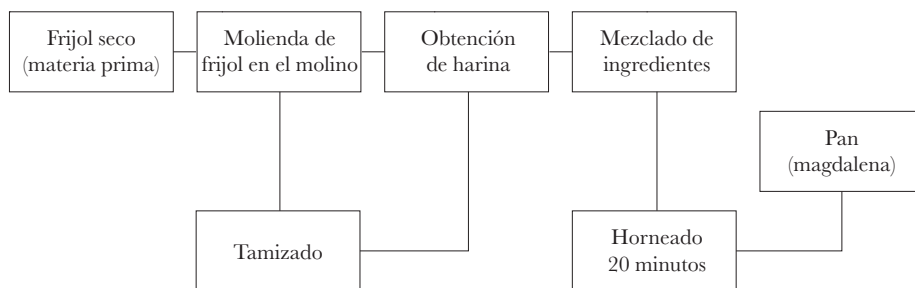


Figura 5. Proceso de la elaboración del pan (magdalena).

Fuente: Elaboración propia.

1. Determinación del objeto de estudio. Se considera como objeto de estudio a la siembra y cosecha del frijol así como la elaboración de pan tipo magdalena con la harina del frijol, en la localidad de Xiliapa, ubicada en el municipio de Tamazunchale. Con características socioeconómicas y geográficas

antes descritas. En la Figura 4 se describe el proceso de siembra identificado a partir de la entrevista con los agricultores de la localidad. En la Figura 5 se muestra el proceso de elaboración de las magdalenas propuesto desde la obtención de la materia prima.

2. Identificación de los puntos críticos del sistema. Identificar las fuerzas y debilidades de nuestro sistema. Uno de los puntos críticos que pueden alterar la sustentabilidad en nuestros resultados es la utilización de plaguicidas por parte de la gente de la localidad, pero solo se utiliza cuando es necesario.

3. Selección de indicadores estratégicos. Considerando que los indicadores deben ser definidos con base a la distribución de los atributos de productividad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, adaptabilidad, equidad y autogestión, definidos por el mismo programa y que deben ser fáciles de medir y monitorear. Se propone como indicadores del cultivo a: la producción del frijol, variedades del frijol, insumos utilizados durante la siembra y cosecha del frijol, número de zonas de cultivo, superficie cosechada, programas de financiamiento, organización familiar, técnicas y temporadas del cultivo. Los indicadores a medir de las tecnologías del pan de frijol (magdalena) serán: el tiempo de vida del producto, valor del producto y costo de producción, insumos utilizados en las tecnologías de transformación del frijol en el pan, programas de financiamiento y oportunidades de comercialización así como el impacto cultural en su consumo.

4. Medición y monitoreo de indicadores. Se diseñarán herramientas analíticas y monitoreo de datos (encuestas, revisión de literatura, técnicas en grupo).

5. Presentación e integración de resultados. Los resultados obtenidos se resumirán y se integraran, utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas.

6. Conclusiones y recomendaciones. Es la recapitulación de los resultados del análisis, comparando el sistema de referencia y el alternativo en términos de sustentabilidad.

Conclusiones

Las propuestas de introducción de nuevos productos y alimentos funcionales en la Huasteca Sur desde una perspectiva académica deben considerar aspectos más allá de la creación e implantación de tecnología de punta, pero considerando al desarrollo científico en la búsqueda del beneficio social más allá de una mejora económica de los pobladores, es decir, considerando los efectos sobre la salud, el impacto en el medio ambiente, los efectos y logística de la comercialización y el impacto cultural. La introducción del concepto de sustentabilidad permite atender desde un enfoque trans disciplinar las problemáticas alimentarias de la región.

Bibliografía

- Astier, M. & et al. (2008). Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. SEAE, CIGA, CIECO, ECOSUR, GIRA, FIAES, Mundi prensa, España, 200 p.
- Ávila-Méndez, A., Fajardo, H. y Torre, L. (2005). Inventario de las Comunidades Indígenas de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México: *El Colegio de San Luis*, A.C., Documento de trabajo.
- Bautista, A. (2015, 4 y 5 de junio). Entrevista con el agricultor Alfredo Bautista, sobre prácticas de comercialización y cultivo del frijol en la comunidad de Xiliapa, Tamazunchale, SLP.
- _____. B. (2015, 4 y 5 de junio). Entrevista con el agricultor Bernardo Bautista, sobre prácticas de comercialización y cultivo del frijol en la comunidad de Xiliapa, Tamazunchale, SLP.
- _____. C. (2015, 4 y 5 de junio). Entrevista con el agricultor Constantino Bautista, sobre prácticas de comercialización y cultivo del frijol en la comunidad de Xiliapa, Tamazunchale, SLP.
- Berg T. & et al. (2012). The role of cotyledon cell structure during *in vitro* digestion of starch in navy beans. *Carbohydrate Polymers*, 87: 1678-1688.
- Berrios J.J. & et al. 1998). Structural characteristics of stored black beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *Scanning*, 20, 410-417.
- Bitocchi, E. & et al. (2011). Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) is revealed by sequence data. *Agricultural Sciences*, 4-9.
- BMV. (2008). Responsabilidad social. En Bolsa Mexicana de Valores. Consultado el 5 de junio del 2015. [En línea]: <http://www.bmv.com.mx/>
- Boateng J. & et al. (2008). Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (*Phaseolus ssp. L.*). *Food Science and Technology*, 41, 1541-1547.
- Campos-Vega, R. & et al. (2009). Chemical composition and *in vitro* polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *J. of Food Science*, 74.
- Cardador-Martínez A. & et al. (2002). Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6975-6980.
- Del Castillo, V. & et al. (2009). “Formulación de alimentos para celíacos con base en mezclas de harinas de quínoa, cereales y almidones”. *Archivos Latinoamericanos de nutrición. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*. Vol. 59 N° 3.
- FAO. (2009a). La FAO en México: Más de 60 años de colaboración. (Primera edición). Roma, Italia: FAO. [En línea] http://www.fao.org.mx/documentos/Libro_FAO.pdf.
- FAO. (2009b). Crop water information: Bean. [En línea] http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_bean.html
- Financiera Rural. (2011). Monografía del frijol [En línea] http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa-Frijol-2011_vc.pdf
- Gallegos-Infante, J.A. & et al. (2010) Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris L.*). *Food Chemistry*. 119: 1544-1549.

- González-Flores E., (2015, 4 y 5 de junio). Entrevista con el agricultor Eduardo González Flores, sobre prácticas de comercialización y cultivo del frijol en la comunidad de Xiliapa, Tamazunchale, SLP.
- González M. E., Castaño-Tostado E. y Loarca-Piña G. (1999). Antimutagenic effects of natural phenolic compounds in beans. *Mutation Research*, 441, 1-9.
- Goñi, I., Garcia-Alonso, A., and Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition research*. 17: 427-437.
- Granito, M., Torres, A., y Guerra, M. (2003). Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Interciencia*. 28:372-379.
- Heimler D., Vignolini P., Dini M. G y Romani A. (2005). Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris L.* dry beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 3053-3056.
- Hernández, A.; Alfaro I.; Arrieta, R. (2003). Microbiología industrial. 1ra edición. EUNED.
- Hernandez-Nava & et al. (2009). Development and characterization of spaghetti with high resistant starch content supplemented with banana starch. *Food science and technology international*. 15:73-78
- Hernández-Salazar M. & et al. (2010). In vitro fermentability and antioxidant capacity of the indigestible fraction of cooked black beans (*Phaseolus vulgaris L.*), lentils (*Lens culinaris L.*) and chickpeas (*Cicerarietinum L.*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 1417-1422.
- INEGI (2000). Indicadores de desarrollo sustentable en México. [[En línea]. http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/especiales/indesmex/2000/ifdm2000f.pdf
- ____ (2005). La Población Hablante de Lengua Indígena de San Luis Potosí. [En línea]. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/poblacion_indigena/leng_indi/PHLI.pdf
- ____ (2010). Censo de población y vivienda 2010. Consultado el 9 de junio del 2015. [En línea] <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484>
- Kill, R.C. y Turnbull, K. (2004). Tecnología de elaboración de pasta y sémola. España: Acribia.
- Lewis, S.J., and Heaton, K.W. (1997). Increasing butyrate concentration in the distal colon by accelerating intestinal transit. *Gut*. 41:245-251
- Manchado-Alencar, N.M. & et al. (2015). Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: temporal profile and instrumental analysis. *LWT-Food Science and Technology*. 62:1011-1018.
- Masera, O., Asrier S A. y López-Ridaura. (1999). Sustentabilidad y manejo de los recursos naturales el marco de evaluación del MESMIS. Mundi prensa, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiaada e Instituto de Ecología. México D. F. 109 p.
- Miñarro, B.; Albanell, E.; Capellas, M. (2009). “Fuentes proteicas alternativas al gluten en panificación.” *Alimentaria: investigación, tecnología y seguridad*. Vol. 405: 63-68.
- ONU. (2015). Agenda 21. Consultado el 12 de junio del 2015. [En línea] <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter31.htm>

- Ovando-Martínez, M. & et al. (2011a). Starch characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in different localities. *Carbohydrate polymers*, 85:54-64.
- _____ & et al. (2011b). Effect of cooking on physicochemical and starch digestibility properties of two varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different water regimes. *Food Chemistry*, 129:358-365.
- _____ & et al. (2009). Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Food Chemistry*, 113, 121-126.
- Parada, A.; Araya, M. (2010). "El gluten. Su historia y efectos en la enfermedad celíaca." Programa doctorado en Nutrición y Alimentos, Instituto de Nutrición y Tecnología de alimentos (INTA), Universidad de Chile. *Revista médica de Chile*, versión impresa ISSN 0034-9887.
- Reyes-Moreno C. y Paredes-López O. (1993). Hart-to-cook phenomenon in common beans. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33, 227-286.
- Reynoso-Camacho, R. & et al. (2006). Bioactive components in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Research Signpost*, 217-236.
- Rocha-Guzmán N. E. & et al. (2007). Antioxidant and antimutagenic activity of phenolic compounds in three different colour groups of common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris*). *Food Chemistry*, 103, 521-527.
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, México, 504 pp.
- SAGARPA. (2012). Descripción frijol. [En línea] http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/sispro/IndModelos/SP_AG/Frijol/Descripcion.pdf
- Sciarini, S. L.; Ribotta, P.; Leon, A. y Perez, G. (2008) "Influence Gluten-Free Flours and their Mixtures on Baking Properties and Bread Quality." *Food Bioprocess Technol.* 3:577-585
- SEDAC. (2014). Índice de desempeño ambiental. En Socio economic Data and Applications Center. Consultado el 06 de junio del 2015. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/epi>
- SEDESOL. (2015). Programa para el desarrollo de zonas prioritarias, cobertura 2015. San Luis Potosí. Consultado el 11 de junio del 2015. [En línea] <http://www.microrregiones.gob.mx/documentos/cobertura2015/24.xls>
- Serrano J. y Goñi I. (2004). Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54 (1).
- SEMARNAT. (2010). México país megadiverso: una oportunidad de desarrollo. Consultado el 04 de junio del 2015. [En línea] http://www.inecc.gob.mx/descargas/con_eco/2010_sem_megadiverso_pres_01_epeters_alow.pdf
- SEMARNAT. (2012). Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible. Indicadores de seguimiento. Consultado 10 de junio del 2015. [En línea] <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001652.pdf>
- Shevkani, K., Kaur, A., Kumar, S., and Singh, N. (2015). Cowpea protein isolates: functional properties and application in gluten-free muffins. *LWT-Food Science and Technology*. 63:927-933.

- Torres, A., Frias, J., Granito, M., Guerra, M., and Vidal-Valverde, C. (2007). Chemical, biological and sensory evaluation of pasta products supplemented with α -galactoside-free lupin flours. *Journal of the science of food and agriculture*. 87:74-81
- Tosh S. M. y Yada S. (2010). Dietary fibres in pulse seeds and fractions: characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43, 450-460.
- UNESCO. (2015). Educación. Desarrollo sostenible. Consultado el 10 de junio del 2015. [En línea] <http://www.unesco.org/new/es/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/sustainable-development/>
- Velasco-González, O. & et al. (2013). Propiedades Físicas y químicas del grano de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*). *Bioagro*, 25(3): 161-166.
- WWF. (2015a).Foot print calculator. En World Wild life Fund. Consultado el 6 de junio del 2015. [En línea] <http://footprint.wwf.org.uk/>
- WWF. (2015b). Living Planet Index Interactive graph. En World Wild life Fund. Consultado el 6 de junio del 2015. [En línea] http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/living_planet_report_graphics/lpi_interactive/.

Aprovechamiento de cogollo de caña de azúcar en la alimentación de ganado bovino de engorde

Sustainable utilization of sugar cane tops as cattle feed

*Vanessa Natalie Orta Guzmán²⁷
Jorge Aurelio Lois Correa
Elvia Margarita Romero Treviño²⁸

Resumen

²⁷Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, CICATA-IPN, Km14.5 carretera Tampico-Puerto industrial, Altamira, Tamaulipas, México, 89600.
*Contacto: vanessaortagn@gmail.com

²⁸Instituto Tecnológico de Altamira ITA, Carretera Tampico-Mante Km 24.5, Altamira, Tamaulipas

La Industria azucarera en México se ha desarrollado desde el inicio de la conquista española, siendo actualmente una de las actividades de mayor tradición y trascendencia en nuestro país, teniendo una participación importante en la economía nacional y generando un volumen importante de subproductos dentro de los cuales se encuentra el cogollo de la caña, el cual es la parte superior de ésta conformado por el tronco tierno y las hojas verdes, éste representa una importante alternativa de alimentación animal dada la situación crítica que actualmente atraviesa la ganadería mexicana por problemas derivados de la sequía que ha afectado en los últimos años al territorio nacional, donde solo en 2006 de 33 millones de cabezas de ganado se tuvo una reducción de más de cinco millones. En México, ningún subproducto de la caña de azúcar es aprovechado en la cuantía que las circunstancias lo requieren, ya que es conocido que existe una gran variedad de tratamientos que se pueden aplicar en residuos fibrosos para incrementar su digestibilidad y lograr que sean asimilados de mejor forma por el ganado, dentro de éstos tratamientos se pueden mencionar; hidróxido de calcio, hidrólisis térmica, explosión de vapor, amonificación, peróxido de hidrógeno e hidróxido de sodio, entre otros, sin que sean tan siquiera considerados.

Abstract

Sugar cane industry in México has been developed since the beginning of the Spanish conquest, and it is currently one of the activities of greater tradition and transcendence in our country, taking a major stake in the national economy and generating a significant volume of by-products, like the sugar cane tops which is the upper and tender part of the cane, formed by the soft trunk and the green leaf, this part of the cane represents an important animal feed alternative considering the hard situation that the Mexican cattle industry is passing thru. In 2006, due to lack of rain, from a 33 million cattle inventory, were lost five million. Sugar cane by-products in México are not used as the circumstances require, it is well known that exist a great variety of treatments that can be applied on fiber residues in order to increase their digestibility and to achieve that they are assimilated better by livestock. There are a lot of treatments, as it was above mentioned, among them it is possible to quote calcium hydroxide, thermal hydrolysis, steam explosion, hydrogen peroxide, and sodium hydroxide, without that are even considered.

La Industria del azúcar en México

En México, la agro-industria azucarera ha sido una de las más importantes en la historia nacional, ya que existe desde hace más de 500 años como una fuente de trabajo para millones de mexicanos (Crespo, 1988). Esta agroindustria cuenta con una alta productividad, los rendimientos en el campo y la fabricación son mayores al promedio anual, aunque los costos de producción superan a los de otros países. En México, existen 161 mil productores cañeros, 57 ingenios en 15 entidades federativas y 227 municipios, se tienen 664 mil hectáreas de cultivo de caña industrializadas produciendo un promedio anual de 5.0 millones de toneladas de azúcar (SE, 2012). En la zafra 2014-2015 se tiene un estimado de 5.9 toneladas de azúcar por cada 53 toneladas de caña molida industrializada y (CONADESUCA, 2015). La industria azucarera es fundamental en la economía mexicana, y podría ser mucho más productiva si se tuviera un adecuado aprovechamiento de los residuos agroindustriales, ya que en la cosecha de la caña se realiza una quema de gran parte de importantes recursos conformados por la paja y cogollo, los que representan una fuente importante de materia prima para la obtención de mieles hidrolíticas, etanol lignocelulósico, levaduras, fertilizantes, furfural, tableros y pulpa para papel entre muchos otros (Costales, R., 2000).

Cosecha de caña de azúcar y sus residuos

La caña de azúcar es un cultivo que genera una gran producción de biomasa, debido a su mecanismo fisiológico que se ve favorecido por ser una planta de ciclo del carbono C4, lo cual la convierte en una mejor captadora de carbono representando una ventaja ante otros cultivos agrícolas (Morales, 2011). La cosecha se puede realizar de forma manual o mecanizada, donde la primera demanda un mayor número de personas, que con machetes van cortando el tallo por la base y organizándolas en carros para transportarlas al ingenio, lo cual debe ser en un periodo corto de tiempo para evitar su deterioro. En esta manera de cosechar la caña, se realiza una quema previa del cañaveral para facilitar el trabajo de los corteros con lo cual se elimina gran parte de los residuos de la agroindustria cañera (RAC) además de liberar por cada hectárea de caña 24.3 mg de CO₂ (Cabrera, J. et al, 2010), lo cual, teniendo en cuenta que México cosecha un promedio de 52 millones de toneladas resulta alarmante, ya que se contamina el suelo, aire, agua y masa orgánica, además de restringir alternativas para el uso de residuos (Ortiz, H. et al, 2012).



*Figura 1. Cosechadora 3520-
John Deere.*

La otra forma de realizar la cosecha es de forma mecanizada (Fig. 1), sin la quema previa de la caña, donde se pueden utilizar las combinadas cañeras que

van cortando la caña por la base, y al mismo tiempo separando el cogollo o punta de la caña de ésta, conformado por las hojas y el tronco tierno; en esta forma de cosecha, usualmente el cogollo que se queda en campo se utiliza como forraje para el ganado (Morales, 2011).

En México se tiene una preferencia a realizar la cosecha de forma manual por tener una gran parte de los terrenos con relieves o colinas con piedras que impiden el paso de las combinadas cañeras, así como el desconocimiento de cómo aprovechar los residuos que quedan en el campo, ya que los agricultores no tienen claro cómo se pueden utilizar estos grandes bancos de biomasa (Morales, 2011).

Los residuos de la agroindustria azucarera (RAC) están conformados por la paja, el cogollo y las hojas verdes, los que constituyen una fuente importante de alimentación animal y de energía, también pueden pasar por un proceso de compostaje y utilizarse como biofertilizante de mieles hidrolíticas, levaduras, alcohol, pulpa y papel, furfural, tableros aglomerados y fertilizantes, entre otros. La vaina y hojas secas son ideales para utilizarse en la obtención de energía. El bagazo se utiliza como combustible, abono, alimento animal, de su fibra se obtiene celulosa, papel, cartón, explosivos o tablas. Usando la fermentación anaeróbica se obtiene metano, por hidrólisis ácida de la xilana se obtiene furfural que se utiliza para refinar aceites lubricantes y para manufacturar plásticos. A su vez, la cachaza es uno de los subproductos más importantes de los ingenios azucareros; debido a su composición química y bajo precio, es atractiva frente a productos orgánicos, llegando a ser considerada como un subproducto más que como un residuo. En Cuba, se ha demostrado que con cosechadoras forrajeras acopladas a remolques se pueden recolectar hasta el 40% de los RAC (Basanta, R. et al, 2007).

Cogollo de caña

Figura 2. Cogollo de caña de azúcar (elaboración propia)



El cogollo es la parte superior de la caña de azúcar (Fig. 2), es su parte más tierna, conformada por la porción superior del tallo con dos o tres entre nudos con yemas vegetativas y las hojas verdes (Moreno, F., 2007).

Es la parte que más se utiliza en la alimentación animal, ya sea en equinos o bovinos, debido a que tiene una importante calidad nutricional. En la Tabla 1 se muestra la composición del cogollo en base húmeda y seca respectivamente.

El cogollo de caña es un recurso muy importante que no está siendo aprovechado en México como las circunstancias ameritan, ya en otros países es utilizado como forraje aunque no como única fuente (Fernández & Gómez, C., 2010) debido al bajo nivel proteico, pero se han realizado varios estudios donde se ha suplementado con urea, gallinaza, maíz de grano, entre otros productos y

se han obtenido buenos resultados en cuanto a incrementos de peso en ganado bovino ya sea de carne, leche o de doble propósito.

Se han realizado distintos tratamientos buscando mejorar el aprovechamiento del cogollo por parte del ganado, (Ortiz-Rubio, M. et al, 2007) realizó una evaluación alimentando novillos cebú con cogollo de caña de azúcar para determinar la cantidad de nitrógeno necesaria para maximizar la ingesta y la degradabilidad del alimento. Así mismo, en otro estudio se realizó un muestreo con ovejas canuladas alimentadas con cogollo de caña suplementado con urea, maíz y king grass donde se demostró que un forraje fibroso se puede utilizar de manera eficiente mejorando las condiciones para los microorganismos ruminales (Puga, 2001).

Componente	Contenido en base húmeda	Contenido en base seca
Humedad	71.97	-
Materia seca	28.03	100
Fibra cruda	14.98	58.24
Carbohidratos	9.66	34.45
Proteína cruda	1.35	4.3
Cenizas	1.56	5.55
Extracto etéreo	0.40	1.76

Tabla 1. Composición del cogollo en base húmeda y seca respectivamente.

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales, CORPOICA. E.E. CIMPA, 2205, citado por García y col., 2007; citado por Moreno Osorio F.L., 2007.

En otro experimento evaluando la palatabilidad y el consumo del alimento, se muestrearon novillos canulados a los que se les ofreció cogollo de caña de azúcar suplementado con maíz, obteniéndose incrementos en la ingesta donde consumieron hasta 708 gramos por día (Galina, M., 2003), esto tomando en cuenta que el cogollo no recibió ningún tratamiento para incrementar su digestibilidad, sino solo haciendo una suplementación reportándose una buena respuesta por parte de los animales. En un tratamiento aplicado a corderos alimentados con cogollo de caña de azúcar, maíz y urea, y se obtuvieron buenos resultados en cuanto a la ingesta, de hasta 917 gramos diarios (Galina, M.A., 2007).

Además de haberse realizado la suplementación para favorecer la digestibilidad, se han ejecutado distintos trabajos evaluando el incremento de peso y obteniendo resultados favorables. En una evaluación alimentando novillos, se utilizó cogollo de caña y pollinaza en levante, obteniendo un incremento de peso de hasta 1000 g/animal. En otro experimento alimentando bovinos con cogollo más caña integral ensilada y un suplemento proteico se alcanzó de 800 a 1000 g/animal (Moreno, F., 2007).

En los alimentos fibrosos, se tiene una composición de celulosa, rodeada por hemicelulosa entrelazada con lignina, la cual es un polímero con una estructura base fenil-propano, compuesta de carbono, hidrógeno y oxígeno, que le proporciona estructura y rigidez a la pared celular de la planta, así como también se encarga de unir las células, reducir la permeabilidad y proteger la planta de microorganismos, ésta representa el 30% de los componentes de la planta (Chávez-Sifontes et al, 2013).

Existen tratamientos que han sido ampliamente utilizados para incrementar la digestibilidad de materiales fibrosos como pueden ser el bagazo y el cogollo de la caña, se pueden mencionar el empleo de hidróxido de calcio, hidróxido de sodio, hidrólisis térmica, explosión de vapor, amonificación, peróxido de hidrógeno, entre muchos otros, los cuales tienen como fin romper los enlaces de lignina de la fibra y permitir al ganado un mejor acceso a la celulosa. Cada tratamiento debe ser evaluado previamente en cuanto a costos y beneficios debido a los grandes volúmenes de residuos que se pueden tratar (Moiser, N. et al, 2005), y considerando que existen alternativas muy prácticas y económicas que pueden incrementar la digestibilidad de los alimentos en niveles superiores de hasta el 60%.

Es conocido que el cogollo de caña es una fuente importante de alimentación animal y considerando que en temporadas de sequía se tiene un escasez de pastos y un bajo contenido en nutrientes por la falta de agua, la utilización de este residuo agrícola representa una importante opción de forraje para todos los ganaderos que cuando llega esta etapa se ven en la necesidad de vender o dejar morir su ganado por los elevados precios del forraje. En 2006 se tuvo una pérdida de ganado fuerte ya que de un inventario de 33 millones de reses se registró una sensible reducción de más de 5 millones; frente a esta crisis se consideró aumentar la producción y productividad en la ganadería nacional, mediante más altos rendimientos y una respuesta inmediata a las inversiones. (CNC, 2014).

Conclusiones

En México se dispone de un área de oportunidad significativa en cuanto al aprovechamiento de los residuos agrícolas de la caña (RAC), pero por distintas razones se encuentra estancada la industria azucarera y con esto, las oportunidades para millones de trabajadores del sector cañero que se enfocan única y exclusivamente en la producción de caña, dejando a un lado los RAC dentro de los cuales destaca un gran volumen de cogollo que puede ser aprovechado en las temporadas de sequía por los ganaderos de la zona, ya que año tras año se vive esta crisis por la alza de precios de forrajes. La mentalidad de los agricultores tiene que ir abriéndose y dejar que tenga lugar el cambio en este sector; por consiguiente, este trabajo tiene como propósito contribuir al conocimiento de lo valiosos que pueden llegar a ser los residuos agrícolas si se manejan adecuadamente, y de lo productivo que puede ser para el ganado consumir un residuo como el cogollo de caña, que si bien no tiene un contenido proteico basto, puede ser tratado de diferentes formas a manera de incrementar su digestibilidad, posteriormente suplementado y ofrecer mejores resultados que los que se tienen con forrajes tradicionales.

Agradecimiento

Al CICATA-IPN Unidad Altamira, al Instituto Tecnológico de Altamira, a los Proyectos SIP 20140206 y SIP20151141 del IPN.

Bibliografía

- Basanta, R. & et al. (23 de febrero de 2007). Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión. *Cuerpo Académico de ciencia y tecnología agroalimentaria*. Mante, Tamaulipas, México.
- Cabrera, J., & Zuaznábar, R. (2010). Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del carbono. *Cultivos tropicales*, 31, 5-13.
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M.E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en ciencias e ingeniería*, 4.
- CNC. (04 de junio 2014). Recuperado el 10 de junio 2015, de Confederación nacional campesina: <http://www.cnc.org.mx/sequias-de-los-ultimos-anos-acabo-con-5-millones-de-cabezas-de-ganado-2/>
- CONADESUCA. (30 de mayo de 2015). *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación*. Recuperado el 10 de junio de 2015, de <http://www.conadesuca.gob.mx/>
- Costales, R., & Lois Correa, J. A. (2000). *Residuos de la cosecha*. La Habana, Cuba: Minaz.
- Crespo, H. (1988). *Historia del Azúcar en México*. México, D.F.: Centro fondo de cultura económica S.A. de C.V.
- Fernández, M., & Gómez, C. (2010). Utilización de forrajes no tradicionales: cogollo fresco de caña de azúcar en la alimentación de vacas lecheras. *Sitio argentino de producción animal*. Ferulácea, Perú.
- Galina, M., Guerrero, M., & Puga, C.D. (2007). Fattening Pelibuey lambs with sugar cane tops and corn complemented with or without slow intake urea supplement. *Small Ruminant Research*, 70, 101-109.
- Galina, M., Pérez-Gil, F., Ortiz, R.M.A., Hummel, J.D., & Orskov, R.E. (2003). Effect of slow release urea supplementation on fattening of steers fed sugar cane tops (*Saccharum officinarum*) and maize (*Zea mays*): ruminal fermentation, feed intake and digestibility. *Livestock Production Science*, 83, 1-11.
- Moiser, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y., Holtzapple, M., y otros. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 673-686.
- Morales, J. (2011). Impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación. *Universidad Veracruzana*. Orizaba, Veracruz.
- Moreno, F. (19 de octubre 2007). La caña panelera (*Saccharum officinarum*) en la alimentación del ganado. *Seminario de pastos*.
- Ortiz, H., Salgado, S., Castelán, M., & Córdova, S. (2012). Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. (A. y. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Ed.) *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 767,773.
- Ortiz-Rubio, M.A., Orskov, E., Milne, J., & Galina, H. (2007). Effecto of different sources of nitrogen on in situ degradability and feed intake of Zebu cattle fed sugarcane tops (*Saccharum officinarum*). *Animal Feed Science and Technology*, 139, 143-158.

- Puga, D., Galina, H.M., Pérez-Gil, R.F., Sanginés, G.L., Aguilera, B.A., & Haenlein, G.F.W. (2001). Effect of a controlled-release urea supplement on rumen fermentation in sheep fed a diet of sugar cane tops (*Saccharum officinarum*), corn stubble (*Zea mays*) and King grass (*Pennisetum purpureum*). *Small Ruminant Research*, 39, 269-276.
- SE. (Febrero de 2012). *Secretaría de Economía*. Recuperado el 10 de junio 2015, de Dirección general de industrias básicas:http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/Analisis_Sectorial_Mercado_Edulcorantes.pdf

Alternativas de uso de los subproductos y residuos agroindustriales

Alternative use of by-products and agroindustrial wastes

*Nadia A. Rodríguez Durán²⁹

Ma. Guadalupe Bustos Vázquez

Alfredo del Ángel del Ángel

Nubia R. Rodríguez Durán

Resumen

²⁹Unidad Académica Multidisciplinaria Mante, Blvd. Enrique Cárdenas González 1201 Col., Jardín, C.P. 89840 Cd. Mante Tamaulipas.

*Contacto: narodriguez@uat.edu.mx

La agroindustria no se limita a la producción de alimentos sino que también puede dirigirse a la producción de biocombustibles, como parte de la producción de energía renovable, o de otros productos destinados a uso cosmético o farmacéutico, entre otros. El aprovechamiento sostenible de los recursos naturales hace necesaria la búsqueda de alternativas de uso de subproductos y residuos agroindustriales, de tal manera que se obtengan productos con valor agregado y se realice la correcta gestión de los residuos. Lo que implica la exploración del uso de subproductos y residuos como insumos de procesos agroindustriales así como la investigación de procesos eficientes que permitan estas innovaciones.

Abstract

In actuality the agribusiness is not limited to food production but can also be directed to the production of biofuels, as part of the production of renewable energy, or other products for cosmetic or pharmaceutical use, among others. Sustainable use of natural resources makes it necessary to search for alternative use of by-products and agroindustrial wastes, such a way that products with added value are obtained and the proper management of waste takes place. This involves exploring the use of by-products and waste as inputs to agroindustrial processes and investigation of efficient processes that allow these innovations.

Introducción

Los procesos de transformación que se llevan a cabo como parte de la agroindustria no tienen como única finalidad la producción de alimentos, sino que también tienen una implicación no alimentaria la cual radica en la producción de biocombustibles y de otros productos no comestibles. La agroindustria requiere de materias primas biológicas que son transformadas en un producto final. Como parte de dicho proceso, también pueden obtenerse subproductos o generarse residuos de origen orgánico susceptibles de ser transformados en un producto de mayor interés comercial. Llevar a cabo procesos de transformación otorga un valor agregado a estos materiales de base biológica. Además, en ciertos casos, se reduce el efecto contaminante que pudieran generar los residuos agroindustriales,

cuando no son tratados adecuadamente, así que en ocasiones se puede considerar el aprovechamiento adecuado de dichos residuos agroindustriales como equivalente al tratamiento, con la ventaja de obtener los beneficios del producto obtenido. Por lo que en esta revisión se plantea la situación actual de la agroindustria, la diferencia entre lo que se considera producto, subproducto y residuo así como las alternativas de uso de los subproductos y residuos agroindustriales de manera que se contribuya al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales recurriendo a la innovación en el sector agroindustrial.

Situación actual de la agroindustria

De manera general se puede definir a la agroindustria como la rama de la industria que transforma los productos de la agricultura, ganadería, acuicultura, riqueza forestal y pesca en productos elaborados, también se puede definir como la subserie de actividades de manufacturación mediante las cuales se elaboran materias primas y productos intermedios derivados del sector agrícola, por lo que la agroindustria significa así la transformación de productos procedentes de la agricultura, la actividad forestal y la pesca. Sin embargo, no sólo consiste en la transformación de materia prima proveniente del sector agropecuario, acuícola y forestal a productos sino que para ello son necesarios el manejo postcosecha, la conservación y el procesamiento a distintos niveles tecnológicos para obtener productos que puedan ser comercializados en el mercado nacional e internacional. La agroindustria es una actividad económica que combina básicamente el proceso productivo agrícola con el industrial para producir alimentos o materias primas semielaboradas destinadas al mercado y dentro de una operación rentable. En dicho proceso la agricultura y la industria pueden alcanzar integraciones verticales y horizontales y llegar hasta la integración con los procesos de comercialización y provisión de insumos (FAO, 1997; OEEE, 2012; Zapata, 2001).

Existen diversos criterios para clasificar a las agroindustrias, entre otros pueden considerarse el capital de inversión, calidad y número de empleados, nivel de tecnología, cantidad de materia prima transformada, volúmenes de producción, ventas y beneficios; así como también según su localización regional (OEEE, 2012).

La producción agropecuaria era destinada a la alimentación de manera tradicional, en la actualidad ya no es así ya que la producción primaria consiste en un conjunto de insumos de base biológica que pueden ser destinados a diversos usos cada vez más relacionados con varias industrias: alimentos, biocombustibles y biofábricas (Kosacoff y Mercado, 2009).

Ahora existen nuevas demandas de insumos y bienes finales de base biológica, ya que además de proveer a la industria alimentaria, de manera simultánea, estos insumos son requeridos para otras industrias tales como la de biocombustibles y las biofábricas. Estas producciones han sufrido, durante las últimas décadas, un proceso de creciente desplazamiento de sus demandas debido, principalmente, al desarrollo de economías de tamaño considerable e ingreso creciente, como la China, la India, algunos países africanos y la de Europa del Este, que sobre la base de su crecimiento han impulsado tanto los niveles como la composición de sus consumos alimentarios. Dicho desplazamiento

también se debe a la nueva demanda de combustibles provenientes de fuentes renovables y al creciente uso de la biomasa destinada a la producción de insumos industriales, que anteriormente provenían del cracking del petróleo (Kosacoff y Mercado, 2009). Por lo que la agroindustria puede considerarse de dos clases, la alimentaria, que consiste en la transformación de los productos del sector primario en productos para consumo alimenticio, y la no alimentaria, que es la transformación de los recursos naturales para la elaboración de diversos productos industriales que no tienen la finalidad de utilizarse como alimento.

La elaboración es sólo un eslabón de la cadena continua entre la producción de la materia prima y el consumo final. La especificidad de la agroindustria con respecto a otros sectores industriales consiste en gran medida en el carácter biológico de la materia prima. La agroindustria, de forma generalizada, utiliza insumos cuya producción está sujeta a tiempos biológicos, no totalmente controlados por el hombre a la vez de que la calidad del producto final depende de la calidad de la materia prima que responde a un sinnúmero de variables que suelen escapar al control del productor. Estos aspectos plantean exigencias especiales tanto en lo que respecta a la organización de las actividades agroindustriales como a la base agrícola que produce los insumos, lo que acentúa aún más la necesidad de una integración estrecha de la producción de la materia prima y la elaboración. En alimentos, el consumidor final “forma” su demanda en función de gustos que reflejan aspectos culturales y sociales, con costumbres específicas de cada segmento social y territorial, y los mismos no siempre responden a parámetros técnicos objetivos. De allí deviene la precondition de “ajustar” el producto final de la cadena a demandas naturalmente segmentadas (FAO, 1997; Kosacoff y Mercado, 2009).

En el contexto actual de la globalización, la agroindustria constituye un sector en el cual las diversas etapas de producción, transformación, distribución, financiamiento, investigación y desarrollo están organizadas a escala internacional. La agroindustria en general, de acuerdo con las tendencias mundiales futuras, se orienta en el sentido de asumir parcialmente la responsabilidad del cuidado y mantenimiento del medio ambiente, además de los valores culturales y éticos de la sociedad (Zapata, 2001).

En México, la agroindustria es considerada una de las actividades económicas que consume la mayor parte de la producción agropecuaria y brinda una oferta importante de productos alimentarios, bebidas, materias primas y productos semi-elaborados en el país (FAO, 2009).

Subproductos y residuos de la agroindustria

Los insumos naturales, los productos finales y los procesos técnicos tienen una alta variabilidad en sus parámetros técnicos, lo que permite tener una amplia diversidad en el sector agroindustrial. Un aumento de la producción primaria de productos agropecuarios no se traduce en más ofertas de alimentos disponibles y/o de materia prima industrial debido a que existe una larga serie de pasos de transformación industrial, acondicionamiento, concentración, transporte, logística y comercialización, que tiene lugar hasta llegar a los consumidores (Kosacoff y Mercado, 2009). Puede darse el caso de que parte de los productos agropecuarios no sean adecuados para su consumo directo como alimentos

frescos o para ser utilizados como materia prima en la agroindustria alimentaria, sin embargo su composición química podría permitir su uso en un proceso de la agroindustria no alimentaria.

Un proceso agroindustrial está orientado a obtener un producto final o intermedio, en donde las materias primas e insumos pierden sus propiedades y características para transformarse y formar parte del producto en cuestión. También se pueden generar subproductos, es decir, productos de carácter secundario obtenidos como resultado de los procesos de transformación de la materia prima en una línea de producción orientada a generar un determinado producto final (OEEE, 2012).

En la agroindustria, además de productos y subproductos, también se pueden obtener residuos. A pesar de que los residuos agropecuarios y agroindustriales se obtengan en volúmenes elevados sólo una parte pequeña sería aprovechable para energía debido a la ausencia de tecnología adecuada, o a los costos, para la recolección y el transporte. Existen, sin embargo, diversos estudios analizando el potencial de residuos agrícolas para producción de biocombustibles, considerando aspectos de logística y uso actual, es decir, si ya son normalmente retirados del campo, si una parte es necesaria como cobertura de suelo, cuál es su proximidad a las plantas agroindustriales, perecibilidad, además de su producción y características físico-químicas (Machado, 2010).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, define a los residuos como aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no alcanzan, en el contexto que son producidas, ningún valor económico; ello puede ser debido tanto a la falta de tecnología adecuada para su aprovechamiento como a la inexistencia de un mercado para los productos recuperados. Los residuos agrícolas son todo aquel material sobrante o desperdiable generado en un establecimiento agropecuario. En términos sintéticos, puede definirse un residuo como todo un resto o material resultante de un proceso de producción, transformación o utilización que resulte abandonado o que su poseedor o productor decida abandonar. La definición se puede centrar en la utilidad negativa inherente al residuo que es lo que conduce al poseedor o productor del bien a abandonarlo parcial o totalmente. Por tanto, para que un bien o parte de él sea considerado individualmente o socialmente como un residuo, basta que la cantidad demandada para su aprovechamiento sea nula o negativa. Para la clasificación de los residuos, se consideran entre otros parámetros el origen o actividad emisora, toxicidad y peligrosidad, tamaño, naturaleza química de los materiales emisores, parámetros físico-químicos en general. La clasificación por la naturaleza química permite establecer dos categorías de residuos: residuos inorgánicos o abiógenos y residuos orgánicos o biógenos. Como residuos inorgánicos se incluye todos aquellos residuos de origen mineral y sustancias o compuestos sintetizados por el hombre. Como residuos orgánicos se refiere a todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Incluye una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente durante el “ciclo vital”, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación o son producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos. Existe una gran diversidad de residuos generados en la actividad agroindustrial. Las características cuantitativas

y cualitativas de los mismos dependen de numerosos factores, entre otros: características de las materias primas; procesos de industrialización; intensidad de la producción; características de los productos obtenidos. Muchos residuos de las actividades agroindustriales son reutilizados a través de alternativas que se aplican desde hace ya algunos años, con menos o mayor grado de eficacia. Para otros residuos agroindustriales aún no existen alternativas de transformación en insumos útiles dentro de un marco económico viable (Aymerich, 2000; Sztern y Pravia, 1999).

Aprovechamiento sostenible e innovación

Desde el punto de vista de una estrategia de desarrollo, una de las características más importantes de toda industria es la medida en que pueda generar una demanda de productos de otras industrias. Se designa este fenómeno con el nombre de concatenación. Una industria puede estimular la inversión tanto en las fases subsiguientes de producción mediante una concatenación progresiva, como en las etapas precedentes mediante una concatenación regresiva. La creación de determinadas industrias de elaboración primaria puede provocar, mediante una concatenación progresiva, el establecimiento de una serie de industrias más avanzadas (FAO, 1997).

El desarrollo de agroindustrias tiene también muchos efectos benéficos que retornan a la misma agricultura. El más directo de ellos es el estímulo para incrementar la producción agrícola mediante la expansión del mercado. En muchos casos, el establecimiento de instalaciones de elaboración es por sí mismo un primer paso fundamental para estimular tanto la demanda de productos elaborados por parte de los consumidores como una oferta suficiente de materias primas (FAO, 1997).

La capacidad de la agroindustria para generar demanda y empleo en otras industrias es también importante a causa de su potencial creciente de activar concatenaciones colaterales, es decir, concatenaciones que derivan de la utilización de subproductos o residuos de la principal actividad industrial. Por ejemplo, las industrias de piensos pueden utilizar varios subproductos agroindustriales, como suero, tortas oleaginosas prensadas y harina de sangre, canales y huesos. Además, muchas industrias que utilizan materias primas agrícolas producen residuos que pueden emplearse como combustible, pasta para papel o fertilizante. El reciclaje y la agricultura biológica son dos actividades paralelas y responden a la idea de una explotación sostenible de los recursos naturales en un contexto de eficiencia industrial (FAO, 1997).

Sin embargo, pese a su importante contribución al desarrollo agrícola y general, la agroindustria puede tener también efectos colaterales perjudiciales para el medio ambiente. Sin un control, la agroindustria, lo mismo que las demás industrias, puede crear contaminación ambiental o riesgos ecológicos en distintas formas: descarga de residuos orgánicos o peligrosos en los suministros hídricos; emisión de polvo o gases que empeoran la calidad del aire y producen sustancias tóxicas; y la utilización de maquinaria peligrosa para la seguridad y salud de los trabajadores. Los riesgos y peligros causados por la contaminación agroindustrial pueden ser muy graves y percibirse inmediatamente, ya que tales industrias tienden a concentrarse en zonas urbanas y periurbanas. La mala gestión supone

un problema medioambiental, que origina un deterioro progresivo y acumulativo del entorno, lo que puede constituir, en ciertos casos, un problema de higiene pública. Entre las formas incorrectas de gestión destacan las siguientes: la quema indiscriminada de residuos, una práctica habitual que provoca emisiones de gases tóxicos a la atmósfera; el abandono de los restos en el campo, especialmente los vegetales, es una práctica no recomendable, ya que supone un riesgo de propagación de plagas y enfermedades. Además atrae a roedores e insectos; el vertido de los residuos, y aún más, de los productos fitosanitarios, provoca la contaminación de los suelos, de las aguas superficiales y de los acuíferos por lixiviados, de manera irreparable; el abandono de los residuos metálicos que, en caso de contener mercurio, plomo o cromo, contaminan igualmente los recursos naturales, además de constituir un riesgo de accidentes para las personas. Por si eso fuera poco, los olores son también un problema derivado de la mala gestión de residuos, todas estas prácticas ponen en riesgo la salud de las personas, de los animales y del medio que nos rodea. Es responsabilidad del poseedor de los residuos costear su correcta gestión (Barres, 2012; FAO, 1997). Como parte de la gestión de los residuos agroindustriales se puede establecer su aprovechamiento para lo cual se debe realizar la investigación pertinente de tal manera que se haga uso de dicho material de forma responsable con el medio ambiente a la vez de obtener un producto que tenga demanda, y de esta manera el residuo se considera el insumo para un proceso agroindustrial.

La búsqueda de alternativas de uso de subproductos y residuos, para obtener productos con valor agregado que permitan el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, propicia la innovación en la agroindustria. La innovación genera grandes beneficios para los actores involucrados: para los consumidores, la innovación se traduce en mejores productos y servicios, en términos de calidad, diseño, precio y eficiencia; para las empresas, la innovación trae como resultado una mayor rentabilidad derivada de la posibilidad de diseñar y producir nuevos o mejores bienes y servicios o de utilizar técnicas productivas más eficientes que las de sus competidores. Asimismo, aquellas empresas que generan capacidades permanentes de innovar cuentan con el conocimiento necesario para dar respuesta rápida y eficaz a las oportunidades de la globalización, así como responder eficientemente a las amenazas competitivas de sus rivales y del entorno. Todo ello se traduce en la posibilidad de crecer sostenidamente. Para la sociedad, la innovación genera nuevo conocimiento y soluciones a problemas relacionados con la salud, el medio ambiente, la pobreza, la seguridad, entre otros, además de lograr un crecimiento económico sostenido al estar sustentado en mejoras en productividad (Comité Intersectorial para la Innovación, 2011).

Alternativas de uso

Tanto los subproductos como los residuos de la agroindustria pueden ser usados como materias primas o insumos en diversos procesos industriales. Aunque ciertos residuos agroindustriales pueden ser abiógenos la mayoría serán biógenos debido a la naturaleza orgánica de las materias primas empleadas en el proceso agroindustrial. Considerando lo anterior, es importante conocer la composición química de dichos subproductos y residuos agroindustriales así como también

saber en cual etapa del proceso se obtienen, esto para tener nociones de si sería seguro su uso en producto para consumo humano o animal o si definitivamente debe ser empleado para elaborar productos no destinados para consumo.

En el caso de los subproductos, por lo general, lo que se busca es darles valor agregado de tal manera que la demanda del nuevo producto sea mayor que la del subproducto tal cual se obtiene del proceso agroindustrial. En cuanto a los residuos agroindustriales, lo principal es que reciba el tratamiento adecuado para que su impacto en el medio ambiente sea menor o nulo, aunque también está la opción de procesarlo para obtener un producto con demanda comercial y que de esta forma deje de ser un residuo para convertirse en un insumo, o incluso la reutilización en la misma agroindustria.

Debido a que son diversas las posibilidades para la recuperación, reutilización y/o transformación de los residuos en insumos útiles a los sectores productivos, la decisión debe tomarse en la medida que las alternativas surjan como consecuencia de un diagnóstico objetivo de la problemática ambiental de cada sector. Las alternativas seleccionadas deben ser adecuadas técnicamente a las características locales, viables económicamente y sustentables ecológicamente. Sobre estas bases es posible validar, adecuar y promover tecnologías de alternativa que representen una solución efectiva y ajustada a cada realidad (Sztern y Pravia, 1999).

Una alternativa es la de usar a los residuos como fuente de energía lo cual representa el uso de combustibles no fósiles, renovables y menos contaminantes. Los residuos de origen biógeno presentan una composición que se caracteriza por el predominio de macromoléculas orgánicas con un alto potencial energético almacenado como energía química de enlace. Si artificialmente degradamos estas macromoléculas rompiendo estos enlaces, es posible liberar la energía química de enlace. Se le denomina biomasa a los recursos de origen biógeno que se usan como fuente de energía, es decir, la biomasa incluye toda materia orgánica de origen vegetal o animal, incluso los materiales procedentes de su transformación natural o artificial que pueden ser utilizados como combustible. En ciertos casos es necesario contar con los procedimientos técnicos que permitan la transformación de la energía contenida en la biomasa en formas de energía compatible con los equipamientos existentes, diseñados para el consumo de combustibles derivados de hidrocarburos. Entre estos procesos se encuentran los procesos bioquímicos en los cuales se ubica la biodigestión anaerobia y la fermentación alcohólica de los que se obtiene biogás y bioetanol, respectivamente. El término biocombustible se refiere a combustibles líquidos o gaseosos para el sector de transporte que son predominantemente producidos por la biomasa. Cuando se busca determinada disponibilidad de biomasa energética en un país o región, es importante considerar las restricciones de orden ecológica, económica y tecnológica. Las restricciones ecológicas están asociadas a la preservación del medio ambiente y a la calidad de vida. Las limitaciones económicas implican saber si la biomasa a ser explorada energéticamente no tiene otros usos más económicos como el industrial o alimenticio, pero también si todos los costos de la biomasa explotada son compatibles con los beneficios energéticos y comparables con los demás combustibles. Finalmente, las restricciones tecnológicas se deben a la existencia o no de procesos confiables y operaciones para conversión de la biomasa en combustibles de uso más general (Machado, 2010; Sztern y Pravia, 1999).

Una clasificación de los biocombustibles es la de “generaciones de biocombustibles”, donde en general, la principal distinción consiste en la materia prima utilizada y los avances tecnológicos necesarios para obtenerlos. Los biocombustibles de primera generación son producidos de azúcar, amida y aceites de una parte específica de plantas tradicionales como caña de azúcar, trigo, maíz, palma aceitera y soya. En este grupo se encuentran el etanol y biodiesel los cuales ya son producidos y comercializados en cantidades significativas por diversos países sin embargo lo que preocupa es lo referente al uso de la tierra. Los biocombustibles de segunda generación, también llamados biocombustibles celulósicos, son producidos de materias primas no alimentarias como residuos agroindustriales y gramíneas forrajeras de alta producción de biomasa. Su producción es significativamente más compleja y todavía no son comercializados, ya existen tecnologías para una conversión de biomasa celulósica a biocombustibles pero todavía no son aplicadas en producción de gran escala. Los biocombustibles de tercera generación son producidos a partir de la materia prima modificada genéticamente de modo que facilita los procesos subsecuentes. Los agentes de conversión, tales como microorganismos o algas, también son modificados genéticamente para que el proceso sea más eficiente (Machado, 2010).

Además de la producción de biocombustibles, otras alternativas de uso de los subproductos y residuos agroindustriales son la producción de alimentos con valor agregado, aditivos alimentarios, alimentos para animales, productos farmacéuticos o cosméticos. Ejemplos de estas alternativas son el uso de cáscara y sobrantes de pulpa, de melón mínimamente procesado, para la elaboración de mermelada y jalea, las cuales obtuvieron aceptabilidad sensorial (Almeida et al., 2008); la elaboración de barras utilizando el residuo del extracto de soja, nueces pequi, arroz partido y residuos de piña (Paolucci et al., 2012); también se ha evaluado el efecto de agregar fibra de acaí y glicerol en las propiedades física, físico-químicas y sensoriales de galletas (Lima et al., 2014); se han obtenido aditivos alimentarios mediante fermentaciones como por ejemplo la producción de xilitol a partir de hidrolizados del bagazo de marañón fermentados por la cepa *Kluyveromyces marxianus* CCA510 (Lima et al., 2015); también se ha estudiado el potencial de uso del bagazo de yuca fermentada por *Rhizopus spp.* como alimento para animales (Sriherwanto et al., 2009).

La industria azucarera es un ejemplo de agroindustria que explora las alternativas de uso de sus subproductos y residuos, su materia prima es la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*, L.) y el producto final es el azúcar, destinada al consumo humano. Adicionalmente puede producir mieles finales para consumo animal, energía eléctrica, biocombustibles como el etanol y el biogás, así como diversos derivados con alto valor agregado como los aditivos alimentarios obtenidos por vía biotecnológica. La agroindustria de la caña de azúcar puede y debe ayudar a enfrentar en un futuro inmediato tres importantes desafíos que hoy enfrenta la humanidad los cuales son la producción de alimentos, el déficit energético y la preservación del medio ambiente (Nova, 2007).

Conclusiones

El desarrollo de la tecnología para el aprovechamiento de los subproductos y los residuos agroindustriales para la obtención de productos con valor agregado requiere de un proceso de investigación de tal manera que se realice de forma eficiente y de acuerdo a las necesidades detectadas en el sector que corresponda. La innovación en la agroindustria beneficia tanto al consumidor como a la empresa y permite dar solución a problemas tanto alimentarios, como sociales, económicos y ambientales.

Bibliografía

- Almeida M. & et al. 2008. Aproveitamento agroindustrial de resíduos sólidos provenientes do melão minimamente procesado. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 28(3): 733-737.
- Aymerich, S., 2000. Tratamiento de residuos lácteos. Consejo Nacional de Producción.
- Barres, T., 2012. Producción y consumo sostenibles y residuos agrarios. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España.
- Comité Intersectorial para la Innovación, 2011. Programa Nacional de Innovación. Gobierno de México.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 1997. Parte III La agroindustria y el desarrollo económico. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 1997. Colección FAO: Agricultura, N° 30.
- _____ 2009. La FAO en México. Más de 60 años de cooperación. Representación en México.
- Kosacoff, B. y Mercado, R., 2009. Capítulo IV Cadenas de valor en la agroindustria. La Argentina ante la nueva internacionalización de la producción: crisis y oportunidades. Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL / Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD.
- Lima de Albuquerque, Tiago; Luncindo Gomes, Sandy Danielle; Marques Jr., José Edvan; da Silva Jr., Ivanildo José; Ponte Rocha, María Valderez, 2015. Xylitol production from cashew apple bagasse by *Kluyveromyces marxianus* CCA510. *Catalysis Today* 255 (2015) 33–40.
- Lima, H. & et al. 2014. Use of agroindustrial wastes (açai fiber and glycerol) in the preparation of cookies. *J Food Sci Technol* (July 2015) 52 (7):4593–4599.
- Machado, C. M. M., 2010. Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Nova, A., 2007. La producción de alimentos, la bioenergía y las exportaciones de la agroindustria cañera, una decisión estratégica para la economía cubana. *Cuba Siglo XXI*. Número LXXIX - Agosto 2007.
- OEEE, Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos, 2012. Capítulo XIII.

- Estadística Agroindustrial. Lineamientos Metodológicos de la Actividad Estadística (SIEA-OEEE). Servicios Generales-UL-OA-MINAG.
- Paolucci Paiva, A. & et al., 2012. Characterization of food bars manufactured with agroindustrial by-products and waste. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 36, n. 3, p. 333-340.
- Sriherwanto, C.; Koob, C.; Bisping, B., 2009. Cassava bagasse fermented by *Rhizopus* spp. for potential use as animal feed. *New Biotechnology*. Volume 25S.
- Sztern, D. y Pravia, M. A., 1999. Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud; Uruguay. Oficina de Planeamiento y Presupuesto. Unidad de Desarrollo Municipal. Montevideo. UY. OPS.
- Zapata, S., 2001. Posibilidades y potencialidad de la agroindustria en el Perú en base a la biodiversidad y los bionegocios. Comité biocomercio Perú.

Influencia de la composición y arreglo de los electrodos en el proceso de formación de biope- lículas en celdas de combustible microbiano

Electrode composition and arrangement influence in the process of biofilm formation in microbial fuel cells

*Arturo Salinas Martínez³⁰

*Liliana Reynoso Cuevas³¹

*Miguel Ángel López Zavala³²

Resumen

³⁰Universidad Politécnica de Guanajuato. Ingeniería Agroindustrial. Av. Universidad Norte S/N. Localidad Juan Alonso. C.P. 38483. Cortázar, Gto. *Contacto: asalinasm@upgto.edu.mx

³¹Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. CIMAV Unidad Durango. Victoria 147 Nte., Zona Centro. C.P. 34000. Durango, Dgo. *Contacto: liliana.reynoso@cimav.edu.mx

³²Instituto Tecnológico de Monterrey, Centro del Agua para Latinoamérica y el Caribe, Campus Monterrey. Eugenio Garza Sada 2501. Monterrey, N.L. C.P. 64849. *Contacto: miguel.lopez@itesm.mx

Las celdas de combustible microbiano se han estudiado y desarrollado en años recientes como una alternativa para enfrentar la creciente problemática del tratamiento de aguas residuales, su posible reúso y aprovechamiento para la generación de electricidad. Mediante estos dispositivos, los sistemas biológicos remueven los contaminantes manteniendo el ecosistema y disminuyendo los costos de tratamiento. Biotecnológicamente hablando, las aguas residuales son ricas en todo tipo de compuestos que permiten sostener el metabolismo de una amplia variedad de microorganismos generando un proceso depurativo eficaz si se proveen las condiciones de operación necesarias en los reactores. La biomasa microbiana producida, permite la extracción de metabolitos secundarios aprovechables como materia prima en la industria agrícola y como fuente alternativa de energía. Las celdas de combustible microbiano pueden emplearse como un reactor para el tratamiento de aguas residuales y, mediante la degradación microbiana de la materia orgánica, generar productos de interés tales como H₂ y electricidad. El desarrollo de proyectos con esta tecnología ha demostrado su factibilidad de implementación en pequeña escala a la vez que ha manifestado que tanto el diseño de los electrodos, así como su disposición en el reactor, son puntos críticos para el éxito de este proceso.

Abstract

In recent years, microbial fuel cells have been studied and developed as an alternative to face the rising problem of wastewater treatment, their possible reclaim and use for electricity generation. Through these devices, biological systems should remove contaminants, preserve the ecosystem and decrease the treatment costs. Biotechnologically speaking, wastewater are rich in a wide variety of compounds that could sustain the metabolism of a diversity of microorganisms generating an effective purifying process if required operating conditions in the reactors are provided. Microbial biomass produced allow the extraction of secondary metabolites, which may be useful as raw material in the agricultural industry and as an alternative energy source. Microbial fuel cells could be used as a treating reactor for wastewater by the natural microbial

activity for organic matter degradation and generate products of interest, such as H_2 and electricity. The wide variety of projects that use this technology has demonstrated its feasibility of implemented at small-scale and has shown that the design of the electrodes, and their arrangement in the reactor, are critical to the success of this process.

Introducción

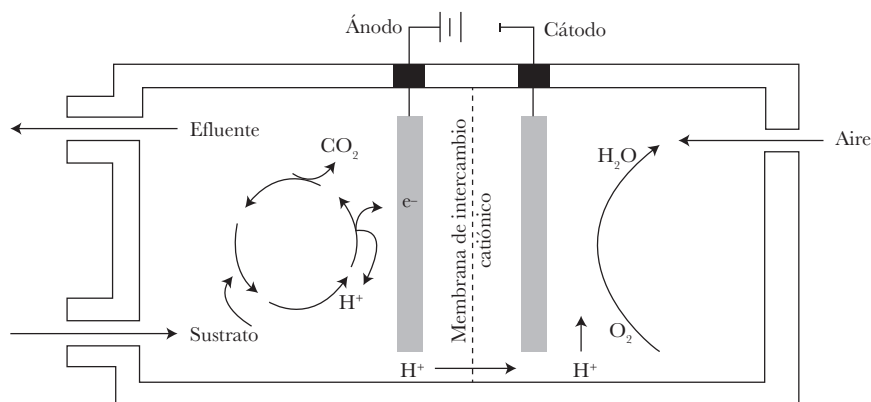
En años recientes se han desarrollado procesos biotecnológicos que ofrecen una solución a los desequilibrios provocados por las actividades destinadas a satisfacer las necesidades humanas en nuestros distintos ecosistemas.

Una de las estrategias de remediación ambiental que ha adquirido gran importancia dentro de los grupos de investigación a nivel internacional es la implementación de celdas de combustible microbiano (MFC, por sus siglas en inglés *Microbial Fuel Cells*). Esto puede definirse como un sistema de actividad eléctrica de ciertos microorganismos ocasionada bioquímicamente por los procesos de degradación de la materia orgánica en ambientes anaerobios (Jung y Regan, 2007). Esta tecnología representa un nuevo acercamiento a lo que se conoce como *bioelectricidad*.

Desde la primera década de mil novecientos se conoce que ciertos microbios pueden producir electricidad en ambientes muy particulares, aunque no fue sino hasta los años 90 cuando se comenzó a tener avances significativos al generar información sobre los mecanismos biológicos que la ocasionan (Logan, 2008). El proceso pudiera ser descrito como la liberación de los electrones, un proceso de degradación, mismos que deben ser capturados por un aceptor de electrones como el oxígeno, el nitrato o el sulfato que pueden ser movilizados al interior de la célula donde capturan los electrones formando productos que pueden excretarse. Se ha observado que algunos microorganismos poseen la capacidad para excretar los electrones producidos durante los procesos de oxidación sin necesidad de mediadores, proceso conocido como electrógenesis (Du, et al., 2011). Este proceso de transferencia electrónica puede verse como una extensión de su metabolismo hacia un sustrato insoluble tales como los óxidos de hierro o manganeso (Nealson y Finkel, 2011).

Las MFC que se utilizan para realizar estudios a escala laboratorio poseen una configuración simple con frecuencia. En la Figura 1 puede observarse que el proceso electrogénico se realiza en la cámara anóxica donde los microorganismos se encuentran en continua exposición con un sustrato rico en materia orgánica, de esta forma, como parte natural de los procesos catabólicos se produce una emisión de electrones y protones de hidrógeno, estos últimos suelen ser capturados por mediadores metabólicos para emplearse en los distintos procesos bioquímicos de la célula. En algunos sistemas dichos protones pueden ser movilizados a través de membranas hacia otra cámara (catódica) donde son atrapados por distintos tipos de iones complementarios (principalmente el oxígeno), de forma simultánea, los electrones liberados pueden ser movilizados por transportadores electrónicos hacia el electrodo, el cual se encuentra conectado mediante un circuito eléctrico a un segundo electrodo a la cámara catódica cerrando el circuito mediante el flujo de electrones.

Figura 1. Celda de combustible microbiano.



La promesa del éxito en la implementación de las MFC se basa en el aprovechamiento de desperdicios ricos en materia orgánica para su transformación en algún tipo de producto beneficioso para la sociedad. La opción más atractiva y más difundida en los grupos de investigación, es aquella relacionada con la implementación de ésta tecnología empleando como sustrato aguas residuales, debido a que los procesos de tratamiento para las diferentes composiciones de agua residual, consideradas como un desperdicio y una inversión económica no redituable comercialmente hablando, y este hecho ofrece un nicho de oportunidad para el desarrollo en la aplicabilidad tecnológica con el valor agregado de la producción de una energía renovable (Logan y Regan, 2006). En el acervo bibliográfico internacional puede encontrarse una gran variedad de testimonios científicos que constatan la amplísima variedad de estudios realizados en este campo.

Tabla 1. Listado de estudios de tratamiento de agua residual por sistemas bioelectroquímicos en celdas de combustible microbiano. Fuente: (Mohanakrishna, et al., 2015)

Tipo de agua residual	Configuración de la MFC	Eficiencia del tratamiento (evaluando Carbono y Nitrógeno total) del agua residual (%)
Doméstica	Una cámara	66.7
Doméstica	Dos cámaras	85
Industria láctea	Una cámara	95.5
Industria láctea	Dos cámaras	90
Industria chocolatera	Una cámara	95.5
Industria de cereales	Dos cámaras	95
Industria quesera	Dos cámaras	59 +- 9
Industria recicladora de papel	Una cámara	51
Industria cervecera	Una cámara	87
Destiladoras	Una cámara	72.8
Rastro ganadero	Dos cámaras	93
Rastro ganadero	Una cámara	85.8

La Tabla 1 muestra un resumen de algunos de los trabajos de investigación realizados en este campo.

Una segunda vertiente en la aplicación de las MFC se relaciona con la inminente crisis energética, principalmente con el exceso en el uso de los combustibles no renovables, por lo que las MFC, además de su atractivo por el aporte de bioelectricidad y su capacidad para producir hidrógeno a partir de procesos que remueven contaminantes del ecosistema, suelen presentar el valor agregado de disminuir los costos de operación (Karmakar et. al., 2010; Yang et. al., 2012) derivados de la producción de electricidad y el empleo de un sustrato considerado como un desecho. Es importante considerar que para que en una MFC se produzca hidrógeno, se debe suprimir el oxígeno como aceptor de electrones (Du et. al., 2007).

Puntos críticos en la construcción y operación de las celdas de combustible microbiano

Existen muchos proyectos enfocados a investigar el desarrollo de las MFC, escala laboratorio y gracias a estos trabajos se han podido llevar a cabo mejoras con relación a las condiciones de operación y los materiales principalmente, pero es un hecho fehaciente que su implementación a escala comercial, no ha podido realizarse debido a la baja producción eléctrica, así como a los altos costos de materiales tales como los electrodos y su manutención (Wei et. al., 2011). De esta forma, si se pretende poner en marcha este tipo de sistemas, debe ser considerado en el escalamiento, tanto el diseño del electrodo, como los materiales que lo constituyan, considerando cuatro características básicas: conducción eléctrica, estabilidad química, resistencia mecánica y bajo costo (Kim et. al., 2015).

Electrodos

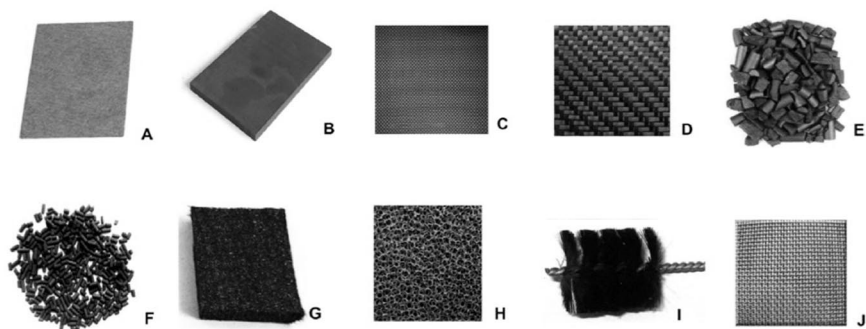


Figura 2. Distintos materiales utilizados como electrodo en las MFC: (A) papel carbón; (B) placa de grafito; (C) tela de carbón; (D) malla de carbón; (E) grafito granulado; (F) carbón activado granular; (G) fieltro de carbón; (H) carbón reticulado vitrificado; (I) cepillos de fibra de grafito; (J) malla de acero inoxidable. Fuente: (Wei et. al., 2011).

Al ser los electrodos una parte fundamental en el funcionamiento de las MFC, se han efectuado diversos estudios empleando distintos materiales metálicos y no metálicos, siendo los más usados metales no corrosivos como el acero inoxidable, el platino y el oro. Pero además de sus altos costos de implementación a escala comercial, debe observarse que los electrodos metálicos poseen superficies más lisas que los materiales no metálicos, por lo que no facilitan la adhesión microbiana, dando como consecuencia densidades microbianas menores (Du et. al., 2007). Por las razones antes mencionadas, se ha desarrollado una búsqueda de una amplia variedad de materiales basados en el carbono, dando como resultado que éstos sean los más frecuentemente utilizados, principalmente por su biocompatibilidad, estabilidad química, alta conductividad y bajos costos

en comparación con los metálicos (Chen et. al., 2015). Existe una gama de materiales empleada para determinar la mejor relación entre costo de inversión y la eficiencia energética de la MFC de los materiales usados como electrodo. En la Figura 2 se puede observar la variedad de los materiales de carbono comúnmente utilizados.

Biopelículas

Las biopelículas constituyen una forma de vida alternativa que adoptan algunos microorganismos procariotas en la cual un comportamiento de tipo multicelular les provee una ventaja de supervivencia en ambientes específicos. Este comportamiento “multicelular” permite a la comunidad microbiana adherirse a una superficie que en la que podrán desarrollar un nuevo papel ecológico en el ambiente (Kostakioti et. al., 2013). El desarrollo de biopelículas bacterianas en los electrodos de las MFC es lo que permite que se lleve a cabo la transferencia de electrones. En este proceso los microorganismos pueden bombear eficientemente los electrones al exterior de la célula hacia un aceptor de electrones, como el ánodo (Read et. al., 2010). Debido a lo antes mencionado, en la última década se han desarrollado una amplísima variedad de investigaciones en las que se intenta determinar cómo influye la formación y evolución de las películas microbianas en la eficiencia de producción eléctrica de las MFC. Ramasamy et al., (2008) reportan haber encontrado que el desarrollo de las películas microbianas reduce la resistencia eléctrica del material que constituye el electrodo y facilita el desarrollo de las reacciones electroquímicas, tanto para el ánodo como en el medio circundante (en ausencia de un ánodo como aceptor de electrones), lo que promueve un aumento en la capacidad de obtención de energía eléctrica en la MFC, así mismo, Zhang et al., (2011) dilucidaron el efecto de la resistencia en la transmisión eléctrica y cómo influye en las características ecológicas con las que se desarrollan las biopelículas en los ánodos, denotando que a mayor resistencia en la MFC la composición morfológica de la biopelícula será más compacta, por lo que cuando existe una menor resistencia, esta estructura morfológica posee mejores características en cuanto a los fenómenos de transporte, tanto para la renovación de los sustratos, como para la liberación de los protones formados, dando como resultado una mejor conductividad eléctrica entre la biopelícula y el electrodo. Recientemente, Baranitharan et al., (2015) corroboraron el efecto del desarrollo de las biopelículas sobre la producción de electricidad en una MFC y observaron mediante un análisis de espectroscopía de impedancia electroquímica que existe una relación directamente proporcional sobre la cantidad de energía que se produce y la evolución de la biopelícula sobre el electrodo, registrando además, durante un periodo de 15 días, el proceso de sucesión ecológica que ocurre en el ánodo empleando análisis electroforéticos en geles con condiciones desnaturalizantes.

Los factores que pueden influir sobre la eficiencia de una MFC en términos de la cantidad de energía que puede producir y/o el porcentaje del abatimiento de los sustratos empleados para alimentarla son el material de que esté compuesto el electrodo y la forma que la que se desarrolle la biopelícula sobre el mismo. Por lo que para poder estudiar este proceso se debe realizar una evaluación de la composición y estructura de la biopelícula en el ánodo,

preferentemente registrando el fenómeno de sucesión ecológica que se desarrolla como parte de la evolución natural del proceso de colonización del electrodo. Aunado a estos dos puntos críticos del funcionamiento de las MFC, muchos grupos de investigación se encuentran analizando la relación que existe al emplear en los reactores una configuración de una sola cámara (anódica) o de dos cámaras (anódica y catódica) durante el proceso electrogénico, considerando además la configuración de los electrodos en los sistemas bioelectrogénicos principalmente cuando se emplea agua residual como sustrato en la MFC (Babauta et. al., 2012).

Configuración de los electrodos en las celdas de combustible microbiano

Para poder aprovechar la capacidad metabólica de los microorganismos electrogénicos en la degradación de la materia orgánica, así como la liberación de los electrones, la comunidad científica ha prestado gran atención al funcionamiento de las MFC. Sin embargo, una de las limitantes de las MFC para su implementación a gran escala es la eficiencia del sistema. En numerosos estudios se han empleado distintas configuraciones (una o dos cámaras) de las MFC, se han utilizado distintos tiempos de aclimatación del inóculo para optimizar el proceso de oxidación, así como el uso de materiales de bajo costo en la construcción de la membrana de intercambio catiónico y los electrodos (Ahn y Logan 2012).

Se sabe que el material de los electrodos, el método de construcción y su configuración pueden afectar el desempeño de la MFC, por lo que se han llevado a cabo diferentes estudios en los que se optimiza la configuración de los electrodos para incrementar la generación de energía y minimizar las pérdidas óhmicas (Liu et al., 2005). Zhang et al. (2011) proponen un arreglo alternativo para los electrodos que promueve el uso de separadores, permitiendo diseños más compactos que se conocen como “Sistemas de Electrodos Separados” (SEAs, por sus siglas en inglés, *Separator Electrode Assemblies*). Entre los materiales utilizados como separadores se encuentran la fibra de vidrio, tela, cepillos de fibra de grafito, malla de carbono, entre otros (Hays et al., 2011), mientras que Zhu et al., (2013) evaluaron el desempeño de dos arreglos diferentes de electrodos hechos con el mismo material, barras de grafito utilizando una MFC de 2 L en la cual adaptaron un electrodo de diseño escalonado (MFC-S) obteniendo voltajes más elevados (23.8 W m⁻³) que los alcanzados con el electrodo de diseño lineal (MFC-I). Sugieren que sus resultados se deben a que el electrodo de arreglo escalonado favorece la transferencia de masa. Buitrón y Pérez (2011), evaluaron el efecto de la distancia entre los electrodos de las celdas de combustible microbiano y de acuerdo con sus resultados no se identificaron efectos negativos debidos al aumento en la distancia entre los electrodos; sino por el contrario, observaron que a mayor separación se alcanzó mayor voltaje.

Se han llevado a cabo algunos estudios para mejorar el funcionamiento de las MFC con arreglos de electrodos conformados por el ánodo, la membrana de intercambio catiónico y el cátodo, como una sola unidad, este arreglo permite que las celdas sean más compactas, con menor resistencia interna y mayores densidades de voltaje (Butler y Nerenberg, 2010). Kim et al., (2015) utilizaron “cepillos” de fibras de grafito como electrodos; trabajando bajo condiciones

de flujo continuo simulando las condiciones operativas (tiempo de retención hidráulico) para el tratamiento de aguas residuales. Entre sus principales observaciones encontraron que el reducir el espacio entre los electrodos e incrementar el área superficial específica del cátodo mejoró la producción energética. Sin embargo, apuntan que se debe considerar el costo del tratamiento ya que incrementar el área superficial específica del cátodo aumentó el capital necesario para la construcción de la celda, por lo tanto, se debe tener en cuenta el costo-beneficio de incrementar el número de cátodos a emplear en la MFC.

Nuevas tendencias en los materiales han demostrado que los electrodos nanoestructurados también pueden ser una alternativa a considerar en el desarrollo de electrodos para MFC. Gadhamshetty y Koratkar (2012) opinan que para escalar las MFC de sistemas de laboratorio a un nivel comercial es necesario reemplazar los electrodos basados en grandes áreas superficiales de contacto, principalmente elaborados con carbono, con materiales nanoestructurados (tubos de carbono, hojas de grafeno), los cuales son factibles de ser ensamblados en materiales que pueden ser escalables. Los materiales nanoestructurados tienen un área específica superficial al menos 1000 veces mayor que la de los electrodos de carbono convencionales. Sin embargo, se presentan algunos retos en el empleo de estos materiales, ya que los microorganismos requieren cierto grado de porosidad en los electrodos para poder fijarse y que estos poros no se tapen por el crecimiento microbiano disminuyendo de la eficiencia de la MFC. Recientemente, se han estructurado materiales compuestos para mejorar el funcionamiento de cada uno de los componentes de manera individual. García et al., (2015) diseñaron nanofibras duales de TiO_2 y carbón, que obtuvieron mediante la técnica de electrospinning de bicomponente. La caracterización que realizaron los posiciona como nanomateriales anódicos prometedores para su aplicación en celdas de combustible microbianas, su composición y arreglo estructural favorece el flujo de los electrones produciendo densidades de corriente superiores a las reportadas en la bibliografía por otros materiales, como biopelículas de microorganismos exoelectrogénicos.

Reflexión

Las celdas de combustible microbiano son sistemas prometedores para la generación de energía mediante la degradación de materia orgánica. Sin embargo, numerosos factores intervienen en su diseño, construcción, operación y mantenimiento. Uno de los principales factores que puede determinar el funcionamiento de las MFC son los electrodos, aspectos como su configuración y número, así como los materiales que se pueden emplear para que la biopelícula formada por los microorganismos pueda adherirse y crecer en su superficie. Numerosos estudios han reportado igual número de materiales que han sido empleados como electrodos en una MFC, en los últimos años, el desarrollo científico en la caracterización de nanomateriales ha permitido mejorar las tasas de producción de energía a través de las MFC.

La posibilidad de utilizar diversas fuentes de materia orgánica y numerosos microorganismos, hacen que las MFC sean una tecnología factible de implementar y desarrollar con el objetivo de optimizar un sistema que se pueda adaptar a diferentes condiciones de operación. Sin embargo, aún queda mucho

trabajo por hacer, seguir investigando y mejorando los procesos de transferencia de electrones, las interacciones microbianas con una amplia variedad de sustratos, la configuración de las MFC, además, en el campo de los materiales y variables críticas para el escalamiento de estos sistemas que permitan su aplicación a nivel industrial en el tratamiento de efluentes, degradación de contaminantes emergentes y en la producción eficiente de energía.

Bibliografía

- Ahn, Y. y Logan, B.E. (2012). A multi-electrode continuous flow microbial fuel cell with separator electrode assembly design. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 93: 2241-2248.
- Babauta, J., Renslow, R., Lewandowski, Z. y Beyenal, H. (2012). Electrochemically active biofilms: facts and fiction. A review. *Biofouling*, 28(8), 789–812.
- Baranitharan E., Khan M. R., Prasad D. M. R., Teo W. F. A., Tan G. Y. A. y Jose R. (2015). Effect of biofilm formation on the performance of microbial fuel cell for the treatment of palm oil mill effluent. *Bioprocess Biosyst Eng* 38(1):15-24.
- Buitrón, G. y Pérez, J. (2011). Producción de electricidad en celdas de combustible microbianas utilizando agua residual: efecto de la distancia entre electrodos. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 14(1): 5-11.
- Butler, C.S. y Nerenberg, R. (2010). Performance and microbial ecology or air-cathode microbial fuel cells with layered electrode assemblies. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 86: 1399-1408.
- Chen, X., Cui, D., Wang, X., Wang, X. y Li W. (2015). Porous carbon with defined pore size as anode of microbial fuel cell. *Biosensor and Bioelectronics*, 69: 135 - 141.
- Du, Z., Li, H. y Gu, T. (2007). A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy. *Biotechnology Advances*, 25: 464 – 482
- Gadhamshetty, V. y Koratkar, N. (2012). Nano-engineered biocatalyst-electrode structures for next generation microbial fuel cells. *Nano Energy*. 1: 3-5.
- García, N.A., García, D.I. y Sánchez, E. M. (2015). Producción de bioelectricidad utilizando nanofibras duales de TiO₂/carbón como electrodo de una celda de combustible microbiana. *Ciencia UANL*. 18(71): 102-113.
- Hays, S., Zhang, F. y Logan, B.E. (2011). Performance of two different types of anodes in membrane electrode assembly microbial fuel cells for power generation from domestic wastewater. *J. Power Source*. 196: 8293-8300.
- Jung, S. y Regan, J., M. (2007). Comparison of anode bacterial communities and performance in microbial fuel cells with different electron donors. *Appl Microbiol Biotechnol* 77:393 – 402.
- Karmakar, S., Kundu, K., y Kundu, S. (2010). Design and development of a microbial fuel cells. *Appl Microbiol Biotechnol*, 1029 - 1034.
- Kim, K.Y., Yang, W. y Logan, B.E. (2015). Impact of electrode configurations on retention time and domestic wastewater treatment efficiency using microbial fuel cells. *Water Res.* 80: 41-46.

- Kostakioti, M., Hadjifrangiskou M. y Hultgren S. J. (2013). Bacterial Biofilms: Development, Dispersal, and Therapeutic Strategies in the Dawn of the Postantibiotic Era. *Cold Spring Harb Perspect Med* 2013; 3:a010306.
- Logan B., E. y Regan J., M. (2006). Microbial fuel cells. Challenges and applications. *Environmental Science & Technology*: 5172 - 5180.
- Logan B., E. (2008). Microbial fuel cells. Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 199 pp.
- Liu, H., Cheng, S. y Logan, B.E. (2005). Power generation in Fed-Batch microbial fuel cells as a function of ionic strength, temperature and reactor configuration. *Environ. Sci. Technol.* 39: 5488-5493.
- Mohanakrishna, G., Srikanth, S. y Pant D. (2015). Bioelectrochemical Systems (BES) for Microbial Electroremediation: An Advanced Wastewater Treatment Technology. *Applied Environmental Biotechnology: Present Scenario and Future Trends*. 145 - 167.
- Ramasamy, R. P., Ren, Z., Mench, M. M. y Regan J.M. (2010). Impact of Initial Biofilm Growth on the Anode Impedance of Microbial Fuel Cells. *Biotechnology and Bioengineering*. (101):1 101 - 108.
- Read, S. T., Dutta, P., Bond P. L., Keller, J. y Rabaey K. (2010). Initial development and structure of biofilms on microbial fuel cell anodes. *BMC Microbiology*, 10:98
- Wei, J., Liang P. y Huang X. (2011). Recent progress in electrodes for microbial fuel cells. *Bioresource Technology*, 102: 9335 - 9344.
- Yang. S., Du, F. y Liu, H. (2012). Characterization of mixed-culture biofilms established in microbial fuel cells. *Biomass Bioenerg*, 46: 531 - 537.
- Zhang, L., Zhua, X., Lia, J., Liaoa, Q. y Ye, D. (2011). Biofilm formation and electricity generation of a microbial fuel cell started up under different external resistances. *Journal of Power Sources* 196: 6029–6035.
- Zhu, X., Zhang, L., Li, J., Liao, Q. y Ye, D. (2013). Performance of liter-scale microbial fuel cells with electrode arrays: Effect of array pattern. *International Journal of Hydrogen Energy*. 38: 15716-15722.

Adaptación de Genotipos No Tóxicos de *Jatropha curcas* L. la Planta del Biodiesel, en municipios del Centro y Sur de Tamaulipas, México

Adaptation of genotypes non-toxic *Jatropha curcas* L., the Plant of the Biodiesel in Municipalities of the Center and South of Tamaulipas, Mexico

*M. A. García-Delgado³³
J.E. Cervantes-Martínez
H. Mata-Vázquez
M. L. Martínez-Saldívar³⁴

Resumen

³³Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamaulipas. Contacto: miagarci@uat.edu.mx Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamaulipas.

³⁴Colegio de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamaulipas

El propósito de este estudio fue realizar la identificación de las principales características edafoclimáticas, necesidades hídricas y de crecimiento vegetativo de cinco genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas* L. en condiciones de riego durante un periodo continuo de diecisiete meses, en una localidad del municipio de Gómez Farías, ubicado al sur de Tamaulipas, de manera general se realiza la descripción de cuatro sitios experimentales en los que se establecieron siete genotipos de colectas nacionales para su estudio; de manera particular se reporta el estudio realizado en la localidad que presenta más genotipos en un solo sitio experimental, el Rancho “El Chiflido” en el municipio de Gómez Farías. El trasplante se inició en abril de 2010 en Jaumave, cuando las plantas presentaron una altura promedio de 30 cm. En el periodo comprendido del 30 de junio al 2 de julio de 2010 se trasplantaron en el rancho “El Chiflido” de Gómez Farías, cuando las plantas tenían un promedio de 35 cm de altura. En estas localidades se utilizó un marco de plantación de 3.0 m x 2.0 m para una densidad de 1 667 plantas por hectárea. Se realizaron las caracterizaciones físicas, químicas y de fertilidad del suelo, así como la caracterización de calidad del agua de riego, también se realizó la preparación del terreno para el trasplante, así como las labores culturales adecuadas como fueron las podas, aplicaciones de fungicidas, bactericidas, insecticidas y de control de malezas, así como la aplicación de fertilizantes al suelo y foliares. Se hizo un buen manejo y control fitosanitario de las plagas y enfermedades que se presentaron. Se describe a detalle el desarrollo de actividades realizadas y los resultados obtenidos en el Rancho “El Chiflido” en el cual se evaluaron diferentes respuestas vegetativas, antes y después de la poda de formación, se presentó un ataque de pudrición del tallo, el genotipo 3 fue muy susceptible al ataque de fitopatógenos y fue la razón de la disminución del vigor de este genotipo. De acuerdo a la adaptación de *Jatropha* en estas regiones de Tamaulipas se puede señalar que en Gómez Farías se presentó la mejor armonía ambiental basada en los parámetros vegetativos medidos diámetro, altura del tallo principal, número y longitud de ramas secundarias post-poda

de formación. Por la tolerancia y resistencia al ataque a enfermedades la mejor adaptación la presentaron dos genotipos el 1 y 4, procedentes de Morelos y Tlaxcala, respectivamente. Mientras que los genotipos evaluados en los predios del centro del estado, debido a la onda gélida que se presentó a principios de febrero del 2010, con temperaturas inferiores a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, por su grado, intensidad y duración del meteoro y la afectación de los tejidos aéreos, permitieron determinar que es una planta muy susceptible a daños por congelamiento, lo cual limita su adaptación ambiental en estas bajas temperaturas, pero estas condiciones también permitieron comprobar su alta capacidad de recuperación vegetativa al presentarse las temperaturas ambientales superiores a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, basado en la cantidad y vigor de las brotaciones vegetativas que se presentaron en la base del tallo o cuello de las plantas afectadas.

Abstract

The purpose of this study was to identify the main soil and climatic characteristics, water needs and natural growth of five non-toxic *Jatropha curcas* L. genotypes under irrigated conditions for a continuous period seventeen months in a village in the municipality of Gomez Farias, in southern Tamaulipas. Generally the description of four experimental sites that were established to study seven genotypes of national collections is done; particularly the study carried out in the town with more genotypes studied in one experimental site, the “El Chiflido” Ranch is located in the municipality of Gomez Farias, products are reported in this paper. Transplantation project started and began in April 2010 in Jaumave, when the plants had an average height of 30 cm, in the period from June 30 to July 2, 2010 was transplanted in the “El Chiflido” Ranch in Gomez Farias, when plants had an average height of 35 cm. A planting of 3.0 m x 2.0 m for a density of 1 667 plants per hectare was used on these sites. The physical, chemical and soil fertility parameters and characterizing quality of irrigation water were carried out, preparing the ground, farm soil, for transplant was also performed and cultural practices suitable as were the pruning, application of fungicides, bactericides, insecticides and weed control, thus the application of soil and foliar fertilizers. Good management and control of plant pests and diseases that were presented was performed. It's described in detail the development of activities and results in the “El Chiflido” ranch in which different vegetative responses was evaluated before and after pruning, showed an attack of stem rot, genotype 3 was very susceptible to attack by pathogens, therefore, was the reason for the decrease in the response of this genotype vigor. According to the adaptation level of *Jatropha* in these regions of Tamaulipas, it can be noted that in Gomez Farias presented the best environmental harmony based on the measured vegetative parameters diameter, height of main stem, number and length of secondary branches post-pruning. Based on tolerance and disease resistance attack showed the best adaptation the two genotypes 1 and 4, from Morelos and Tlaxcala states, respectively. While genotypes on the farms municipalities of the center of the state, due to the cold wave was presented in early February 2010, with temperatures below $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, by its maintained intensity, and duration of the storm and the involvement of aerial tissue, allowed to determine that a plant is

very susceptible to freeze damage, limiting their environmental adaptation in these low temperatures, but these conditions also allowed to check their high capacity of vegetative recovery to occur the ambient temperatures exceeding 20° C, based on the amount and force of vegetative sprouting presented at the stem base or neck of affected plants.

Introducción

México ocupa el noveno lugar como país contaminante del planeta debido que libera a la atmosfera aproximadamente el 2% de la emisión mundial de gases de efecto invernadero, y basado en el ritmo de avance tecnológico y de desarrollo se estima que para los próximos años este porcentaje se duplicará sino se realizan las medidas adecuadas para reducir sus emisiones contaminantes (Cervantes, 2006). El abuso en la utilización de los combustibles fósiles es un tema de debate mundial, ya que está relacionado directamente con la contaminación ambiental y el calentamiento global (Félix, 2008). Ante el grave problema de la contaminación ambiental, ante el inminente agotamiento de las reservas de combustibles fósiles en un futuro y el incremento del precio internacional del crudo, muchos países han decidido impulsar el desarrollo y uso de fuentes de energías alternativas, que ofrecen grandes ventajas sobre las fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante o fundamentalmente por su posibilidad de renovación. En el 2007, México ha considerado el uso de energías alternativas como el biodiesel, el bioetanol, la energía solar y eólica entre otras. De acuerdo al último estudio de la Secretaría de Energía (2006), la producción de biodiesel a escala comercial puede ser factible en el mediano plazo de realizar acciones integrales que deben incluir aspectos técnicos, económicos y medioambientales, de concertación con el sector agrícola y agroindustrial, así como, un esfuerzo importante en investigación y desarrollo tecnológico (Martínez, 2007).

El gobierno mexicano proporciona un gran impulso para la utilización de energías renovables eficientes y limpias como los biocombustibles; pretende disminuir los efectos del cambio climático y contribuir a la conservación del medio ambiente. En febrero del 2008, el gobierno federal decretó la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos, la cual incluye en el Artículo 1, entre otros objetivos la promoción y desarrollo de los bioenergéticos, con la finalidad de coadyuvar a la diversificación energética y al desarrollo sustentable, como condiciones que permitan garantizar el apoyo al campo mexicano, esta ley también incluye el impulso a la investigación tecnológica para la producción y transformación de productos primarios para la producción de biocombustibles (Zamarripa et al., 2009; Martínez, 2009; Zamarripa et al., 2010). Martínez (2009) menciona que en el primer párrafo de esta ley, se señala que se debe promover la producción de insumos para bionergéticos, a partir de las actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos en el campo mexicano sin afectar y poner en riesgo la seguridad alimentaria del país. En México, aparte de producir una gran cantidad de cultivos de oleaginosas existen otras fuentes vegetales alternativas entre las que se incluyen especies silvestres con alto contenido de aceite y con alto potencial en la producción de bioenergéticos, como la *Jatropha curcas L.* (piñón, piñoncillo o pistache mexicano)

que no forma parte de los cultivos básicos y que por sus ventajas agronómicas es interesante y puede dar un impulso a la agricultura del país (Martínez, 2007). En los recursos vegetales con potencial para energías alternativas, específicamente entre las plantas no comestibles para la producción de biodiesel puro se encuentra el aceite de *Jatropha*.

Paneque (2009) y Martínez (2009) señalan que los biocombustibles obtenidos a partir de materias primas vegetales, son biodegradables, no tóxicos y esencialmente libres de azufre y compuestos aromáticos, es un biocombustible obtenido mediante un proceso sustentable principalmente de especies oleaginosas, plantas productoras de aceite vegetal, con lo que difieren totalmente de los derivados del petróleo o combustible fósil. Las respuestas de adaptación, potencial productivo y otras características agronómicas relacionados con la producción de aceite de *Jatropha* han sido muy aleatorias y variadas (Niño-García y Col., 2012), así como el hecho que no compite con las oleaginosas cultivadas para la alimentación humana, por lo tanto basado en la diversidad de resultados obtenidos a nivel internacional por la comunidad científica, considerando ambiental, ecológico y sustentablemente el bono-verde, es importante señalar que en México se han distinguido y han sobresalido las investigaciones realizadas por dos grupos de instituciones reconocidas nacional e internacionalmente como el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional (Figuras 1 y 2) y el del Campo Experimental Rosario Iztapa del INIFAP, Tuxtla Chico, Chiapas, liderados por los doctores Jorge Martínez-Herrera y Alfredo Zamarripa-Colmenero, respectivamente.



Fig 1

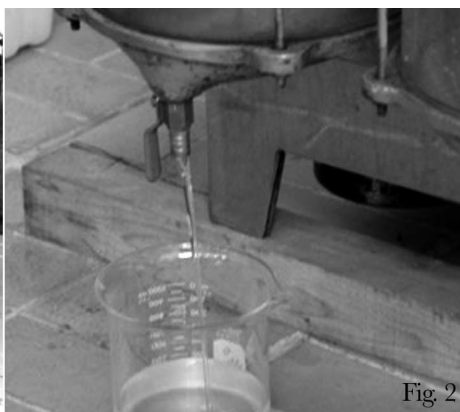


Fig 2

Figura 1. Dispositivo hidromecánico para extracción de aceite de *Jatropha curcas*, en el CEPROBI-IPN en Yautepec, Morelos, mayo de 2009.

Figura 2. Aceite de *Jatropha* extraído en el Laboratorio del CEPROBI-IPN en Yautepec, Morelos, mayo de 2009.

Fuente: elaboración propia

El piñón, piñoncillo, nuez o pistache mexicano como comúnmente se le conoce a *Jatropha curcas* L. es una planta con potencial silvícola y agrícola utilizadas de diferentes maneras como cercos vivos y para reforestar zonas erosionadas, así como para usos medicinales e industriales por su alto poder bioenergético en la producción de biodiesel. Es una planta que pertenece a las Euphorbiaceae, originaria de México y Centroamérica, ampliamente cultivada en África, Asia y Centroamérica. Es una especie resistente a sequía y regiones con bajas precipitaciones, crece en suelos pobres y arenosos, en climas tropicales y subtropicales, en altitudes que varían de 0 a 1600 m (Zamarripa et al., 2009; Martínez, 2009). En el año 2005 se emprendió el cultivo de la *Jatropha curcas* L en etapa experimental, específicamente en Yautepec, Morelos, por iniciativa del

CEPROBI-IPN. Posteriormente, se establecieron plantaciones en Nuevo León, Sinaloa, Chiapas y Michoacán, para las cuales el CEPROBI-IPN contribuyó al proporcionar plantas de genotipos identificadas como no tóxicas (Martínez-Herrera, 2007).

El Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP), a través del proyecto “Estudio de Insumos para la Obtención de Biocombustibles en México”, que encabeza el doctor Alfredo Zamarripa-Colmenero, coordinador nacional de la Red de Investigación e Innovación en Bioenergéticos del INIFAP, tiene entre sus avances el mejoramiento genético. Un equipo de 75 investigadores, además de técnicos y personal de apoyo, trabajan desde el año 2007 en un macroproyecto mediante que comprende colectas en 14 entidades de México, para formar un Banco de Germoplasma de Piñón (*Jatropha curcas* L.) que tiene poco más de 400 accesiones, con 6 plantas o ejemplares por accesión. El banco está en el Campo Experimental Rosario Izapa, en Tuxtla Chico, Chiapas (Zamarripa et al., 2010).

El biodiesel presenta un efecto benéfico en el ciclo del carbono, debido que la combustión libera bióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera, pero ese CO_2 es captado y fijado más fácilmente por los vegetales en la formación de moléculas de fotoasimilados o azúcares primarios, principal fuente de energía para los diversos procesos fisiológicos de las plantas. Es posible cuantificar el crédito ambiental de un combustible renovable calculando la cantidad de fijación de CO_2 de una los cultivos, por ejemplo de una plantación de oleaginosas y compararlo con el CO_2 que genera y libera a la atmósfera, la combustión del biodiesel generada por dicha plantación (Paneque, 2009).

Tamaulipas cuenta con una superficie óptima para el cultivo de piñón de 317 690 ha, es el segundo estado de la república mexicana que registra la mayor superficie de cultivo, después de Sinaloa que ocupa el primer lugar con una superficie estimada de 557 641 ha, información recabada de la zonificación agroecológica para el establecimiento de plantaciones de *Jatropha* realizada por Zamarripa y col. (2009), basada en la altitud, pendiente de los terrenos, temperatura y precipitación. Entre las experiencias exitosas sobre plantaciones de genotipos tóxicos en el noroeste de México, destacan las plantaciones del cultivo de *Jatropha* establecidas bajo condiciones de riego y temporal, realizadas por Fundación Produce Sinaloa, en el municipio de Sinaloa de Leyva en el norte de Sinaloa, los resultados obtenidos fueron muy prometedores debido que se establecieron y manejaron con éxito los predios pilotos (Félix, 2008).

La Unión de Silvicultores y Empresarios Forestales de Tamaulipas, A.C. y la Universidad Autónoma de Tamaulipas firmaron un convenio de colaboración con la finalidad de apoyar a los Silvicultores y productores Forestales de la entidad en abril de 2009, dicho convenio incluyó apoyos y asesoría en la investigación, generación de técnicas y conocimientos; también se acordó participar en el Proyecto de la Unión de Silvicultores del Estado, para buscar alternativas de producción y generación de especies agrosilvícolas potenciales de uso para producir biocombustibles. Esto inició con la evaluación de genotipos no-tóxicos de *Jatropha curcas*, para desarrollar, transferir y aplicar tecnología en la obtención de biodiesel a partir de los recursos silvícolas y forestales con potencial en la entidad. Un grupo de investigadores del área de ciencias agronómicas de la

UAT en conjunto con el investigador titular y responsable técnico del proyecto, miembro del Colegio de Tamaulipas, inició con la investigación sobre el estudio exploratorio para el establecimiento de plantaciones de *Jatropha curcas* no tóxica en cuatro localidades del centro y sur del estado de Tamaulipas (Martínez-Saldívar, 2008).

El estudio exploratorio se realizó durante los años 2010 y 2011, para evaluar la adaptación de siete genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas* L. en diferentes tipos de suelos, condiciones ambientales, diferentes sistemas de riego, fuentes y calidades de agua de riego en las zonas centro y sur del estado de Tamaulipas, en los municipios de Hidalgo y Jaumave en el centro y suroeste y en el municipio de Gómez Farías en la región sur del estado de Tamaulipas, complementario del propósito fundamental del proyecto respectivo apoyado por fondos mixtos CONACyT-Gobierno del estado de Tamaulipas (Martínez-Saldívar, 2008). Debido que la mayor diversidad y cantidad de materiales genéticos, cinco genotipos de *Jatropha curcas* se establecieron en el rancho “El Chiflido” en el municipio de Gómez Farías, en dicho predio se realizaron las mediciones sistematizadas y periódicas de las variables de respuesta vegetativas. En este documento se hace una descripción general de las cuatro localidades, pero también se describen y analizan a detalle los resultados de las variables vegetativas observadas durante el periodo comprendido desde la etapa de trasplante realizado en el mes de junio de 2010 hasta octubre del 2011.

Metodología

Las semillas adquiridas de los siete genotipos de *Jatropha curcas* L. en los diferentes centros e institutos proveedores del respectivo material vegetativo colectado en Morelos, Puebla, Tlaxcala, y Veracruz; se sembraron en charolas de plástico, se cultivaron en macetas y se produjo la planta de *Jatropha curcas* L. en el Vivero Tecnificado Tamatán, propiedad de la Unión de Silvicultores del Estado de Tamaulipas. Para posteriormente seleccionar, preparar el terreno, establecer y trasplantar los respectivos genotipos de *Jatropha* en cuatro localidades o sitios experimentales como lotes demostrativos de plantaciones de *Jatropha*, con una extensión mínima de una hectárea cada uno, sitios de las zonas centro y sur del estado, para conocer su comportamiento agronómico, la adaptación al clima, con diferentes tipos y calidades de agua de riego, diferente sistema de riego, en diferentes suelos, de los genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas* L.

Sitio experimental	Municipio	Latitud N	Longitud W	Altitud (m)
Rancho “La Coma”	Jaumave	23° 25' 00”	99° 23' 02”	738
Rancho “Los Cheles”	Hidalgo	24° 02' 25”	99° 12' 55”	235
Rancho “El Chiflido”*	Gómez Farías	22° 59' 48.5”	99° 04' 25”	101
Rancho “Las Quientas”*	Gómez Farías	22° 52' 58.5”	99° 04' 07”	75

Tabla 1. Ubicación geográfica de los sitios de investigación en el Centro y Sur de Tamaulipas.

Nota: *Medidos con GPS.

Fuente: elaboración propia.

La distribución de los diferentes genotipos estudiados de acuerdo a su ubicación geográfica y diferentes condiciones climáticas de las cuatro localidades seleccionadas se muestran en la Tabla 1.

Los métodos y sistemas de riego que se utilizaron en los predios de los sitios experimentales son muy diversificados basados en las condiciones e infraestructura disponible en los ranchos. Debido a su forma de aplicación los sistemas de riegos localizados de goteo y microaspersión instalados en los ranchos “El Chiflido” y “Las Quinientas” son los más eficientes. En el periodo comprendido del 15 de enero al 20 de mayo del año 2011 se aplicaron variadas láminas de riego (LR) de 6.59 cm en El Chiflido” y de 5.92 y 16.96 cm en el rancho “Las Quinientas” en goteo y microaspersión respectivamente en el municipio de Gómez Farías, éstos son considerados además de riegos más tecnificados, más eficientes en el ahorro de energía, mano de obra y volumen de agua aplicado al cultivo de *Jatropha* (Tabla 2).

Tabla 2. Concentrado de láminas horarias y láminas de riego acumuladas aplicadas del 15 de enero al 31 de mayo del 2011, por tipo de sistema de riego en los diferentes Sitios Experimentales. Nota: *Lámina de riego aplicada por tandeo mensual. TR Acum. es el tiempo de riego acumulado en el periodo; LRAcum es la lámina de riego acumulada en el periodo; N.D. es dato no disponible.

¹(5 riegos)

Fuente: Elaboración propia.

Sitio experimental	Sistema de riego	Separación entre líneas de riego	Distancia entre emisores	Gasto del emisor	Lámina horaria	TR Acum (Hr)	LR Acum. (cm)
“El Chiflido”, Gómez Farías	Presurizado-Goteo Tipo-Cinta	3.0 m	0.2 m	0.869 L/Hr	1.433 mm	46	6.59
“Las 500”, Gómez Farías	Presurizado-Microaspersión	3.0 m	2.0 m	25.43 L/Hr	4.24 mm	40	16.96
“Las 500”, Gómez Farías	Presurizado-Goteo Tipo Cinta	3.0 m	0.2 m	0.598 L/Hr	0.987 mm	60	5.92
“Los Cheles”, Hidalgo	Presurizado-Aspersión Semiportátil	9.0 m	9.15 m	N.D.	14.0 mm	47.5	66.50
“La Coma”, Jaumave	Superficial-Melgas	Var.	No aplica	60 L/seg	17.28 cm*	70 ¹	86.4

Al comparar los tiempos y láminas de riego de los sistemas de riego de los sitios del centro del estado, en los cuales se utiliza sistema de riego por aspersión en el rancho “Los Cheles” de Hidalgo y el sistema de riego por superficie o tradicional en el rancho “La Coma” de Jaumave, las láminas de riego totales aplicadas rebasaron varias veces las LR aplicadas en los riegos localizados, en Hidalgo donde hasta el 20 de mayo se aplicó una LR acumulada de 66.5 cm, comparada con los sistemas de riego localizados utilizados en el sur del estado, en promedio en riego por aspersión se ha aplicado diez veces la lámina total que se ha aplicado en riego por goteo y cinco veces la lámina de riego que ha sido aplicada en riego por microaspersión; aunque hay que mencionar que en el rancho “Los Cheles” la *Jatropha* estuvo asociada con árboles de cítricos mayores de 25 años, los cuáles indujeron la demanda hídrica y requerimiento de aplicación del volumen de agua de riego.

A principios de febrero del 2011 se presentó una onda gélida que afectó de gravedad a las plantas de los predios de *Jatropha* establecidos en las localidades en estudio en el centro del estado. Si al efecto meteorológico de las

bajas temperaturas se le adiciona que la asociación de cultivos *Jatropha*-Alfalfa planeado y establecido en Jaumave, donde se utilizó riego superficial, y puesto que el cultivo de alfalfa requiere de la aplicación de grandes láminas de riego superiores al que requieren la mayoría de los cultivos, debido que es un cultivo con grandes requerimientos hídricos en condiciones semiáridas características de la cabecera municipal de Jaumave con usos consuntivos que oscilan de 6 a 8 mm/día (Enciso y Col., 1998). Este tipo de asociación de cultivos *Jatropha*-Alfalfa en esas condiciones climáticas y manejadas con riego superficial y con agua de baja calidad, es la menos recomendable.

Sitio experimental rancho “El Chiflido”, Gómez Farías, Tamaulipas

El estudio exploratorio de adaptación ambiental de cinco genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas*, utilizó materiales vegetativos procedentes de colectas y selecciones de semillas obtenidas a través de la Unión de Silvicultores y Empresarios Forestales de Tamaulipas, A.C. Se utilizaron semillas del CEPROBI-IPN del estado de Morelos, del Centro de Biotecnología Aplicada del IPN en Tlaxcala, del estado de Guerrero y semillas procedentes de colectas de plantas nativas de Papantla, Veracruz.

La investigación se realizó en dos etapas, la etapa inicial de siembra se efectuó el 15 de marzo de 2010 en charolas. Las plantas posteriormente se trasplantaron a macetas ubicadas en el vivero tecnificado de Tamatán, en Ciudad Victoria, Tamaulipas. La segunda etapa, la de trasplante en campo, se efectuó del 30 de junio al 2 de julio de 2010, en esta segunda etapa del estudio que se terminó el 30 de octubre de 2011, comprendida a partir de establecimiento en campo, crecimiento y adaptación climática de las plantas de los cinco genotipos se realizó en una superficie de una hectárea.

Para tener una buena distribución topológica se utilizó un marco de plantación de 3.0 m x 2.0 m, tres metros entre hileras orientadas de norte a sur y dos metros entre plantas, para obtener una densidad de población de 1 667 plantas por hectárea. Esto se hizo para facilitar las labores culturales, chapoleo mecánico y en algunos casos la labor de rastreo en las calles, así como, para facilitar las labores de recolección de frutos (cosecha), cada genotipo quedó separado por una calle de 4.0 m de ancho alineada en sentido perpendicular a las hileras (Figura 3).

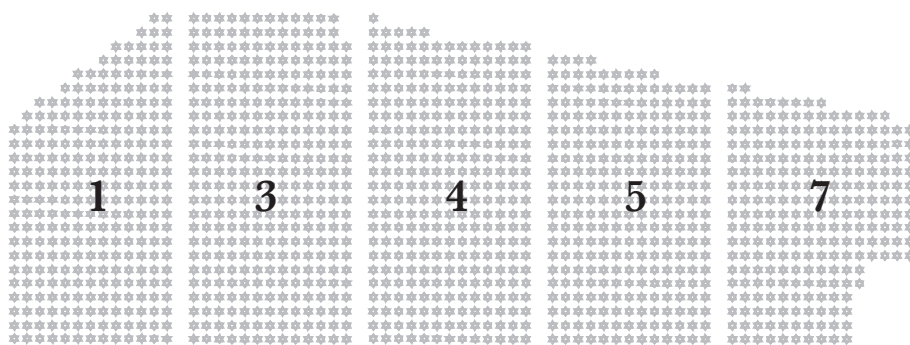


Figura 3. Distribución topológica y marco de plantación de los cincogenotipos, en el Rancho “El Chiflido”, Gómez Farías, Tamaulipas (Sotres, 2012).

El predio se encuentra en la carretera nacional México-Laredo en el km 128 del tramo Ciudad Mante–Ciudad Victoria. El clima predominante de la región es semi-húmedo cálido con temperatura media anual de 24.8o C, una precipitación promedio anual de 1,040.6 mm y una evaporación de 1 572 mm (CNA, 2005).

Análisis de las propiedades físicas, químicas y de fertilidad del suelo, y calidad de agua de riego

Se realizó un muestreo de suelos en el predio, se recogieron 20 submuestras a una profundidad de 0-30 cm, se colectaron cuatro submuestras de suelo por subparcela o genotipo. Las muestras de suelo representativa del predio, así como, la muestra de la fuente de alimentación del agua de riego se enviaron para sus análisis a “Laboratorios A-L de México, S.A. de C.V.” en Guadalajara, Jalisco.

Tabla 3. Resultados del análisis de textura y capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de Laboratorios A-L de México, S.A. de C.V.

Característica	Componente textural			Situación catiónica					Relación K/Mg adimensional
	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	H (%)	Na (%)	
Suelo arcilloso									
CIC: 53.8 meq/100 g	61.2	23.6	15.2	1.1	94.1	3.8	0.0	1.0	0.29

El suelo es de textura arcillosa con un alto contenido de arcilla de 61.2% (Trejo-Cabrera, 2009), tiene un pH de 7.8, es medianamente alcalino; la conductividad eléctrica del extracto de saturación, el tipo y cantidad de sales alcalinotérricas, evidencia y manifiesta las características alcalinas de los suelos calcáreos característicos de zonas subtropicales y semiáridas del noreste de México (Tabla 3).

En los parámetros de fertilidad del suelo, presenta una capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, un buen nivel de fertilidad capacidad de cambio con un valor de 53.8 meq/100 gr de suelo, denota la gran disponibilidad de cationes de cambio y la fertilidad del suelo de este predio (Tabla 3); presentó un contenido medio de materia orgánica de 3.3% otro indicador de la fertilidad del suelo, la cual es la materia prima para la producción de nitrógeno mineralizado por los microorganismos principalmente las bacterias del suelo. Los análisis de calidad del agua utilizada en el riego determinan con base en una serie de indicadores y a la concentración relativa de los diferentes tipos de iones disueltos, el efecto e impacto que ocasionan sobre las propiedades del suelo así como el daño potencial sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Ortiz, 1997; Aguilera y Martínez, 1996). Basado en los resultados del laboratorio, la calidad del agua utilizada presenta un pH de 7.8, ligeramente alcalina, con un RAS de 1.33 meq/L, 755 mg/L de sólidos disueltos totales (SDT), contiene 153 mg/L de calcio, 397 mg/L de bicarbonatos y 190 mg/L de sulfatos, los cuales debido a la precipitación de bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio, así como a la evaporación de sulfatos y bicarbonatos provocan el taponamiento de los goteros del sistema de riego. La interpretación de los cálculos de indicadores de la calidad del agua y sus problemas de afectación en los suelos es una manera de evaluar los riesgos potenciales de salinización y alcalinización de los predios y sus afectaciones a los cultivos objetivo o establecidos al utilizar las aguas de riego, en consecuencia

realizar una estimación más real del peligro que presentan las sales del agua de riego en las propiedades físicas y químicas del suelo, de acuerdo a lo mencionado por Ortiz (1994), Aguilera y Martínez (1996), Llanos (1999) y Castellanos et al. (2000).

Láminas de riego aplicadas y precipitaciones presentadas.

A través del sistema de riego por goteo, desde el 15 de enero hasta el 29 de septiembre del 2011 se aplicó una lámina acumulada de 105 mm, en ese año las precipitaciones pluviales fueron muy erráticas o atípicas, debido que la mayor cantidad de lluvia se presentó cuando en el estado de Tamaulipas azotó el huracán “Arlene”, a finales del mes de junio de 2011, la cantidad de lluvia acumulada por este meteoro fue de 332.3 mm, que corresponde al 40.52% de la precipitación acumulada normalmente hasta septiembre, de acuerdo a los registros históricos del Campo Experimental del Ingenio de Xicoténcatl (2008), basado en los datos del 2011, se registró una precipitación total de 590.6 mm, un año con problemas de sequía y el valor más crítico históricamente en los últimos 25 años.

Podas. La primera poda realizada fue la eliminación de yemas y brotes laterales del tallo principal de los genotipos, ésta se realizó a 0.40 m de altura del tallo principal, en el periodo del 05 de abril al 11 de abril de 2011. Durante el proceso de la poda se llevaron a cabo todas las precauciones necesarias para prevenir la entrada o ataque de fitopatógenos. La segunda poda, fue de formación con la finalidad de constituir el tallo principal de la planta de manera similar como se maneja esta práctica en un árbol frutal, para formar “la tinajera” o soporte de las ramas secundarias, dicha práctica se realizó del 13 al 16 de junio de 2011 (Figuras 4 y 5).



Fig 4



Fig 5

*Figura 4. Aspecto post-poda de formación en cinco genotipos de la plantación de *Jatropha curcas*, 15 de junio de 2011, Rancho “El Chiflido”, Gómez Farias, Tamaulipas.*

*Figura 5. Plantación de cinco genotipos de *Jatropha curcas*, dos meses post-poda, con manejo de conservación del suelo en el rancho “El Chiflido”, Gómez Farias, Tamaulipas.*

Fuente: elaboración propia

Las condiciones ambientales imperantes a principios del mes de julio, principalmente temperaturas y humedades relativas altas fueron condiciones ambientales idóneas para la presencia de fitopatógenos que incidieron sobre los tallos, posterior a la poda de formación, realizada a mediados del mes de junio, los cuales se estima fueron la combinación de factores desencadenantes para que se presentaran los problemas de enfermedades, con mayor susceptibilidad en el genotipo 3 el cual presentó un 38.94% de tallos afectados, el genotipo 4 presentó un 6.30% de tallos enfermos y el resto de los genotipos (1, 5 y 7) presentaron menos del 2.40% de tallos afectados. El nivel de incidencia y virulencia de los patógenos que producen la pudrición de los tallos de las plantas, presentaron un

ambiente idóneo para su ataque en la primera quincena de julio de 2011, después de los remanentes de lluvias del huracán “Arlene” que azotó a Tamaulipas a finales de junio y principios de julio de 2011.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con seis repeticiones por tratamiento (genotipo) cada planta seleccionada aleatoriamente, representó una unidad experimental, Martínez-Garza (1994). Para la validación estadística post-poda, a partir de los datos del número de ramas secundarias y altura por planta, medidas periódicamente desde Julio de 2011 hasta la finalización del experimento se utilizó un análisis de varianza de bloques con submuestreo en las unidades experimentales (las ramas secundarias por planta), los datos se analizaron con el paquete de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5 (Olivares, 1994).

Variables agronómicas. Se analizaron las siguientes: diámetro basal del tallo principal (10 fechas), la altura de planta hasta antes de poda de formación (7 fechas), número de ramas secundarias o laterales (14-07-2011), longitud de ramas secundarias en tres fechas post-poda (14-07-2011, 15-08-2011 y 20-09-2011). Se realizaron diez fechas de mediciones de variables vegetativas y de crecimiento.

Resultados y Discusión

Diámetro basal del tallo. El periodo de medición del diámetro basal del tallo se realizó en diez fechas consecutivas, los datos se registraron mensualmente. Iniciaron el 04 de noviembre del 2010 a 4.1 MDP y se concluyeron el 20 de septiembre de 2011 a 14.5 MDP, al realizar el análisis estadístico por fecha, sólo se encontró diferencia estadística significativa ($Pr > F = 0.023$) en los diámetros medidos el 08 de diciembre de 2010 en los cinco genotipos, a los 5.2 meses después de plantado (MDP), en el resto de las mediciones realizadas no se encontró diferencia estadística significativa entre los diámetros basales de los cinco genotipos estudiados.

Al aplicarle el análisis estadístico de la prueba de medias (Tukey $\alpha=0.05$) del diámetro basal del tallo a los 5.2 MDP antes de la poda, indicó que el genotipo 3 presentó el diámetro basal mayor de 3.10 cm, significativamente diferente con respecto al diámetro basal que presentó el genotipo 5 que tuvo un promedio de 2.20 cm, los tres genotipos restantes no presentaron diferencia estadísticas significativas entre sus diámetros.

Altura de la planta desde trasplante hasta la poda de formación. La medición de la altura de las plantas en la primera etapa estuvo comprendida del 04 de noviembre de 2010 a los 4.1 MDP los cinco genotipos hasta mediados de junio de 2011 a los 11.3 MDP, al realizarse la poda de formación a 0.40 m de altura del tallo principal. Al realizar el análisis estadístico los resultados no mostraron que hubiera una diferencia estadísticamente significativa en la altura promedio de los cinco genotipos, pero es importante mencionar, que las mayores alturas las presentaron los genotipos 4 y 1, con 146 y 143 cm respectivamente. En este análisis estadístico de la altura de la planta de *Jatropha* se obtuvieron coeficientes de variación que oscilaron de 34.52% en el mes de noviembre

hasta 17.87% en el mes de junio. El genotipo 3 mantuvo la mayor altura de planta desde el inicio del trasplante hasta el mes de mayo de 2011 a los 10.4 MDP, en esta etapa presentaba una altura media de 105 cm, posteriormente disminuyó su vigor de crecimiento. Después del mes de abril de 2011 a los 9.3 MDP fue muy notorio el incremento del crecimiento de las plantas de los genotipos 4 y 1, lo cual puso de manifiesto en estos materiales genéticos tanto, el nivel de adaptación edáfico-ambiental, tanto su respuesta a la poda por el número de brotes laterales realizada el 11 de abril de 2011 así como, como el mejor aprovechamiento nutricional de las aplicaciones de fertilizantes al suelo realizada en el mes de marzo y la serie de aplicaciones foliares realizadas durante esta etapa, que concluyó con la poda del tallo a mediados de junio de 2011.

El periodo de reposo vegetativo presentado a principios de diciembre de 2010 que tuvieron los cinco genotipos de *Jatropha*, el cual es característico de especies vegetales caducifolias, como la *Jatropha*. Dicho concluyó hasta principios de abril de 2011, el reposo vegetativo se mantuvo a pesar de haber iniciado la aplicación del riego por goteo desde el 15 de enero de 2011, por lo tanto, en ésta región antes del mes de marzo no es necesaria la aplicación del riego. Posterior a las aplicaciones de fertilizantes al suelo, control de plagas y aplicaciones de fertilizantes foliares, combinado con las condiciones ambientales adecuadas para esta planta se denotó el crecimiento tanto en el diámetro como en altura a finales del mes de marzo. El crecimiento promedio del tallo en los cinco genotipos fue de 43.1 cm en el periodo del 4 de abril al 12 de mayo y de 87.4 cm en el periodo del 12 de mayo al 10 de junio de 2011. Las tasas de crecimiento de los genotipos de *Jatropha* evaluados en este estudio se incrementan exponencialmente en primavera y verano.

Número de ramas secundarias post-poda de formación y longitud de ramas secundarias. Posterior a la poda de formación del tallo principal realizada a una altura de 0.40 m a partir de la superficie del suelo, se realizó el conteo del número de ramas secundarias producto de las yemas laterales que aparecieron posterior a esta práctica de formación de “tinajera”. Al realizar el análisis estadístico o análisis de varianza, el resultado no mostró que hubiera una diferencia estadísticamente significativa entre los cinco genotipos, a pesar que se tuvieron plantas con 2 y 8 ramas secundarias, con un promedio general de 5 ramas secundarias por genotipo. La Tabla 15 muestra las comparaciones de las longitudes medias que presentaron las ramas secundarias a los 12.4 MDP, los genotipos 1 y 4 presentaron las magnitudes mayores en longitud con valores de 28.4 y 21.4 cm, los menores valores los presentó el genotipo 3 con una longitud media de 12.4 cm, lo cual denota el grado de afectación de la pudrición del tallo que afectó severamente a este genotipo. Para la última medición del periodo de estudio, de la longitud de las ramas secundarias realizada a 14.5 MDP, los genotipos 7, 4, 5, y 1 presentaron longitudes similares, pero significativamente diferentes con respecto al genotipo 3, que presentó el valor más bajo de 52 cm. Corroborando aún más, las secuelas en disminución del vigor de las plantas de este genotipo que fueron las más susceptibles al ataque de fitopatógenos que produjeron la pudrición del tallo.

Conclusiones

Rancho “El Chiflido”, Gómez Farías, Tamaulipas

Los genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas* L. evaluados, presentan poca demanda hídrica en su fase de crecimiento inicial, considerando la validez de esta información sólo hasta los 15 meses después de plantados, en crecimiento de meristemas primarios y secundarios antes del desarrollo y/o fructificación de las plantas, y con el uso de un sistema de riego presurizado tipo cinta de goteo.

En los primeros meses de plantado y antes de realizar la poda de formación del tallo principal, el genotipo 3 presentó el mayor diámetro, y el menor diámetro lo presentó el genotipo 5, los mayores diámetros del tallo y alturas de planta la presentaron los genotipos 4 y 1. Las tasas de crecimiento de los genotipos de *Jatropha* evaluados en este estudio se incrementan exponencialmente en primavera y verano.

Los cinco genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas* L. evaluados en este sitio, no presentaron diferencias estadísticas en el número de ramas secundarias después de la poda de formación. Las mayores longitudes de ramas secundarias las presentaron los genotipos 4, 1 y 7 al primer y tercer mes después de la poda. El genotipo 3 fue el que presentó la mayor precocidad en la floración y formación de frutos, pero también presentó una gran susceptibilidad a la enfermedad pudrición del tallo, debido a las condiciones cálidas y húmedas que imperaron inmediatamente después de las lluvias, característicos del verano en esta región. Basado en los parámetros vegetativos analizados en este estudio que son el diámetro y la altura de la planta, el número y longitud de ramas secundarias post-poda de formación, la mejor adaptación ambiental la presentaron los genotipos 4 y 1, de los genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas* L., cultivados en un suelo arcilloso.

Bibliografía

- Aguilera. C.M. y R. Martínez E. 1996. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. 3ª ed. Universidad Autónoma Chapingo, México. 256 pp.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª. ed. Intagri. 201 pp.
- Cervantes, S.M.A. 2006. Proyecto MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio). Presentación Electrónica. Reunión INIFAP-SEMARNAT sobre producción de Biodiesel en México. 21 de Abril de 2006. México, DF.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2005. Normales climatológicas de estación meteorológica del ingenio Mante, Subgerencia Regional Golfo Norte, Cd. Victoria, Tam., México.
- Enciso, M. J., J.C. Herrera P. y E. Peña P. 1998. Manual para planificar la tecnificación del riego parcelario. Ed. CNA-IMTA, México. 107 Pp.
- Félix, M. J.G. 2008. Experiencias en el manejo del cultivo de *jatropha* bajo condiciones de riego y temporal en el norte de Sinaloa. Fundación Produce, Sinaloa, A.C. 24 pp.

- Henning, R.K. 1998. Use of *Jatropha curcas* L. (JCL): A household perspective and its contribution to rural employment creation. Regional Workshop on the Potential of *Jatropha curcas* in Rural Development & Environmental Protection. Harare, Zimbabwe. Mayo, 1998. 5 p.
- Llanos, P. 1999. Parámetros para la evaluación de la calidad de agua para riego. Artículo No. 3, Vol. 1, Abril de 1999. En sitio web: www.walcoagro.com.
- Martínez-Garza, A. 1994. Experimentación Agrícola, Métodos Estadísticos. Universidad Autónoma Chapingo, México. 357 pp.
- Martínez, H. J. 2007. El piñón mexicano: una alternativa bioenergética para México. Revista Digital Universitaria, UNAM. Vol. 8 Núm. 12, 10 pp.
- Martínez, H. J. 2009. La *Jatropha curcas* como un nuevo cultivo en México para la producción de biodiesel. En: Memorias de Capacitación de Jornadas sobre producción de biocombustibles y sus perspectivas para Sinaloa. Fundación Produce, Sinaloa, A.C. 58 pp.
- Martínez-Saldívar, M.L. 2008. Desarrollo de Tecnología y Rentabilidad para el Establecimiento y Manejo de Plantaciones Comerciales de *Jatropha curcas* L. en el Estado de Tamaulipas. Proyecto de investigación: TAMPS-2009-C22-123622, Fondo Mixto, CONACYT- Gobierno del Estado de Tamaulipas.
- Niño-García, N., G. Sánchez-Ramos, A. Mora-Olivo, L.M. Pérez-Quilantán. 2012. Controversia en la producción de biodiesel. Caso: *Jatropha* en Tamaulipas. Ciencia Uat 24(2) 06-13.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5. Facultad de Agronomía, UANL, Marín, N.L., México.
- Ortíz, O. M., 1997. La calidad de las aguas de riego. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 53 pp.
- Paneque, M. 2009. Contexto internacional en la producción de biocombustibles. En: Memorias de Capacitación de Jornadas sobre producción de biocombustibles y sus perspectivas para Sinaloa. Fundación Produce, Sinaloa, A.C. 58 pp.
- Sotres, E., J.E. 2012. Respuesta ambiental de cinco genotipos de *Jatropha curcas* L. en Gómez Farías, Tamaulipas. Tesis de Licenciatura Ingeniero Agrónomo, Unidad Académica Multidisciplinaria Mante, UAT. 65 pp.
- Trejo-Cabrera, A. 2009. Muestreo e identificación de predios cañeros con presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno en tres municipios del sur de Tamaulipas. Tesis de Licenciatura de la Carrera de Ingeniero Agrónomo, UAM Mante de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. 78 pp.
- Zamarripa-Colmenero, A., P.A. Ruíz-Cruz; J.L. Solís-Bonilla; J. Martínez-Herrera.; A. Olivera de los Santos y B.B. Martínez-Valencia. 2009. Biocombustibles: perspectivas de producción de Biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L. en el trópico de México. Folleto Técnico núm. 12. INIFAP-Campo Experimental Rosario Iztapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 46 pp.
- Zamarripa, C. A., Pecina, Q.V., Avendaño, A.C.H., Solís, B.J.L. y Martínez, V.B.B. 2010. Genetic diversity of Mexican germplasm collection of *Jatropha curcas* L. En Proceedings 18th European Biomass Conference and Exhibition 2010. Lyon, France, pp 542-543.

Biorrefinerías, una alternativa para la sustentabilidad

Biorefineries, an alternative for sustainability

*Benigno Ortiz-Muñiz³⁵

Jorge Arturo Mendoza-Sosa

Javier Gómez-Rodríguez

María Guadalupe Aguilar-Uscanga

Resumen

*Instituto Tecnológico de Veracruz, Av. Miguel A. de Quevedo 2779 Col. Formando Hogar, CP. 91860, Veracruz, México.
Contacto: mc.benigno@gmail.com

Las biorrefinerías son instalaciones que permiten la transformación de biomasa a productos de interés industrial, combustibles y energía, presentando tasas de retorno energético (TRE) favorables y mitigando la huella de carbono, garantizando el desarrollo sustentable. Existen diferentes clasificaciones de las biorrefinerías, siendo posible clasificarlas en función de la biomasa empleada: de azúcares, de triacilglicéridos y de lignocelulosa. Las biorrefinerías con plataformas bioquímicas han tenido un mayor impacto a nivel industrial que aquellas que emplean plataformas químicas. En México se han dado los primeros pasos para la instalación de plantas productoras de etanol, exigiendo por normatividad una $TRE = 1.8$. La instalación de biorrefinerías conlleva no sólo el desarrollo tecnológico, sino también la disminución del impacto ambiental y a su vez, permite impulsar el desarrollo económico del campo, por lo que genera fuentes de empleo y riqueza que permitirán mejorar la calidad de vida de la sociedad.

Abstract

Biorefineries are facilities that allow the conversion of biomass products of industrial interest, fuel and energy, presenting appropriate Energy Returned on Invested (EROI) and mitigating the carbon footprint, ensuring sustainable development. There are different classifications of biorefineries, sort being possible depending on the biomass used in: sugar, triacylglycerol and lignocellulose. Biorefineries with biochemical platforms have had a greater impact on an industrial level that those using chemical platforms. Mexico has taken the first steps for the installation of ethanol plants, by regulations requiring $EROI=1.8$. Biorefineries installation involves not only technology development but also reduce environmental impact and in turn, can boost economic development of the field, which generates jobs and wealth that will improve the quality of life of society.

Introducción

Una biorrefinería es la instalación para el procesamiento sustentable de biomasa en un espectro de productos para el mercado y la producción de energía (IEA

Bioenergy Task 42 on Biorefineries). El Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos define a una biorrefinería como una planta de procesamiento en donde la biomasa es convertida en un espectro de productos de valor agregado; mientras que el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), perteneciente al DOE, establece que es una instalación que facilita los procesos de conversión integral de la biomasa y equipos para producir combustibles, energía y químicos de de valor agregado desde la biomasa, siendo el concepto de biorefinería análogo a la refinería de petróleo (NREL, 2009).

En las refinerías de petróleo, éste es transformado para la obtención de compuestos empleados como combustibles (gasolina, diésel, aceites pesados, entre otros) y la obtención de moléculas denominadas bloques de construcción que para la síntesis de más de 2000 de compuestos con aplicabilidad en diferentes industrias. Los bloques de construcción son de diferente número de átomos de carbono como el metano, etano, propileno, butileno, y los bloques cíclicos como el benceno y el tolueno. En la refinerías de biomasa, la bioenergía y los biocombustibles son obtenidos mediante la obtención de bioetanol, biodiesel, bioaceite, biogás, biohidrógeno, biocarbón y los pellets; y los bloques de construcción son moléculas que van desde uno a seis carbonos, incluyendo moléculas con carbonos quirales donde solo uno de los isómeros se encuentra presente. También existen bloques de construcción de tipo aromático, así como la posibilidad mediante el empleo de las proteínas de obtener polímeros de interés.

Los productos de interés que se pueden obtener a partir de las biorrefinerías de biomasa tienen diferentes usos. Por ejemplo, por sus aplicaciones: industriales, en la obtención de inhibidores de corrosión y lubricantes; textiles, para fibras, nylon, tejidos, colorantes; agrícolas, para pesticidas y fertilizantes; alimentarias, para conservadores, vitaminas, empaques; medio ambientales, para floculantes y quelantes; en comunicaciones, para la obtención de cristal líquido, fibra óptica; en construcciones, para la producción de pinturas, resinas, cementos, adhesivos; en la salud e higiene, debido a que se pueden obtener detergentes, cosméticos y farmacéuticos. En el 2008, los principales productos obtenidos a partir de biomasa por volumen de producción fueron el etanol (32×10^6 Ton), la glucosa (20×10^6 Ton), la fructosa (10×10^6 Ton), el ácido acético (7×10^6 Ton), el ácido L-glutámico (1.5×10^6 Ton), el butanol (1.2×10^6 Ton), el sorbitol (1.1×10^6 Ton) y el ácido cítrico (1×10^6 Ton) (Menrad, Klein, & Kurka, 2009).

Biomasa

La biomasa es cualquier materia orgánica renovable disponible y de acuerdo a su naturaleza química se puede clasificar en biomasa de triacilglicéridos, de azúcares y almidones, y lignocelulósica (Maity, 2015).

La biomasa de triacilglicéridos consiste en aceites vegetales, animales, algas y desechos. En este tipo de biomasa, se presentan como bloques constructores al glicerol y a los ácidos grasos, los cuales están unidos mediante enlaces éster formando triacilglicéridos. El perfil de ácidos grasos varía dependiendo de su origen y de las condiciones edafológicas. La biomasa de azúcares, es reconocida generalmente como los cultivos ricos en sacarosa, como la caña de azúcar y el sorgo dulce; mientras que la biomasa de almidones es

aquella que presenta un alto contenido en esta macromolécula, como la papa y el maíz. Los bloques constructores en el caso de la sacarosa son la glucosa y la fructosa unidos por un enlace glucosídico; y en el caso del almidón el bloque constructor es la glucosa y para el caso de la amilosa se presentan enlaces α -1,4 glucosídicos y para la amilopectina se tienen enlaces α -1,4 y α -1,6 (Figura 1).

La biomasa lignocelulósica está formada por celulosa (40-50%), hemicelulosa (25-35%) y lignina (15-20%). En el caso de la celulosa el bloque constructor es la celulosa de enlaces β -1,4; para la hemicelulosa se presentan cinco bloques constructores: la xilosa, la arabinosa, galactosa, glucosa y manosa. Para la lignina los bloques constructores son compuestos aromáticos como el alcohol cumárico y los enlaces son muy diversos (Figura 2).

Figura 1. Química de la biomasa de triacilglicéridos, azúcares y almidones (Maity, 2015).

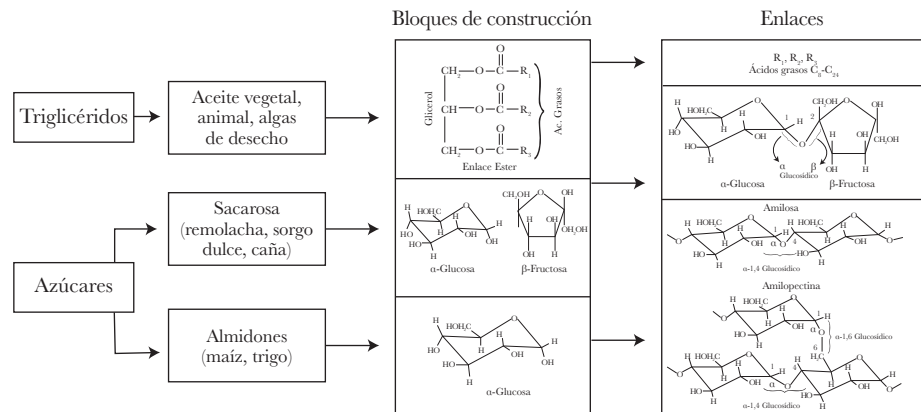
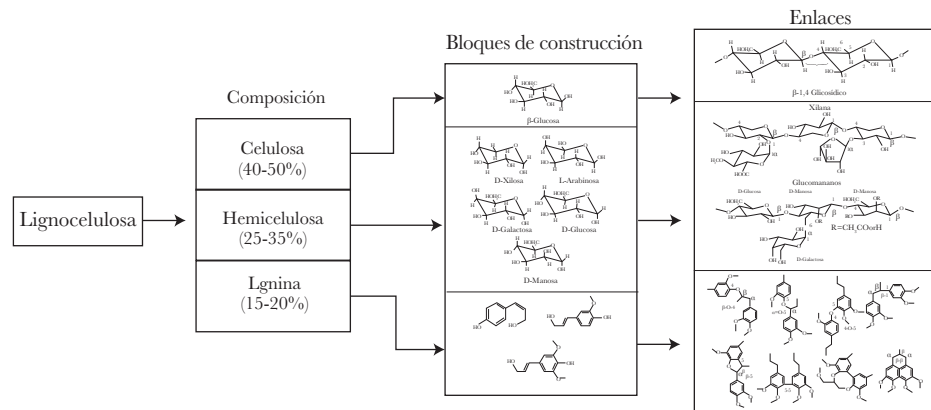


Figura 2. Química de la biomasa lignocelulósica (Maity, 2015).



Por su uso en biorrefinerías, la biomasa se clasifica en: cultivos energéticos, como el sorgo dulce y la higuera; los residuos agrícolas, como el rastrojo de maíz y la cascarilla de arroz; los residuos forestales, como el aserrín; y finalmente, los desechos municipales.

Clasificación de las biorrefinerías

Durante el desarrollo de las biorrefinerías se han propuesto tres fases (Clark, Luque, & Mathar, 2012). Las biorrefinerías de la fase I, son aquellas donde los procesos son fijos destinados a un solo producto empleando solo una materia prima. Un ejemplo sería una planta productora de biodiesel a partir de semillas de girasol, que son trituradas para la extracción de aceite, el cual es sometido

a una trans-esterificación usando metanol y un catalizador para obtener el biodiesel. Las biorrefinerías de fase II son aquellas enfocadas a obtener diversos productos a partir de una sola materia prima. Esto les permite una mayor flexibilidad en el procesamiento que puede ser orientado de acuerdo a la demanda, precios y obligaciones de contrato. Un ejemplo de esta fase es una biorrefinería que puede producir polímeros, aminoácidos y biocombustible a partir de granos de cereal, como el trigo como una fuente de materia prima. Las biorrefinerías de fase III son las más avanzadas debido a que pueden utilizar una combinación de diversas materias primas para dar lugar una amplia variedad de productos mediante una combinación de tecnologías. A su vez, las biorrefinerías de fase III pueden ser clasificadas dependiendo de la materia prima utilizada (verde, cereales, lignocelulosa o marina), la tecnología empleada (bioquímica o termoquímica) y la generación del combustible producido (primera, segunda o tercera generación).

El Laboratorio Nacional de Energía Renovable del Departamento de Energía de los Estados Unidos (US DOE/NREL), propone la clasificación de las biorrefinerías en función de la tecnología empleada: con plataforma en azúcares, con plataforma termoquímica, con plataforma de biogás, con plataforma en cadenas ricas en carbono y con plataforma en productos de plantas.

Las tecnologías para la conversión empleadas en las biorrefinerías son desarrolladas casi siempre por la naturaleza química de la biomasa, es por ello que se ha propuesto una nueva forma de clasificarlas dependiendo de la naturaleza química de la materia prima (Maity, 2015) en biorrefinerías de triacilglicéridos, biorrefinerías de azúcares y almidones y biorrefinerías de lignocelulosa.

Las biorrefinerías de triacilglicéridos son aquellas que parten de las semillas con un alto contenido de aceite, el cual es extraído para obtener el aceite y una torta. El aceite puede ser sometido a diferentes procesos como: la transesterificación, para la obtención de biodiesel y glicerol; una pirolisis, para la obtención de diésel y gasolina; un reformamiento con vapor seco, para obtener gas de síntesis; entre otros. La torta es empleada para la producción de fertilizantes, hidrógeno, metano o bien, como materia prima para una biorrefinería de lignocelulosa.

En las biorrefinerías de azúcares y almidones, los azúcares son empleados directamente y, en el caso de los almidones éstos son degradados a su bloque constructor (glucosa), para ser empleados en procesos de fermentación para la producción de diferentes compuestos de interés como el ácido láctico, ácido succínico, ácido glutámico, etanol, acetona, butanol; o bien, en procesos termoquímicos, como catálisis en fase acuosa, para la obtención de compuestos aromáticos y alcanos o por ejemplo, en la procesos de deshidratación para la producción de 5-hidroxi-metil furfural y posteriormente, ácido levulínico.

Las biorrefinerías de lignocelulosa aplican pretratamientos de diferente naturaleza (físicos, químicos, fisicoquímicos y biológicos) a la biomasa para obtener los bloques constructores correspondientes de la lignina, hemicelulosa y celulosa. Los bloques constructores de la lignina son empleados para obtener compuestos aromáticos y coque. Los bloques constructores de la hemicelulosa (pentosas) y de la celulosa (glucosa) son empleados para reacciones de deshidratación, para

la obtención de 5-hidroxi-metil furfural y furfural, respectivamente; en procesos de fermentación y termofísicos para obtener etanol, acetona, butanol, alcanos (1 a 6 carbonos), compuestos aromáticos, hidrógeno, entre otros.

Biorrefinerías y sustentabilidad

El concepto de biorrefinerías involucra la integración de diferentes disciplinas, no únicamente la parte relacionada con los procesos que se llevan a cabo, sino también con los aspectos que conforman la instalación, puesta en marcha, operación; presentando la interacción con diferentes áreas como la biotecnología, la química verde, derecho ambiental y social, ingeniería de recursos naturales, ingeniería económica, ingeniería civil, ingeniería agroindustrial, ingeniería ambiental, la ingeniería de procesos, entre otras. Una biorrefinería representa la instalación para producir biocombustibles, energía y productos de interés mediante el aprovechamiento de los residuos, bajo un enfoque de desarrollo sostenible (Ghatak, 2011). Las biorrefinerías representan una oportunidad para la instauración de tecnologías sustentables que permitan la disminución de la huella de carbono, mediante la reducción de las emisiones de dióxido de carbono al ambiente, así como tener un balance energético favorable, al que se le conoce como la tasa de retorno energético (TRE), definido como la relación entre la energía producida y la energía empleada para producirla (Ballenilla & Ballenilla, 2007). Los procesos se consideran sostenibles cuando la TRE es mayor a uno; sin embargo este valor es el mínimo que representa una coherencia energética, por ejemplo, en México, la licitación de PEMEX P4LN029001 denominada: “Adquisición de etanol anhidro para el mezclado con gasolinas en terminales de almacenamiento y reparto (TAR) de Pemex-Refinación”, donde se establece que el TRE deberá tener un mínimo de 1.8, para garantizar la sustentabilidad energética (PEMEX, 2014). Formalmente, existen procesos reportados que han permitido alcanzar valores máximos de TRE de 8. Se vuelve indispensable el desarrollar y transferir tecnologías sustentables que permitan la producción de biocombustibles, energía y productos de interés con un enfoque sustentable, teniendo valores de tasa de retorno energético mayores a los que se han reportado en la actualidad de modo que permitan el desarrollo sustentable.

Biorrefinerías instaladas

Estados Unidos es uno de los países que migra hacia la instauración de biorrefinerías, debido en parte, por ser uno de los principales países consumidores de energía. En junio de 2015, se tenían 174 plantas de biodiesel instaladas, se construían 16 y en nivel propuesta existían 6; mientras que en Canadá existían 6 plantas instaladas y se estaba construyendo una en Mount Uniacke (Biodiesel Magazine, 2015). En Estados Unidos existían 214 plantas de etanol de primera generación instaladas, 4 en construcción y 12 a nivel propuesta. Para etanol de segunda generación existían 15 instaladas, 2 en construcción y 12 en propuesta. Los Estados Unidos tenían 229 plantas de etanol con una capacidad de producción de 15 547.06 millones de litros mientras que Canadá contaba con 21 instaladas (17 de primera generación y 4 de segunda generación) con una capacidad instalada de 1 987 millones de litros (Ethanol Producer Magazine, 2015).

Existe una gran cantidad de biorrefinerías instaladas a nivel mundial, por ejemplo, el grupo Abengoa Bioenergía, en 2010 contaba con 14 biorrefinerías instaladas en España, Alemania, Reino Unido, Francia, Estados Unidos y Brasil; las cuales produjeron en conjunto: etanol, 2 915 ML; biodiesel, 225 ML; azúcar, 645 000 t; glicerina, 18, t y 1 370 000 MWh, de electricidad, teniendo ingresos por 1 575.2 millones de Euros (Abengoa Bioenergy, 2010). Cabe destacar que al ser empresas económicamente viables permiten la mejora de la calidad de vida del entorno en el cual son instaladas, puesto que generan fuentes de empleo y zonas de desarrollo.

Las biorrefinerías con plataforma termoquímica (torrefacción y pirolisis) continúan siendo muy pocas a nivel industrial, por lo que el mayor desarrollo se ha tenido empleando las plataformas de azúcares, triacilglicéridos y lignocelulosa (Kuparinen, Heinimö, & Vakkilainen, 2014). En los últimos años se ha observado un mercado creciente en la demanda de biocombustibles en respuesta tanto al agotamiento del petróleo, como a los cambios en normativas tanto nacionales como internacionales que buscan mitigar el impacto ambiental.

Conclusiones

Las biorrefinerías son una opción para la mitigación del cambio climático al disminuir la emisión de gases efecto invernadero y al considerar en su balance de ciclo de vida desde la producción de la biomasa hasta el empleo del combustible producido. Representan no sólo una opción ambiental, sino también una opción tecnológica y social para permitir el desarrollo sustentable en diferentes regiones, evitando la centralización de éstas, tal como ocurre en las refinerías basadas en petróleo. Se han propuesto diferentes clasificaciones de biorrefinerías, sin embargo la clasificación en función de la biomasa empleada en ellas, permite el agruparlas de tal modo que permitan migrar, como sucede en la actualidad, a biorrefinerías capaces de procesar diferentes materias primas. Las biorrefinerías presentan viabilidad tecnológica, económica y ambiental, para el logro del desarrollo sustentable que permita mejorar la calidad de vida.

Bibliografía

- Abengoa Bioenergy. (2010). *Abengoa Bioenergy*. Recuperado el 14 de mayo 2015, de Informe Anual 2010: http://www.abengoabioenergy.com/export/sites/abg_bioenergy/resources/pdf/acerca_de/es/Informe_Anual_2010_1.pdf
- Ballenilla, M., & Ballenilla, F. (2007). La tasa de retorno energético. *El Ecologista*, 55, 24-58.
- Biodiesel Magazine. (08 de junio de 2015). *Biodiesel Magazine*. Recuperado el 29 de junio de 2015, de <http://www.biodieselmagazine.com/plants/listplants/USA/existing/>
- Clark, J. H., Luque, R., & Mathar, A. S. (2012). Green Chemistry, Biofuels, and Biorefinery. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 3, 183-207.
- Ethanol Producer Magazine. (9 de junio de 2015). *Ethanol Producer Magazine*. Recuperado el 29 de junio de 2015, de <http://ethanolproducer.com/plants/listplants/US/Existing/All>
- Ghatak, H. R. (2011). Biorefineries from the perspective of sustainability: Feedstocks, products, and processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 4042-4052.
- Kuparinen, K., Heinimö, J., & Vakkilainen, E. (2014). World's largest biofuel and pellet plants – geographic distribution, capacity share, and feedstock supply. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 8(6), 747-754.
- Maity, S. K. (2015). Opportunities, recent trends and challenges of integrated biorefinery: Part I. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1427-1445.
- Menrad, K., Klein, A., & Kurka, S. (2009). Interest of industrial actors in biorefinery concepts in Europe. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3(3), 384-394.
- NREL. (28 de septiembre de 2009). *National Renewable Energy Laboratory*. Recuperado el 29 de mayo de 2015, de What is a Biorefinery?: <http://www.nrel.gov/biomass/biorefinery.html>
- PEMEX. (2014). *Petróleos Mexicanos*. Obtenido de <http://www.pemex.com>

Eficiencia energética en el sector agroindustrial

Energetic efficiency in the agribusiness sector

*Angelina González-Rosas³⁶

Juan Marcelo Miranda-Gómez

Fabián Fernández-Luqueño³⁷

Resumen

³⁶Universidad Tecnológica de Tulancingo, Área Electromecánica Industrial. Ingeniería en Energías Renovables. C.P. 36432, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. Tél. 52-775-7558210 ext. 26. *Contacto: angelina_gora@hotmail.com

³⁷Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav, Unidad Saltillo). Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. Saltillo, Coahuila, México.

Desde que se reconoció la interrelación energía-medio ambiente ha sido más claro que la producción, transformación, transporte y uso de energía impactan la Tierra y que esos impactos ambientales están asociados con emisiones térmicas, químicas y nucleares. En este capítulo se presentan los cálculos para cuantificar la eficiencia energética en el sector agroindustrial, en particular, en sus sistemas de bombeo, los cuales requieren para su optimización una tarifa eléctrica apropiada, reducción de pérdidas en la instalación eléctrica y motores de inducción de alta eficiencia. Además, se presentan algunas tecnologías emergentes para reducir el consumo intensivo de energía tradicional en el sector agroindustrial y se explica cómo favorecemos el medio ambiente y promovemos el desarrollo sustentable al incrementar la eficiencia energética en el sector agroindustrial.

Abstract

Since the relationship between energy-environment was recognized, it has been clear that the production, processing, transport and energy use impacts the Earth and that these environmental impacts are associated with thermal, chemical and nuclear emissions. This chapter presents calculations to quantify the energy efficiency in the agribusiness sector, particularly in pumping systems, which require an appropriated electricity tariff, reduction of losses in the electricity network and a high-efficiency asynchronous motors. In addition, some emerging technologies are presented to reduce the intensive use of traditional energy in the agribusiness sector and explains how to favor the environment and promote sustainable development by increasing energy efficiency in the agribusiness sector.

Introducción

La relación entre energía y economía se comenzó a estudiar en los 70 y en esa década la relación entre energía y medio ambiente no recibió mucha atención. En los 80 la relación energía e impacto ambiental comenzó a considerarse y en 1987 se publicó “Nuestro Futuro Común”, documento en el que se definió Desarrollo Sustentable (Wright y Boorse, 2011). Desde que se reconoció la interrelación energía-medio ambiente ha sido más claro que la producción, transformación, transporte y uso de energía impactan la Tierra y que esos impactos ambientales están asociados con emisiones térmicas, químicas y nucleares, las cuales son consecuencia necesaria de los procesos que proveen beneficios a la sociedad (Dincer y Rosen, 2007).

La relación entre desarrollo sustentable y el uso de los recursos, particularmente recursos energéticos, es de mayor relevancia para las sociedades. Por consiguiente, atender el desarrollo sustentable requiere que se usen eficientemente fuentes de energía renovable. Con base en Mansoor et al. (2013), la energía sustentable tiene dos grandes pilares: i) las energías renovables y ii) la eficiencia energética. De acuerdo con Ellabban et al., (2014) las energías renovables son fuentes de energía continuamente remplazadas por la naturaleza y se derivan directamente del sol (térmica, fotoquímica o fotoeléctrica) indirectamente del sol (eólica, hidráulica y fotosíntesis de biomasa) o de otros movimientos o mecanismos naturales en el medio ambiente (geotérmica y de mareas). Las energías renovables no incluyen recursos energéticos derivados de los combustibles fósiles o de sus desechos, ni de residuos de fuentes inorgánicas (Ellabban et al., 2014).

Eficiencia es uno de los términos más frecuentemente empleados en termodinámica; indica qué tan bien se realiza un proceso o una conversión de energía. En términos energéticos la localización, tipo y magnitud de desperdicios o pérdidas energéticas o de recursos se determinan a través de un análisis de exergía (Kanoglu et al., 2012). La exergía de un sistema es definida como el trabajo máximo que puede ser realizado por un sistema y su medio ambiente específico de referencia (Dincer y Rosen, 2007).

Debido al constante incremento en los precios de la energía y a los esfuerzos realizados para reducir la emisión de gases efecto invernadero, mejorar la eficiencia energética en la agroindustria se ha vuelto una prioridad. El ahorro de energía en la agroindustria se puede lograr a través de i) el incremento de la eficiencia energética de los procesos, ii) el remplazo de los equipos que requieren altos suministros de energía por maquinaria de última generación y iii) el uso de energías renovables (Wang, 2014).

El beneficio económico que se obtiene al incrementar la eficiencia energética de un proceso en un sector en particular no debe ser el único objetivo a alcanzar. Hay reportes que señalan que incrementar la eficiencia energética en la agroindustria también favorece la protección del medio ambiente, la sustentabilidad social, la seguridad energética y la competitividad industrial. Al respecto, hay un conjunto de tecnologías emergentes que han sido desarrolladas durante los últimos años para reemplazar, parcial o totalmente, el consumo intensivo de energía convencional en el sector agroindustrial (Liu y Liang, 2013; Dincer y Acar, 2015).

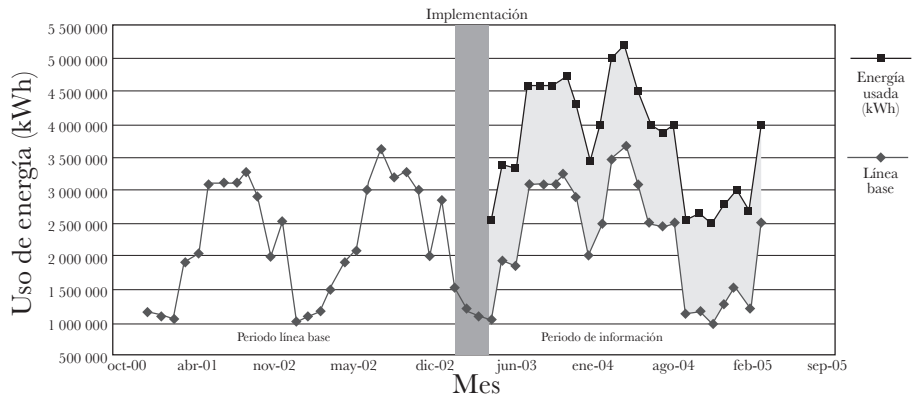
Los objetivos de este capítulo son i) explicar algunos criterios y técnicas para cuantificar la eficiencia energética en el sector agroindustrial, ii) dar a conocer algunas tecnologías emergentes para reducir el consumo intensivo de energía tradicional en el sector agroindustrial y iii) explicar cómo favorecemos el medio ambiente y promovemos el desarrollo sustentable al incrementar la eficiencia energética en el sector agroindustrial.

Criterios y técnicas para cuantificar la eficiencia energética en el sector agroindustrial

Existe la posibilidad que los procesos agroindustriales puedan reducir ciertos aspectos de su carga ambiental, a través de la creación de empresas con tecnologías de procesamiento más limpias o gracias a la mejora tecnológica de las empresas

existentes (Da Silva, 2013). En una agroindustria se miden dos tipos de energía, la energía eléctrica y la térmica, mientras que el análisis y diagnóstico energético de línea base, captura y describe el estado del sistema energético en el momento de su desarrollo; lo importante es que el diagnóstico establezca una línea base contra la cual se evalúen los efectos e impactos de mejora a implementar (Martínez, et al., 2014). Cuando la energía renovable desplaza a la energía eléctrica, que se genera a partir de combustible fósil, se puede utilizar el desplazamiento en kWh para estimar los beneficios ambientales resultantes. En programas de eficiencia energética, la clave métrica de interés es el ahorro de energía; esta cantidad no puede medirse directamente, por lo que los impactos del programa de eficiencia se estiman tomando la diferencia entre (a) el consumo real después de instalar las medidas de eficiencia energética y (b) el consumo de energía que se produce sin haber sido instaladas las medidas de eficiencia (es decir, la línea base) durante el mismo período de tiempo, como se muestra en la Figura 1 (EPA, 2007).

Figura 1. Comparación de uso de energía antes y después de implementar un programa de eficiencia energética (EPA, 2007).



El ahorro de energía se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro de energía} = (b) - (a) \pm (c)$$

donde a=uso de energía posterior a la instalación

b=uso de energía de línea base y

c=ajustes

En el programa de eficiencia energética, se pueden tomar medidas para ajustar la línea de base y/o el uso de energía posterior a la instalación para tener en cuenta otros factores, además de la medida de eficiencia energética que afectan el consumo de energía (por ejemplo, el clima, la creación de ocupación, horas de funcionamiento, etc.). La línea base refleja las condiciones normales de operación, incluye el consumo de energía y sus emisiones, que se producen sin el programa de eficiencia energética, ésta considera aspectos específicos del lugar y consideraciones políticas.

Los aspectos específicos de la línea base incluyen las características de los equipos en su lugar de operación antes de implementar la eficiencia energética y cómo y cuándo los equipos o sistemas afectados son operados. Por ejemplo, para reequipar un sistema de iluminación en forma eficiente, las decisiones iniciales incluyen el tipo de equipo de iluminación que fue reemplazado, el consumo de energía del equipo reemplazado (watts/accesorio), y cuántas horas las luminarias se mantienen operando. Las consideraciones de políticas de referencia implican

asegurar que el ahorro de energía y la demanda y las emisiones evitadas son “adicionales” a cualquiera que se produciría debido, por ejemplo, a las normas de energía federales o estatales.

También es importante tener en cuenta en qué parte del ciclo de vida de los equipos o sistemas existentes se instaló el nuevo equipo. Las opciones son: a) una rápida sustitución de los equipos que no han llegado al final de su vida útil; b) equipos nuevos más eficientes instalados para el remplazo de los equipos averiados; o c) nueva construcción. Para cada una de estas opciones, las dos aproximaciones genéricas a las líneas de base que se definen son un proyecto específico y un procedimiento estándar de rendimiento.

Con los programas de eficiencia energética, la forma común se logra a través de a) una evaluación de la tasa de consumo de los equipos existentes, basándose en mediciones o datos históricos; b) un inventario de los equipos preadaptados; o c) equipos de energía de un grupo de control (se utiliza cuando no existe una norma o cuando el proyecto es una “rápida sustitución”, es decir, implementado antes de la falla en el equipo). La mayoría de las organizaciones, al calcular sus propios ahorros, definen la línea de base de qué nuevo equipo se reemplaza realmente; es decir, la línea de base se relaciona con el consumo real de energía histórica de año base o demanda.

Se debe tener en cuenta que debido a que la identificación de este tipo de línea base siempre implica cierta incertidumbre. El segundo enfoque de líneas de base es evitar determinaciones específicas del proyecto y en su lugar tratar de garantizar la inclusión de energía cuantificada y ahorro de demanda, y las emisiones evitadas. Esto se hace mediante el desarrollo de un estándar de rendimiento, que proporciona una estimación de la energía y la demanda de referencia para todos los proyectos en un programa. La hipótesis es que cualquier actividad del proyecto producirá un ahorro adicional si las emisiones evitadas tienen una línea de base “menor” que la línea de base estándar de rendimiento (EPA, 2007).

El ahorro de energía se calcula por periodos pico o periodos fuera de pico o periodos de verano o invierno. Para calcular el consumo de energía se utilizan datos estadísticos por periodos de tiempo específicos, también existen equipos electrónicos de calidad de la energía que conectados a la línea de alimentación general o en algún área específica registran y almacenan la información en una base de datos para su posterior análisis. El resultado histórico de esta información definida en tiempo y las rutinas de operación de los equipos en la industria, sea esta agrícola o cualquier otra, define las características para tomar la decisión sobre dónde se pueden aplicar técnicas para el ahorro de energía.

La demanda de energía se calcula como sigue:

$$\text{Ahorro de demanda} = \frac{\text{Ahorro de energía}}{\text{Periodo de tiempo de ahorro de energía}}$$

El gobierno de México estima conformar una matriz energética en 35% por fuentes renovables dentro de los próximos 15 años; donde la distribución de ventas hasta el 2010 de la industria mediana y grande se estimaron en 58% y un apartado especial de bombeo agrícola con 5%, la cual tiene el segundo costo más alto, solo por abajo de la tarifa residencial de alto consumo (Residencial DAC) (IFC, 2012).

Tabla 1. Barreras para el impulso de la eficiencia energética a nivel mundial.

Fuente: AIE, 2012.

Barrera	Ejemplos
Mercado	La organización del mercado y la distorsión en los precios evitan que los consumidores visualicen el valor de la eficiencia energética. Disminución de incentivos cuando los inversionistas no pueden capturar los principales beneficios de las mejoras en eficiencia.
Financiera	Poca motivación de inversionistas derivada de altos costos iniciales y beneficios dispersos a lo largo del tiempo. Percepción de que los proyectos de eficiencia son complicados, rigurosos y con alto costo de transacción. Falta de conocimiento sobre los beneficios por parte de las instituciones financieras.
Información y conocimiento	Falta de información y entendimiento suficiente por parte de los consumidores para hacer un consumo racional y decisiones de inversión.
Regulatorias e institucionales	Tarifas energéticas que desmotivan las inversiones en eficiencia. Las estructuras de incentivos promueven la venta de energía en lugar de acciones de eficiencia energética costo efectivas. Modelos institucionales orientados hacia las inversiones para suministro de energía.
Técnicos	Falta de tecnología de eficiencia energética accesible. Capacidad insuficiente para identificar, desarrollar, implementar y mantener las inversiones en eficiencia energética.

Con base en la Estrategia Nacional de Energía 2013-2027 del gobierno mexicano y la Agencia Internacional de Energía, existen diversas barreras para el impulso de la eficiencia energética a nivel mundial (AIE, 2012; SENER, 2013; Tabla 1).

A pesar de las barreras para el impulso de la eficiencia energética a nivel mundial, uno de los ejes fundamentales del gobierno mexicano es fortalecer el programa de apoyo para la rehabilitación de sistemas de bombeo agropecuario. Un sistema típico de agua para riego agrícola representa hasta 80% del consumo de energía, del cual se pueden lograr ahorros globales del 50% en los sistemas de agua para la agricultura; donde el 29% se logra al optimizar tarifas eléctricas, reducir pérdidas en la instalaciones eléctricas, en el sistema de bombeo y pérdidas mecánicas, optimizar el factor de potencia, mejorar la eficiencia en motores eléctricos y las bombas; mientras que el 21% se consigue por optimizar la operación hidráulica del sistema de bombeo. Lo anterior mejora la sostenibilidad financiera de las unidades de riego, aumenta sus ingresos y reduce la presión sobre los cuerpos de agua y el entorno natural (Espino et al., 2011).

La tarifa eléctrica 9 es la utilizada para riego agrícola, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) dispone de las tarifas 9, 9M, 9CU y 9N. La tarifa 9 de servicio para bombeo de agua para riego agrícola en baja tensión, se aplica exclusivamente a los servicios en baja tensión que destinan la energía para el bombeo de agua utilizada en el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo, es la más cara en \$/kWh; la tarifa 9M de servicio para bombeo de agua para riego agrícola en media tensión, se aplica exclusivamente a los servicios en media tensión

que destinan la energía para el bombeo de agua utilizada en el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo; la tarifa 9CU de estímulo para bombeo de agua para riego agrícola con cargo único se aplica para la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo y rebombeo de agua para riego agrícola por los sujetos productivos inscritos en el padrón de beneficiarios de energéticos agropecuarios, hasta por la Cuota Energética determinada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), sin embargo, la energía eléctrica consumida que exceda la Cuota Energética, será facturada con los cargos de la Tarifa 9 o 9M, según corresponda; y la tarifa 9N de estímulo nocturna para bombeo de agua para riego agrícola, es la más barata en \$/kWh, y se aplica para la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo y rebombeo de agua para riego agrícola por los sujetos productivos inscritos en el padrón de beneficiarios de energéticos agropecuarios, hasta por la Cuota Energética determinada por la SAGARPA, la inscripción a esta tarifa será a solicitud del usuario, la energía eléctrica consumida que exceda la Cuota Energética, será facturada con los cargos de la Tarifa 9 o 9M, según corresponda. De acuerdo a esta información la tarifa más óptima depende de la actividad agrícola, de la demanda de energía eléctrica, la tensión a la que trabaja el sistema de bombeo, el horario de suministro y el no-exceso de consumo de energía eléctrica estipulado por el contrato actual de suministro de energía eléctrica ante la CFE.

Las pérdidas en instalaciones eléctricas se deben principalmente al mal dimensionamiento de la instalación, puntos calientes cuando no existe un buen contacto físico entre unión de conductores eléctricos, instalación de contactos eléctricos de baja calidad, empleo de extensiones eléctricas de baja calidad, calentamiento excesivo en los rodamientos de los motores de inducción del sistema de bombeo, bajo factor de potencia por exceso de cargas inductivas ocasionadas por los motores de inducción, desequilibrio de fases en la instalación eléctrica y componentes armónicos producto del uso excesivo de variadores de velocidad. Una técnica para reducir las pérdidas en un sistema de bombeo es trabajarlo a velocidad variable dependiendo de la razón de flujo de bombeo utilizando variadores de velocidad (drivers), la siguiente ecuación relaciona dos diferentes velocidades (n_1 y n_2) y la correspondiente eficiencia (η_1 y η_2)

Para bombas grandes si el cambio de la velocidad no excede el 33% la eficiencia no se ve afectada; y una reducción del 20% en la velocidad de la bomba la potencia demandada decrece al 50% la eficiencia constante de la bomba. La mayor eficiencia del sistema de bombeo se puede lograr si las partes que lo componen (motor eléctrico, variador de velocidad y la bomba mecánica) tiene alta eficiencia en la operación, la ecuación utilizada para un sistema de bombeo eficiente se define como:

$$\eta = \eta_m \eta_{VFD} \eta_p$$

donde

η_m es la eficiencia del motor;

η_{VFD} es la eficiencia del variador de velocidad; y

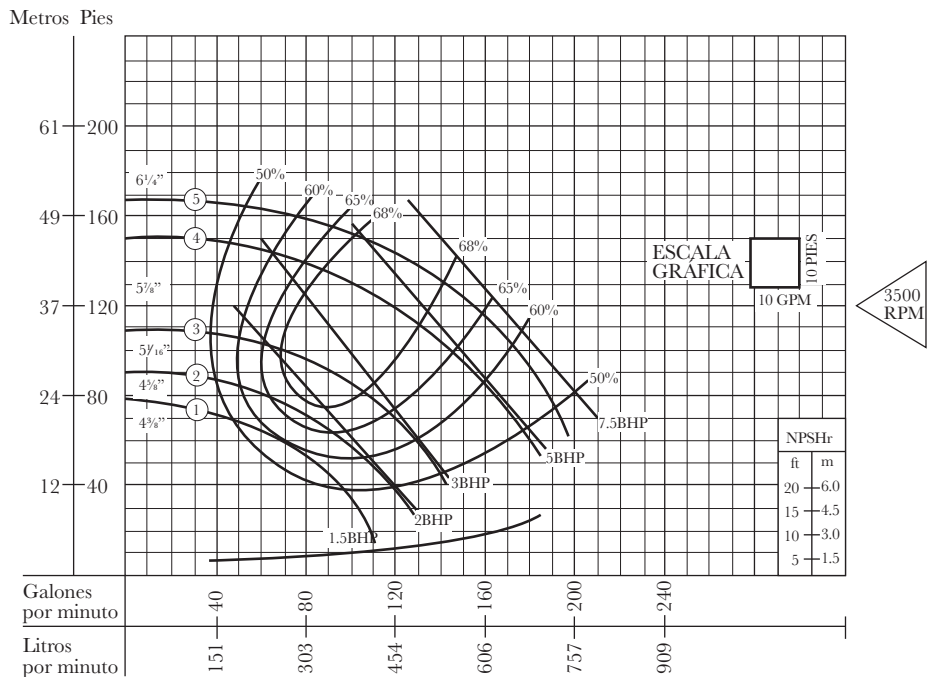
η_p es la eficiencia de la bomba

En sistemas de bombeo los motores más utilizados son los motores de inducción con alta eficiencia, permaneciendo constante si el motor opera arriba del 50% de carga. Sin embargo, el motor de imán permanente sin escobillas logra mayor factor de potencia que se refleja en mejor utilización de la potencia del motor, aunque estos son más caros entre 3-5% que los motores de inducción en el costo total de operación del sistema de bombeo; ligera variación de la eficiencia operativa podría afectar drásticamente los costos de electricidad aproximadamente en 70% durante toda su vida útil (Sarbu y Valea, 2015).

Para la selección de un sistema de bombeo centrífugo eficiente se debe considerar la razón de flujo del fluido, el diseño de las tuberías, el control del sistema de bombeo y la selección de la bomba. Las bombas se dividen en tres clases: bombas de flujo radial, bombas de flujo axial y bombas de flujo mixto. Su diseño reside en el impulsor o impelente, pudiendo lograr bombas eficientes en condiciones que varían dependiendo de la razón del flujo. Previo a la selección de una bomba en particular, se recomienda examinar la curva de rendimiento típica (Figura 2), ésta muestra la capacidad de la bomba en galones por minuto (gpm) o litros por minuto (lpm), la carga total en pies (ft) o metros (m), la eficiencia (%), potencia de entrada en caballos de vapor (CV), los requisitos del cabezal de succión en pies (ft) en un rango de caudales, el tipo y tamaño de la bomba, la velocidad de operación en revoluciones por minuto (RPM), y el tamaño del impulsor en pulgadas [in]. Un dato muy importante es el punto de mejor eficiencia de la bomba (BEP), ya que la bomba es más eficaz cuando el punto de funcionamiento está cerca del BEP.

Figura 2. Curva de rendimiento de electrobomba centrífuga de mediana presión (Barmesa, 2015).

Nota: el número en círculo encerrado indica el modelo de la bomba que se define por el tamaño del Impulsor o impelente (IB1½-X.X-X.X) de bombas fabricadas por Barmesa®.



SERIES: IB1½	1. IB1½-1.5-2
SUCCIÓN: 2" NPT	2. IB1½-2-2
DESCARGA: 1½"-1.5-2	3. IB1½-3-2
	4. IB1½-5-2
	5. IB1½-7.5-2

De la curva de la Figura 2 cada turbina tiene una curva de rendimiento que es función del tamaño del impelente y se recomienda que para reducir al mínimo el consumo de energía de un sistema de bombeo, se seleccione una bomba por lo que la curva del sistema se cruza con la curva de la bomba dentro del 20% de su BEP, se recomienda seleccionar un impulsor de gama media que se puede recortar o reemplazar para cumplir los requisitos de caudal superiores o inferiores. Y seleccionar una bomba de alta eficiencia por encima de su rango de puntos de funcionamiento. Algunos puntos de mejora de la eficiencia pueden ahorrar energía significativa en la vida de la bomba. Excesiva cavitación en bombas centrífugas reduce la eficiencia de la bomba y la puede dañar, para evitarlo se debe hacer referencia a la presión en la entrada que se define como la cabeza de succión positiva neta (NPSH), que tiene dos referencias principales: 1) la presión disponible (NPSHA) en la entrada del sistema, que es función del sistema y la velocidad de flujo, y 2) la presión requerida (NPSHR), que es función de la bomba y la velocidad de flujo. Si el NPSHA es suficientemente mayor de la NPSHR, entonces la bomba no debe producir cavitación. Una regla común en el diseño del sistema de bombeo es asegurar que el NPSHA sea entre 20-25% mayor que NPSHR para todos los caudales esperados. Cuando las bombas de gran tamaño operan en regiones muy a la derecha de sus puntos de diseño, la diferencia entre NPSHA y NPSHR puede llegar a ser peligrosamente pequeña (EDR 2010, IPT 2006).

Tecnologías emergentes para reducir el consumo intensivo de energía tradicional en el sector agroindustrial

La tecnología está entre los mayores agentes de cambio en el mundo moderno. Aunque no está exenta de riesgo, la tecnología promete soluciones innovadoras a los desafíos globales. Por ejemplo, relacionado con el tema de estudio que atañe a éste capítulo, el automóvil cero emisiones está entre las 10 tecnologías emergentes que el Foro Económico Mundial seleccionó en 2015, a través de un panel de expertos. Las tecnologías emergentes son nuevas tecnologías, las cuales surgen de las necesidades del ser humano y son más eficientes e innovadoras.

La energía es fundamental para el desarrollo sustentable porque contribuye, entre otras cosas, a mejorar los niveles de vida, favorece el acceso a la información, mejorar el suministro y calidad de agua, facilita la prestación de servicios de salud y aumenta la productividad. Adicionalmente, la energía también favorece el acceso a la educación y a la igualdad entre géneros. Si bien las energías renovables presentan diversas ventajas, algunas de las principales críticas que reciben están relacionadas con su difícil predicción y su imposibilidad de garantizar el suministro en un momento concreto, además, son energías difusas i.e. con poca potencia por unidad de superficie y emiten una cantidad considerable de CO₂ durante el proceso de producción de los dispositivos.

Algunas de las tecnologías emergentes con mayor potencial para emplearse en el sector agroindustrial están, entre otros: i) la producción de energía eléctrica a partir de residuos agropecuarios o subproductos, ii) la producción de fertilizantes orgánicos a través de procesos de composteo o vermicomposteo de alta calidad, iii) la generación de energía eléctrica o biocombustibles a partir

de residuos agroindustriales, iv) la refrigeración como nueva aplicación de la energía solar térmica, v) desinfección fotolítica, fotocatalítica o desalación de agua y vi) hornos y cocinas solares.

Además, para los sistemas productivos de empresas agroindustriales de mayor requerimiento de energía, por su tamaño o por sus procesos, existen también sistemas de alta temperatura como los dispositivos con concentradores y seguimiento solar.

Cuidado del medio ambiente y promoción del desarrollo sustentable al incrementar la eficiencia energética en el sector agroindustrial

Las energías renovables y la eficiencia energética se mencionan como pilares de la energía sustentable (Mansoor et al., 2013), se relacionan con el cuidado del medio ambiente y con la promoción del desarrollo sustentable. No obstante, estudios recientes han cuestionado algunos aspectos fundamentales de las energías renovables.

Tabla 2. Beneficios potenciales y limitaciones tecnológicas de la energía de biomasa.
Fuente: Ellaban et al., (2014).

Beneficios potenciales	Limitaciones tecnológicas
<i>Ganancias ambientales</i>	<i>Amenazas ambientales</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de dependencia y daño ambiental por productos derivados del petróleo y combustibles fósiles - Menores emisiones de gases efecto invernadero - Reducción de esmog y emisiones de gases tóxicos - Uso de desperdicios orgánico reduce la necesidad de rellenos sanitarios 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de zonas protegidas para la producción de biomasa - Agotamiento de fuentes de agua locales - Incremento en la demanda de fertilizantes y pesticidas - Favorece el cambio climático por las emisiones de CO₂ - Reducción de biodiversidad por contaminación de suelo o por introducción de especies vegetales - Incremento de emisiones de C articulado por quema de madera
<i>Beneficios económicos</i>	<i>Tecnologías asociadas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Recursos relativamente económicos - Las fuentes de energía distribuidas localmente proveen energía constante y confiable - Estabilidad en precios - Generación de oportunidades de empleo en áreas rurales - Uso de residuos orgánicos como fuente de biomasa inagotable 	<ul style="list-style-type: none"> - Colección y almacenamiento de materias primas - Pretratamiento de biomasa - Producción enzimática - Costo de la generación y mantenimiento de la tecnología

Si bien las energías renovables tienen algunos aspectos que recientemente han sido cuestionados, la eficiencia energética toma ventaja y se coloca como la principal estrategia para el ahorro de energía, en favor del desarrollo sustentable. No solo es importante cómo se genera la energía eléctrica o los combustibles, cómo se distribuyen y abastecen a una sociedad demandante de fuentes de energía.

También debemos pensar en qué podemos hacer para consumir menos energía o combustibles y recordar que detrás de cada kWh de energía, hay una gran cantidad de agua, contaminación y afectaciones ambientales, sociales y culturales.

Ellaban et al. (2014), reportan además una serie de ventajas y desventajas de las diferentes fuentes de energías renovables (Tabla 3).

Fuente de energía	Ventaja	Desventaja
Biomasa	<ul style="list-style-type: none"> - Abundante y renovable - Puede emplearse para incinerar residuos 	<ul style="list-style-type: none"> - Quema de biomasa podría generar contaminación de aire - Podría no ser conveniente, económicamente
Geotermia	<ul style="list-style-type: none"> - Fuente ilimitada de aporte de energía - No produce contaminación de aire o agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo inicial y de puesta en marcha puede ser caro - Costo de mantenimiento es caro, por corrosión
Hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> - Abundante, limpia y segura - Fácilmente almacenable - Producción relativamente barata - Ofrece beneficios recreativos (pesca, paseo en bote, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Causa la inundación de gran superficie de suelo - Presas implican un gran daño ambiental - Solo puede emplearse si se cuenta con agua - Los mejores lugares para construir presas ya están utilizados
Marina	<ul style="list-style-type: none"> - Ideal para países con playas - Captura energía que de otra forma no podría ser empleada 	<ul style="list-style-type: none"> - La construcción es costosa - Negativo impacto sobre vida silvestre - Requiere mucho espacio y limita la navegación
Solar	<ul style="list-style-type: none"> - Aporte de energía potencialmente infinito - No causa contaminación de agua o aire 	<ul style="list-style-type: none"> - Podría no ser rentable - Almacenamiento y respaldo son necesarios - Confiabilidad depende del la luz del sol
Eólica	<ul style="list-style-type: none"> - Las granjas eólicas son relativamente baratas de construir - No causa contaminación de agua o aire - Suelos alrededor de las turbinas podría tener otro uso 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere constante viento - Las granjas eólicas requieren mucho suelo - Afectan el paisaje - Se requieren mejores tecnologías para almacenar energía

Tabla 3. Ventajas y desventajas de las diferentes fuentes de energía renovable.

Fuente: Ellaban et al., (2014).

También se han reportado impactos negativos relacionados con las fuentes renovables de energía (Tabla 4).

Tabla 4. Impactos negativos relacionados con las fuentes renovables de energía.

Fuente: Ellaban et al., (2014).

Fuente de energía	Potenciales impactos negativos sobre el medio ambiente
Biomasa	Podría no ser carbono neutral, podría liberar gases efecto invernadero, cambio de uso de suelo, deterioro de la productividad del suelo y producción de residuos tóxicos
Geotermia	Hundimientos, cambio de uso de suelo, contaminación de agua y emisiones atmosféricas
Hidráulica	Cambio del ecosistema, cambio de las condiciones climáticas, impacto social y cultura
Marina	Cambio del paisaje, reducción de la circulación y movimiento del agua, muerte de peces, cambios en el ecosistema
Solar	Erosión de suelo, alteración del paisaje, producción de desechos
Eólica	Ruido en el área, cambio de uso de suelo, erosión del suelo, muerte de aves

Conclusión

Existen diversas estrategias para determinar e incrementar la eficiencia energética en el sector agroindustrial, sin embargo, la asesoría de un experto es necesaria para obtener ahorros significativos. Desde algunos sistemas como los calentadores solares o las estufas solares de arcilla o cerámica, hasta poderosos concentradores solares o celdas fotovoltaicas de última generación, están disponibles para que la agroindustria mexicana ahorre energía. Si bien, muchos de los sistemas de producción de energía existentes en el mercado se promueven como energías renovables, es importante considerar que en muchos casos, será necesario realizar un análisis de ciclo de vida, porque aún las energías renovables emiten CO₂, favorecen la liberación de contaminantes y requieren grandes cantidades de agua en sus respectivos procesos de producción o durante su operación.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de sus respectivas instituciones de adscripción.

Bibliografía

- AIE; Agencia Internacional de Energía. (2012). *Energy Technology Perspectives 2012*. Recuperado el 12 de junio de 2015 de https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ETP2012_free.pdf
- Barmesa® (2015). *Electrobomba centrífuga media presión*. Recuperado el 12 de junio de 2015 de http://barmesa.mannpumps.com/ficha-tecnica_ib-series_mx.pdf
- EDR, Energy Design Resources. (2010). *Design brief, centrifugal pump application and optimization*. Recuperado el 12 de junio de 2015 de <http://energydesignresources.com/resources/publications/design-briefs/design-brief-centrifugal-pump-application-and-optimization.aspx>
- Ellabban, E., Abu-Rub, H. & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.
- Da Silva, C. A., Baker, D., Shepherd, A., Jenane, C., & Miranda, D. C. S. (2013). *Agroindustrias para el desarrollo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, Roma, p. 316.
- Dincer, I., & Rosen, M.A. (2007). *Exergy; energy, environment and sustainable development*. Elsevier. Oxford, UK. 454 pp.
- Dincer, I., & Acar, C. (2015). A review on clean energy solutions for better sustainability. *International Journal of Energy Research*, 39(5), 585-606.
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.
- EPA. Environmental Protection Agency. (2007). *Model Energy Efficiency Program Impact Evaluation Guide*. Recuperado el 12 de junio de 2015 de http://www.epa.gov/cleanenergy/documents/suca/evaluation_guide.pdf
- Espino, P. J. F., Pedraza-Martínez J. A. & Hernández-Yáñez C. (2011). *Estudio de Sistema de Bombeo Agropecuario en México*. Recuperado el 12 de junio de 2015 de <http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7483/2/bombeoagua.pdf>.
- IFC, Corporación Financiera Internacional. (2012). *Estudio de Mercado del Financiamiento de Energías Sostenibles en México*. Reporte Final, Recuperado el 12 de junio de 2015 de <http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/d75f9c004cf49a3bafaceff81ee631cc/October+2012-Market+Study+of+SEF+in+Mexico-ES.pdf?MOD=AJPERES>
- US-IPT, Industrial Technologies Program. (2006). *Improving pumping system performance. A Sourcebook for Industry*. Second Edition, p. 38. Recuperado el 12 de junio de 2015 de https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/pump.pdf
- Kanoglu, M., Cengel, M., & Dincer, I. (2012). *Efficiency evaluation of energy systems*. Springer. NY, USA. 170 pp.
- Liu, H., & Liang, D. (2013). A review of clean energy innovation and technology transfer in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 486-498.
- Mansoor, M., Marium, N., Ismail, N., & Wahab, N.I.A. (2013). A guidance chart for most probable solution directions in suitable energy developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 306-313.

- Martínez-Ruíz P. M. & Cosme-Moñino J. M. (2014). *Eficiencia Energética en empresas del Sector Agroalimentario*. Agencia Extremeña de la Energía, España, pp. 80.
- Sarbu, I. & Valea, E. S. (2015). Energy Savings Potential for Pumping Water in District Heating Stations. *Sustainability*. 7: 5705-5719.
- SENER, Secretaría de Energía. (2013). *Estrategia Nacional de Energía 2013-2027*. Recuperado el 12 de junio de 2015 de http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/ENE_2013-2027.pdf
- Wang, L. (2014). Energy efficiency technologies for sustainable agriculture and food processing. In: *Sustainable Energy Solutions in Agriculture*. Bundschuc, J., & Chen, G., (Eds.). CRC. London, UK. 97-122 pp.
- Wright, R.T., & Boorse, D.F. (2011). *Environmental science, toward a sustainable future*. 11th Edition. USA. 674 pp.

Nueva tecnología de producción de etanol 2G a partir de hidrolizado de bagazo de caña de azúcar

New technology to produce second-generation ethanol from sugarcane bagasse hydrolysate

*Dussán K.J.; Silva D.D.V.³⁸
Brumano L.P.; Silva S.S.

Resumen

Departamento de Biotecnologia, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, São Paulo, Brasil. Estrada Municipal do Campinho s/n, CEP 12602-810, Tel.: +5531595146.

**Contacto: kjdm16@gmail.com*

Las actuales perspectivas de escasez del petróleo se han prorrogado en varias ocasiones debido al descubrimiento de nuevas reservas, las cuestiones relacionadas con la inestabilidad política y social en los principales países productores y el conocimiento sobre los efectos nocivos para el medio ambiente por el uso de combustibles fósiles han impulsado la búsqueda mundial por la posibilidad de utilizar biocombustibles. En la actualidad, la atención se centra en la biomasa con el objetivo de producir bioetanol de segunda generación. Teniendo en cuenta que nuevas tecnologías están siendo desarrolladas buscando optimizar los procesos de pretratamiento, hidrólisis, fermentación y separación utilizando materiales lignocelulósicos como materia prima, el bioelectromagnetismo y particularmente biorreactores asistidos por campos magnéticos constituyen una reciente y prometedora área de investigación dentro del campo de la biotecnología a través de la cual es posible estudiar alternativas en la etapa de fermentación de pentosas y/o hexosas que resulten en un aumento en el rendimiento y/o productividad del proceso de obtención de etanol de segunda generación a partir de materiales lignocelulósicos.

Abstract

Although the prospects for oil shortages have been extended on several occasions, due to the discovery of new reserves, the issues related to the political and social instability in the main producing countries and the knowledge regarding the harmful effects of environmental by the use of fossil fuels have driven the global search for the possibility of using biofuels. Currently, the focus is on biomass valorization with the objective of second-generation ethanol production. Bearing in mind that, new technologies are being developed aiming to optimize the processes of pretreatment, hydrolysis, fermentation and separation using lignocellulosic materials as raw material. In this context, the bioelectromagnetism and particularly bioreactors assisted by external magnetic fields stand for a new and promising research within the biotechnology field through which it is also possible to study the fermentation of pentose and/or hexose as an alternative that allow improve the yield and/or productivity of fermentation process from lignocellulosic biomass aiming second-generation ethanol production.

Introducción

El uso indiscriminado de combustibles fósiles es reconocido como el principal motor del cambio global debido al aumento de las emisiones de CO₂ en la atmósfera, siendo visto como la causa de problemas relacionados con el cambio climático. Brasil inició un programa en la década de 1970, para substituir la gasolina por etanol ante la gravedad de estos hechos. La caña de azúcar fue elegida como materia prima para producir etanol, y en consecuencia, los estudios tanto en áreas tecnológicas como en la agricultura fueron intensificadas. Sin embargo, debemos tener en cuenta que un tercio de la planta es utilizada para la producción de azúcar, otro tercio corresponde al bagazo que en la mayoría de las usinas es quemado para producción de electricidad y el tercio restante se utiliza por lo general en diversas aplicaciones, como por ejemplo, alimento para animales, especialmente para los rumiantes, y no obstante existe un excedente de bagazo que queda disponible en el campo. Un aumento significativo en la producción de etanol sería posible con el desarrollo de nuevas tecnologías que permitieran convertir los polisacáridos presentes en las hojas, paja y bagazo de la caña de azúcar que representan dos tercios de esta biomasa.

Innúmeros trabajos de investigación se han realizado con el objetivo de posibilitar los procesos de fermentación de pentosas, azúcares presentes en los materiales lignocelulósicos, utilizando diversas cepas, como por ejemplo, *Scheffersomyces stipitis*, *Scheffersomyces shehatae* y *Spathaspora arborariae*, para la producción de etanol de segunda generación. De acuerdo con la literatura científica, el proceso de fermentación debe estar bien establecido para aplicaciones a gran escala y diversos factores tales como la concentración inicial de sustrato y células, la influencia de la suplementación nutricional, aireación, pH y agitación deben ser evaluados para conseguir mejorar la productividad y rendimiento de etanol. Estudios en medios sintéticos e hidrolizados usando frascos Erlenmeyer y reactores de bancada han mostrado resultados prometedores con relación a la optimización de estos factores. Además deberá tenerse en cuenta que el proceso de fermentación presenta dificultades en lo que respecta al ajuste del metabolismo microbiano para el consumo de pentosas, dando lugar a valores bajos de productividad y rendimiento de etanol, como consecuencia de los grandes tiempos de fermentación. Nuevos enfoques deben ser desarrollados para la optimización del proceso de fermentación de pentosas.

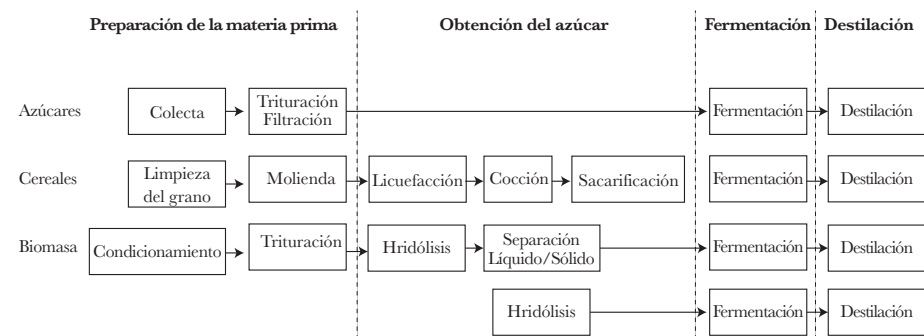
En la última década, se han presentado avances en cuanto a la aplicación de campos magnéticos o electromagnéticos de baja y alta frecuencia (microondas) en el desarrollo de bioprocesos buscando el mejoramiento de las productividades y rendimiento. El Biomagnetismo puede ser aplicado a la ingeniería de procesos y es un tema relativamente nuevo. Biorreactores (fermentadores) con aplicación de campos electromagnéticos de baja frecuencia e intensidad están siendo estudiados ya que ellos permiten ser operados en diferentes configuraciones. Sin embargo, dado el carácter innovador de esta tecnología, estudios básicos a nivel de laboratorio son necesarios para evaluar las ventajas técnicas y económicas de estos procesos; la ejecución posterior en una escala industrial que se traduciría en algunos casos en ventajas como una mayor eficiencia y facilidad en la recuperación de los biocatalizadores, lo que

permitiría el uso de sistemas de lotes repetidos o sistemas continuos, permitiendo el uso de flujos altos de alimentación sin peligro de “washout”.

Producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica

La producción de etanol combustible a partir de biomasa lignocelulósica envuelve varias etapas, entre ellas se encuentran: pretratamiento, hidrólisis de la celulosa, fermentación de hexosas/pentosas, separación, destilación y tratamiento de efluentes (Ojeda & Kafarov, 2009). En los últimos años se ha realizado intensos esfuerzos para desarrollar tecnologías eficientes para las etapas de pretratamiento de materiales lignocelulósicos, búsqueda de enzimas que permitan una etapa de sacarificación eficiente de la celulosa/hemicelulosa y tecnologías apropiadas para la fermentación de los azúcares C6 cuanto C5. La Figura 1 muestra las diferencias entre los procesos de obtención de etanol de diferentes fuentes de materias primas.

Figura 1. Procesos para la obtención de etanol con diferentes materias primas. Adaptado de Quintero, Rincón, and Cardona (2011).



Pretratamiento de la biomasa lignocelulósica

Desde un punto de vista económico, el pretratamiento es una etapa clave en el proceso de bioconversión de la biomasa porque éste debe mejorar la separación de los componentes de la pared celular, evitando la formación de compuestos que inhiban los procesos posteriores de fermentación. Muchos métodos se han utilizado para el tratamiento de biomasa lignocelulósica. Entre ellas se encuentran: explosión de vapor, lavado alcalino, cal, peróxido de hidrógeno alcalino, hidrólisis con ácidos diluidos, explosión con amonio, agua caliente y oxidación húmeda, entre otros (Balat, 2011; A. K. Chandel, Giese, Antunes, Santos Oliveira, & da Silva, 2013; Mosier et al., 2005).

El proceso de pretratamiento en la mayoría de los casos genera una fracción sólida comúnmente conocida como celullignina y una fracción líquida conocida como hidrolizado hemicelulósico. El pretratamiento puede formar algunos subproductos que interfieren negativamente en el proceso de fermentación de pentosas, tales como el ácido acético que se forma por hidrólisis del grupo acetilo presentes en la hemicelulosa; ácido fórmico y ácido levulínico, productos de degradación de azúcar; compuestos fenólicos, formados principalmente por degradación parcial de la lignina; furaldehídos y aldehídos o furanos, furfural y 5-hidroximetilfurfural se forman principalmente por la degradación de pentosas y hexosas, respectivamente (Martín, Almazán, Marcet, & Jönsson, 2007).

Todos estos compuestos, así como la liberación de metales de equipos hidrólisis son inhibidores potenciales del metabolismo microbiano. Para

aliviar o incluso eliminar los efectos de los inhibidores, es necesario tratar los hidrolizados para ser utilizados en procesos de fermentación.

Métodos de destoxificación

Diferentes métodos de destoxificación pueden ser aplicados, y en la mayoría de los casos, los inhibidores son parcialmente eliminados y se transforman en compuestos inactivos (Olsson & Hahn-Hägerdal, 1996; Parajó, Domínguez, & Domínguez, 1998). La elección del método de destoxificación dependerá del tipo de hidrolizado y del microorganismo a ser empleado en la etapa de fermentación (Olsson & Hahn-Hägerdal, 1996).

La etapa de destoxificación cuenta con una variedad de tratamientos físicos, químicos y biológicos que son utilizados para remover estos compuestos tóxicos y pueden ser aplicados individualmente o combinados (Palmqvist & Hahn-Hägerdal, 2000). Se han propuesto como estrategias de destoxificación métodos neutralizantes, adsorción por resinas de intercambio iónico, adsorción con carbón activado y “overliming” con hidróxido de calcio, entre otros (A. Chandel, da Silva, & Singh, 2013). Entre las metodologías presentadas, la técnica de “overliming” es la más utilizada debido a la eliminación parcial de los inhibidores tóxicos, tales como furfural y hidroximetilfurfural. Un método que está siendo utilizado en conjunto con la técnica de “overliming” para disminuir la concentración de ácido acético y fenoles de los hidrolizados es la adsorción con carbón activado ya que permite una mayor eficiencia en el proceso de remoción de compuestos tóxicos y prepara los hidrolizados para la etapa de fermentación (Alves, Felipe, Silva, Silva, & Prata, 1998; Cardona, Quintero, & Paz, 2010).

Microorganismos productores de etanol

El uso integral de la biomasa como fuente de materia prima lignocelulósica presenta la necesidad de estudiar los microorganismos que son capaces de convertir pentosas a etanol, tales como levaduras de los géneros *Candida*, *Scheffersomyces*, *Schizosaccharomyces*, *Kluyveromyces* y *Pachysolen*, hongos filamentosos como *Fusarium*, *Mucor*, *Monilia* y *Paecilomyces* y bacterias como *Clostridium*, *Bacillus*, *Bacteroides*, *Thermoanaerobacter* y *Erwinia*. Entre estos microorganismos las levaduras *Scheffersomyces shehatae*, *Scheffersomyces stipitis* y el hongo *Fusarium oxysporum* han presentado altos rendimientos de etanol (>0.45 g de etanol/g de xilosa) y productividades satisfactorias (>0.17 g/L/h) (Millati, Edebo, & Taherzadeh, 2005; Mussatto, Machado, Carneiro, & Teixeira, 2012; Singh, Kumar, & Schügerl, 1992).

Otra alternativa para la producción de etanol a partir de pentosas es el uso de microorganismos recombinantes (Eliasson, Christensson, Wahlbom, & Hahn-Hägerdal, 2000). Hay dos líneas principales de investigación de microorganismos recombinantes, los primeros tienen como objetivo la modificación del metabolismo de los microorganismos tradicionales productores de etanol (*Saccharomyces cerevisiae* y *Zymomonas mobilis*) para que puedan fermentar xilosa y arabinosa. El segundo introdujo genes de microorganismos que tienen la capacidad de metabolizar pentosas en etanol, tales como *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca* y *Erwinia* (Dumsday, Jones, Stanley, & Pamment, 1997).

Aunque la eficiencia de microorganismos recombinantes es alta, muchas veces su uso en procesos industriales no es factible ya que éstos generalmente no son suficientemente estables y en muchos casos los medios de cultivo son complejos, lo que podría impedir el proceso a nivel industrial (Dumsday et al., 1997). Las levaduras como *Scheffersomyces stipitis* y *Scheffersomyces shehatae* han mostrado ser interesantes debido a que consiguen fermentar xilosa presentando altos rendimientos y aparentemente no producen xilitol como un subproducto (Nigam, 2002; Xavier et al., 2014). Además de estos factores, la levadura *Scheffersomycesstipitis* solo requiere la adición de nutrientes para la etapa de fermentación y es capaz de fermentar una variedad de azúcares, incluyendo celobiosa (Eken-Saraçoglu & Arslan, 2000; Nakamura, Sawada, & Inoue, 2001).

Varios estudios llevados a cabo en frascos Erlenmeyer y biorreactores usando las levaduras *Scheffersomyces stipitis* y *Scheffersomyces shehatae* han demostrado resultados prometedores en cuanto a la conversión de xilosa a etanol a partir de hidrolizados de biomasa lignocelulósica, por ejemplo, bagazo de caña de azúcar, paja de arroz, entre otros (Bellido, González-Benito, Coca, Lucas, & García-Cubero, 2013; Cadete et al., 2012; K. J. Dussan, Machado, Silva, & Da Silva, 2011).

Biorreactores utilizados en los procesos fermentativos

La elección del modelo de biorreactor para un proceso determinado, teniendo en cuenta la utilización de las técnicas de inmovilización o no, es una etapa muy importante, ya que el conocimiento de la cinética de la reacción y la forma como los reactores biológicos trabajan son fundamentales para la eficiencia del proceso (Doran, 1997). Cuando se trata del modelo de biorreactor a ser utilizado deben ser considerados aspectos como modo de operación, condiciones de proceso, configuración y tamaño del biorreactor, ya que estos aspectos ejercen un impacto significativo en el proceso (Schmidell, Lima, Aquarone, & Borzani, 2001).

La operación por lotes, especialmente en tanques agitados es una opción relativamente económica y flexible que puede ser utilizada en muchos procesos industriales; ya la operación continua requiere modelos específicos de biorreactores y presume un enorme gasto de capital para su implementación, pero tienen ventajas como menores costos de mantenimiento y control automático (Mazid, 1993).

Existen varias maneras de clasificar biorreactores. La Figura 2 presenta una forma mixta de clasificación que es la más utilizada hasta el momento.

En la producción de etanol, tanto para bebidas como para combustibles, diversas configuraciones de biorreactores emplean células inmovilizadas (Roukas, 1994). En la mayoría de los casos se utilizan en biorreactores de lecho empacado en lote o continuos, además de tanques agitados de flujo continuo (Goksungur & Zorlu, 2001). Así, varios modos de operación y configuraciones han sido probados y comparados, especialmente en cuanto a la eficiencia y la productividad en etanol. Entre estos biorreactores se pueden mencionar: de lecho fluidizado, de lecho empacado o reactores agitados operados en discontinuo o por lotes alimentados y de manera continua.

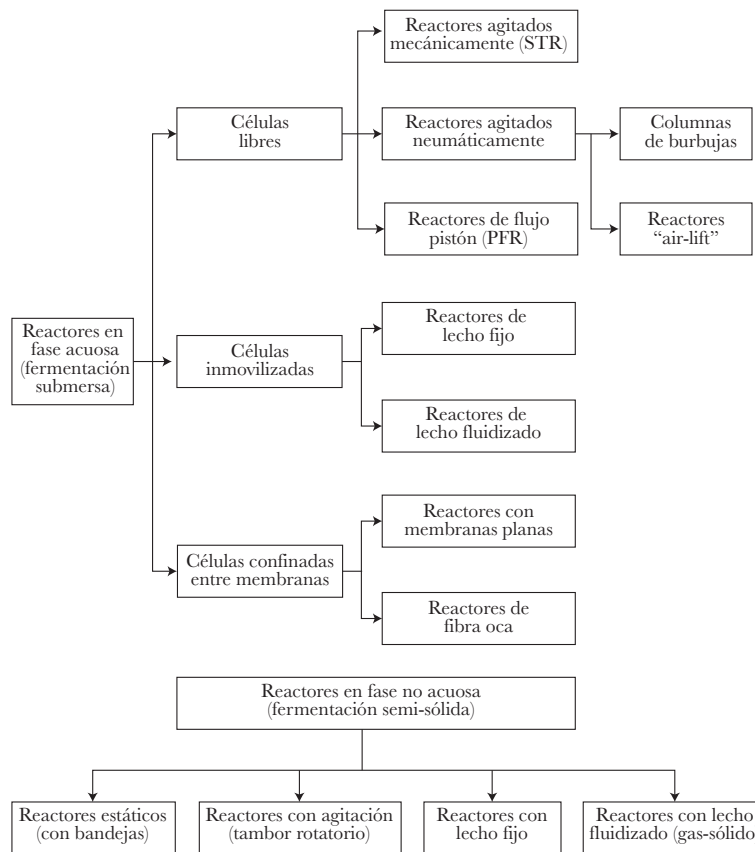


Figura 2. Clasificación general de los biorreactores. Adaptado de Schmidell et al. (2001).

El uso de células inmobilizadas permite obtener altas densidades de células en el reactor, y facilita su recuperación, permitiendo su uso en sistemas con lotes repetidos. La operación en los sistemas continuos también se ve facilitada, lo que permite el uso de altos flujos específicos de alimentación, evitando el “lavado del biorreactor”-“washout” (Ramakrishna & Prakasham, 1999). Varios soportes han sido utilizados en la fermentación alcohólica con células inmobilizadas, como por ejemplo, la fermentación de glucosa por las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* (Kishimoto, Nitta, Kamoshita, Suzuki, & Suga, 1997; Najafpour, Younesi, & Ku Ismail, 2004), *Kluyveromyces marxianus* (Riordan et al., 1996), y *Candida tropicalis* (Jamai et al., 2001) inmobilizadas en alginato de sodio y la levadura *Saccharomyces cerevisiae* inmobilizada en zeolita natural (Shindo, Takata, Taguchi, & Yoshimura, 2001) y en cascara de naranja (Plessas et al., 2007). La fermentación de mezclas de glucosa y xilosa por las células *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida shehatae* inmobilizadas en carregena-k (Nigam, 2000). La fermentación del suero por la levadura *Saccharomyces kefir* inmobilizada en un material celulósico deslignificado (Kourkoutas et al., 2002). Finalmente, diferentes tipos de biorreactores, tales como reactor de lecho fijo, reactor de lecho fluidizado y reactor de gas-lift han sido utilizados en los procesos de fermentación de azúcares utilizando biocatalizadores inmobilizados. Sin embargo, en hidrolizados hemicelulósicos provenientes de biomasa lignocelulósicas para producción de etanol son pocos los estudios encontrados con células inmobilizadas y en la mayoría de los casos son inmobilizadas en alginato de sodio (K.J. Dussan, 2013; Milessi, Antunes, Chandel, & da Silva, 2015).

Influencia de los campos magnéticos en células microbianas

Los efectos biológicos de los campos electromagnéticos de frecuencia baja han atraído la atención de muchos investigadores, no sólo por establecer los mecanismos básicos de esta interacción, sino también debido a sus aplicaciones prácticas posibles. Sin embargo, los mecanismos por los que estos campos pueden interactuar con el sistema biológico no están claros. Los efectos biológicos de los campos electromagnéticos han sido estudiados, especialmente en las células (mamíferos, células T, tejidos, tumores), biomoléculas, reacciones químicas, microorganismos (Polk & Postow, 1996) y en la interacción con las membranas celulares (Bauréus Koch, Sommarin, Persson, Salford, & Eberhardt, 2003).

Moore (1979) publicó sobre la estimulación e inhibición del crecimiento de cinco especies de bacterias y levaduras y encontró una dependencia entre la intensidad y la frecuencia del campo electromagnético y el tipo de bacterias. Esta estimulación e inhibición del crecimiento microbiano se ha estudiado por otros autores (Ceon, Martin, & Powell, 1987; Chacón et al., 1996; Fojt, Strasak, Vetterl, & Smarda, 2004; Ivanova, Hristov, Dobрева, Al-Hassan, & Penchev, 1996; Rao, Sonolikar, & Saheb, 1997). En particular, en un estudio sobre la influencia que el campo electromagnético ejerce sobre una suspensión celular de *Candida utilis* Y-660, fue observado que los campos electromagnéticos de frecuencia baja aceleran significativamente el crecimiento celular durante la fermentación en la fase sumergida en ciertas combinaciones de inducción electromagnética y tiempos de exposición (Chacón et al., 1996). Según Siannah, González, Melek, and Cabeza (1999) el campo electromagnético mostró una influencia positiva sobre el crecimiento de *Trichoderma viride* para la producción de biopesticida en un sistema de fermentación utilizando un soporte sólido en columnas de vidrio. Varios dispositivos generadores de campo magnético se han desarrollado para llevar a cabo la investigación sobre los efectos de los campos magnéticos en materiales biológicos. Estos dispositivos permiten exponer cultivos de células al campo magnético en sistemas pequeños, tales como placas de Petri, tubos inclinados o pequeños frascos y recipientes para suspensiones de células.

De acuerdo con estas observaciones se puede considerar que algunos de los efectos primarios de campo magnético constante y de frecuencia baja, al interactuar con los sistemas biológicos, presentan cambios o modificación de la permeabilidad y el potencial de reposo de las membranas celulares de los procesos favoreciendo unión por la existencia de receptores específicos (magnetosomas) hormona-receptor y mejora del acoplamiento específico, además de la estimulación en la síntesis de ADN, influyendo en el proceso de reproducción celular, entre otros (Perez, Reyes, Justo, Alvarez, & Alegre, 2007). En bioprocesos, la aplicación de campos magnéticos o electromagnéticos incluye una amplia gama de fenómenos que van desde cambios en las tasas de crecimiento, inhibición, estimulación y en la producción de metabolitos, entonces deben ser considerados como parámetros de análisis la intensidad de campo, la frecuencia, la forma de impulsos, la intensidad y el tiempo de exposición magnética (Hunt, Zavalin, Bhatnagar, Chinnasamy, & Das, 2009).

Los resultados contradictorios y la falta de reproducibilidad son problemas típicos en la investigación con campos magnéticos, y la diferencia entre los resultados obtenidos por diferentes investigadores pueden producirse

por varios factores tales como el tipo de sistema de generador de campo, la intensidad de campo, el tipo de dirección de flujo (oscilatoria o estática), el tiempo de contacto del microorganismo con el campo, la densidad celular y el medio de fermentación (por ejemplo, el tipo de medio y sus nutrientes) y otras condiciones físicas y químicas que afectan el proceso de bioestimulación por las fuerzas electromagnéticas (Hunt et al., 2009; Mittenzwey, Süßmuth, & Mei, 1996).

Birreactores asistidos por campos magnéticos o electromagnéticos visando la obtención de etanol

Biorreactores asistidos magnéticamente ofrecen ventajas potenciales sobre los reactores convencionales de lecho fluidizado, tales como la eliminación de mezcla de sólidos, baja caída de presión en el lecho, facilidad en el transporte de sólidos, así como la posibilidad de funcionar con altas velocidades de flujo e incluso operación en contracorriente. Estos biorreactores han sido considerados como sistemas eficientes junto con células y/o enzimas magnéticamente inmovilizadas para procesos de biocatálisis y biotransformación (Chun-Zhao, Feng, & Fan, 2009).

Algunos trabajos se refieren a la aplicación de campos magnéticos y electromagnéticos en procesos de fermentación alcohólica utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y recientemente procesos de producción de etanol de segunda generación utilizando hidrolizados hemicelulósicos y la levadura *Scheffersomyces shehatae*.

Ivanova et al. (1996) analizó la viabilidad de la aplicación del campo magnético de 800 a 2600 Gauss en el proceso de fermentación continua para la producción de etanol, con células de *Saccharomyces cerevisiae* inmovilizadas y medio de cultivo compuesto por glucosa con concentración de 110-180 g/L y nutrientes a 32°C. El proceso de fermentación fue realizado con campo magnético transversal al escoamiento del fluido. Los autores obtuvieron como resultado, un aumento en la concentración de etanol y velocidad de consumo del sustrato, comparado con el proceso convencional.

Motta, Montenegro, Stamford, Silva, and Silva (2001) estudiaron la influencia del campo magnético en el cultivo de *Saccharomyces cerevisiae* aplicando un campo magnético de 1100 y 2200 Gauss y analizaron el crecimiento celular y la actividad metabólica del microorganismo, calculada por el dióxido de carbono producido y por las alteraciones de pH del medio. Para el análisis del crecimiento de la biomasa, los frascos de vidrio conteniendo 10 mL de medio de fermentación (glucosa 2%) e inoculados con 10% de suspensión celular fueron incubados a 25°C y observados durante 24 h, tomando muestras a cada 2h. Un sistema de reactores idénticos fue montado para la determinación de la producción de CO₂, estando los frascos cerrados y en la presencia de un manómetro. Los resultados presentaron incremento en el crecimiento celular de 1.84% y en la producción de CO₂ de 36.1%, en la presencia de 2200 Gauss de campo magnético.

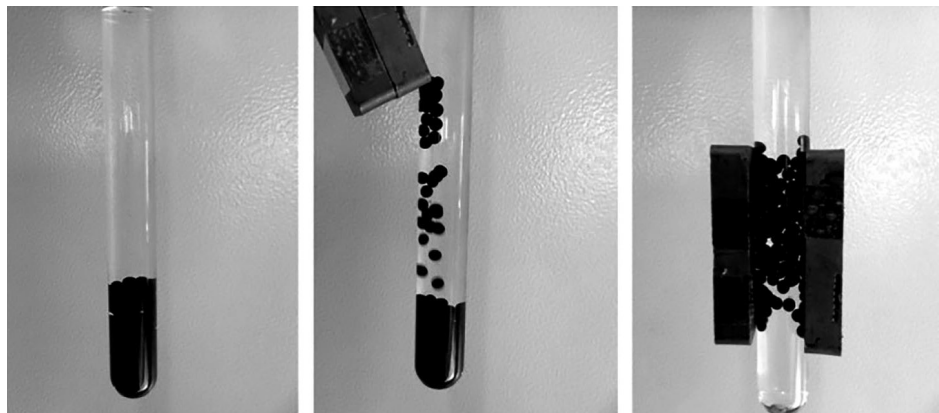
Da Motta, Muniz, Schuler, and Da Motta (2004) también estudiaron el efecto del campo magnético en la fermentación alcohólica, utilizando glucosa como sustrato. El sistema estaba compuesto por dos reactores de capacidad nominal de 200 ml, agitados mecánicamente a 23°C. Cinco pares de imanes fueron

colocados diametralmente opuestos alrededor de la pared de uno de los reactores, posibilitando la exposición de la levadura *Saccaromyces cerevisiae* DAUFPE-1012 con campo magnético de 2200 Gauss. Las muestras del medio de cultura, compuesto por extracto de levadura y glucosa (2%), fueron retiradas en intervalos de 2 h durante 24 h para la determinación de la concentración celular, de glucosa y de etanol. Los resultados mostraron un incremento de la concentración celular en 2.5 veces y de la concentración de etanol en 3.4 veces, en los cultivos magnetizados comparados con las que no fueron expuestas al campo.

Muniz, Marcelino, Motta, Schuler, and Motta (2007) evaluaron el efecto del crecimiento de *S. cerevisiae* bajo efecto del campo magnético constante en una fermentación por lotes. Los experimentos se llevaron a cabo en un tubo expuesto al campo con una intensidad de flujo de 220 mT producido por imanes de NdFeB opuestos diametralmente (N a S). En otro tubo, sin la presencia de imán, la fermentación fue realizada en las mismas condiciones (control), el medio de fermentación contenía sólo glucosa. Según los autores, la producción de biomasa celular fue más alta (2.5 veces mayor en comparación con el experimento sin campo) y como consecuencia la tasa de crecimiento fue mayor que la tasa de consumo de glucosa, esto como resultado de la aplicación de campo magnético lo que llevó a un aumento del proceso de producción biomasa.

Perez et al. (2007) estudiaron el efecto del campo magnético en la producción de etanol en una fermentación por lotes, utilizando caldo de caña como sustrato. El medio de cultivo del fermentador fue recirculado externamente por un tubo de acero inoxidable colocándolo en medio de dos generadores de campo magnético. La velocidad de recirculación y la intensidad del campo magnético variaron de 0.6-1.4 m/s y 50-200 Gauss, respectivamente. Los autores observaron un aumento de 17% en el rendimiento del proceso en la mejor condición de tratamiento (0.9-1.2 m/s y 200 Gauss). Mientras el proceso tradicional de fermentación demoró 15 h, con la aplicación de los imanes acoplados al biorreactor, este tiempo disminuyó a 12 h. Según los autores, la ganancia de producción fue posible, porque el campo magnético probablemente alteró el metabolismo de la levadura y aumentó la productividad, siendo este efecto justificado por la influencia potencial del campo magnético sobre las membranas celulares, alterando la permeabilidad del pasaje de nutrientes. Si la permeabilidad aumenta, el transporte de sustrato en el interior de la célula también aumenta, resultando en mayor producción de etanol.

Figura 3. Células de S. shehatae inmovilizadas en gel de alginato de sodio- Fe_3O_4 en presencia de imanes. Elaboración propia.



K.J. Dussan (2013) analizó la influencia de la configuración del campo magnético en el proceso de fermentación de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar empleando la levadura *S. shehatae* inmovilizada en un biopolímero con propiedades magnéticas. Las células fueron inmovilizadas por el método de aprisionamiento en gel de alginato de sodio. En la Figura 3 se muestran algunas imágenes de las células inmovilizadas y cómo se comportan en presencia de imanes.

Las fermentaciones para analizar el efecto del campo electromagnético sobre la producción de etanol fueron realizadas en un sistema experimental versátil (reactor de lecho fluidizado acoplado a una bobina), permitiendo estudiar el efecto del campo electromagnético para diferentes valores de inducción electromagnética sobre dos configuraciones de incidencia de la dirección de las líneas de campo, variando las líneas de campo en la dirección axial y transversal. Según la autora, el propósito de trabajar con sistemas estabilizados magnéticamente está enfocado en la reducción de los problemas de transferencia de calor y masa, característicos de sistemas empaquetados y de lecho fijo, sea con células inmovilizadas o cuando se trabaja con altas densidades celulares. Como resultado, K.J. Dussan (2013) mostró que las condiciones que favorecieron la producción de etanol fueron alcanzadas cuando se usó el sistema axial con una intensidad de 6A, probablemente porque la concentración de este campo en el sistema es más intensa y consecuentemente la estabilidad del lecho es mayor. Además, concluyó que la influencia del campo electromagnético fue positiva, observándose un aumento de 47% en la producción de etanol en relación al experimento control (sin campo).

Así, bajo estos efectos primarios, se están viabilizando los campos magnéticos y/o electromagnéticos en procesos de fermentación, con el fin de mejorar la producción de bioetanol y/o establecer avances tecnológicos que se irán a traducir en beneficios en términos de productividad.

Conclusiones

De un modo general, considerándose la aplicación de campos magnéticos y/o electromagnéticos, los estudios evidenciaron una influencia positiva del campo en las fermentaciones promoviendo un aumento en los rendimientos y productividades. La aplicación del campo es una herramienta mágica, especialmente en los procesos fermentativos. Los estudios establecen que no hay diseños adecuados tanto de biorreactores cuanto de unidades de magnetización desarrollados hasta el momento. Así, la aplicación de estos campos se presenta como una tecnología prometedora para los procesos de producción de etanol de segunda generación. También es importante resaltar que estos biocatalizadores magnéticos son fácilmente removidos del medio de fermentación, permitiendo su recuperación y posterior reutilización.

Bibliografía

- Alves, L. A., Felipe, M. G. A., Silva, J. B. A. E., Silva, S. S., & Prata, A. M. R. (1998). Pretreatment of sugarcane bagasse hemicellulose hydrolysate for xylitol production by *Candida guilliermondii*. *Appl Biochem Biotechnol*, 70-72(1), 89-98. doi: 10.1007/bf02920126
- Cadete, R. M., Melo, M. A., Dussán, K. J., Rodrigues, R. C. L. B., Silva, S. S., Zilli, J. E.,... Rosa, C. A. (2012). Diversity and Physiological Characterization of D-Xylose-Fermenting Yeasts Isolated from the Brazilian Amazonian Forest. *PLoS ONE*, 7(8), e43135. doi: 10.1371/journal.pone.0043135
- Cardona, C. A., Quintero, J. A., & Paz, I. C. (2010). Production of bioethanol from sugarcane bagasse: Status and perspectives. *Bioresour Technol*, 101(13), 4754-4766.
- Ceon, R., Martin, J. T., & Powell, M. R. (1987). Low-level, magnetic-field-induced growth modification of *Bacillus subtilis*. *Bioelectromagnetics*, 8, 275-282.
- Chacón, D. A., Haber, V. P., Fong, A. R., Mas, S. D., Serguera, M. N., & Rodriguez, O. J. (1996). Influence of the electromagnetic field in the growth of *Candida utilis* Y-660 yeast. *Tecnología Química*, 15-16, 52-60.
- Chandel, A., da Silva, S., & Singh, O. (2013). Detoxification of Lignocellulose Hydrolysates: Biochemical and Metabolic Engineering Toward White Biotechnology. *BioEnergy Research*, 6(1), 388-401. doi: 10.1007/s12155-012-9241-z
- Chandel, A. K., Giese, E. C., Antunes, F. A. F., Santos Oliveira, I. d., & da Silva, S. S. (2013). Pretreatment of Sugarcane Bagasse and Leaves: Unlocking the Treasury of "Green Currency". In Z. Fang (Ed.), *Pretreatment Techniques for Biofuels and Biorefineries* (pp. 369-391): Springer Berlin Heidelberg.
- Chun-Zhao, L., Feng, W., & Fan, O.-Y. (2009). Ethanol fermentation in a magnetically fluidized bed reactor with immobilized *Saccharomyces cerevisiae* in magnetic particles. *Bioresour Technol*, 100, 878-882.
- Da Motta, M. A., Muniz, J. B., Schuler, A., & Da Motta, M. (2004). Static magnetic fields enhancement of *Saccharomyces cerevisiae* ethanolic fermentation. *Biotechnol Prog*, 20(1), 393-396. doi: 10.1021/bp034263j
- Doran, P. M. (1997). *Bioprocess Engineering Principles*: Elsevier Science & Technology Books.
- Dumsday, G. J., Jones, K., Stanley, G. A., & Pamment, N. B. (1997). Recombinant organisms for ethanol production from hemicellulosic hydrolyzates - A Review of Recent Progress. *Australasian Biotechnology*, 7(4), 285-295.
- Dussan, K. J. (2013). *Produção de bioetanol a partir de hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar empregando as leveduras Scheffersomyces (Pichia) stipitis NRRL Y-7124 e Candida shehatae UFMG HM 52.2 visando à aplicação em bioprocessos com campo eletromagnético*. (Ph.D. Doutorado), Escola de Engenharia de Lorena - USP, Lorena.
- Dussan, K. J., Machado, E., Silva, S. P., & Da Silva, S. S. (2011). Comparative study of xylose fermentation with *Candida shehatae* HM52.2 and *Pichia stipitis* NRRL Y-7124. *Current Opinion in Biotechnology*, 22 (Supplement 1), S148-S148.

- Eken-Saraçoglu, N., & Arslan, Y. (2000). Comparison of different pretreatments in ethanol fermentation using corn cob hemicellulosic hydrolysate with *Pichia stipitis* and *Candida shehatae*. *Biotechnology Letters*, 22, 855-858.
- Eliasson, A., Christensson, C., Wahlbom, F., & Hahn-Hägerdal, B. (2000). Anaerobic Xylose Fermentation by Recombinant *Saccharomyces cerevisiae* Carrying XYL1, XYL2, and XYS1 in Mineral Medium Chemostat Cultures. *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (8),3381-3386.
- Fojt, L., Strasak, L., Vetterl, V., & Smarda, J. (2004). Comparison of the low-frequency magnetic field effects on bacteria *Escherichia coli*, *Leclercia adecarboxylata* and *Staphylococcus aureus*. *Bioelectrochemistry*, 63, 337-341.
- Goksungur, Y., & Zorlu, N. (2001). Production of Ethanol from Beet Molasses by Ca-Alginate Immobilized Yeast Cells in a Packed-Bed Bioreactor. *Turkish Journal of Biology*, 25, 265-275.
- Hunt, R., Zavalin, A., Bhatnagar, A., Chinnasamy, S., & Das, K. (2009). Electromagnetic Biostimulation of Living Cultures for Biotechnology, Biofuel and Bioenergy Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(10), 4515-4558.
- Ivanova, V., Hristov, J., Dobрева, E., Al-Hassan, Z., & Penchev, I. (1996). Performance of a magnetically stabilized bed reactor with immobilized yeast cell. *Appl Biochem Biotechnol*, 59, 187-198.
- Jamai, L., Sendide, K., Ettayebi, K., Errachidi, F., Hamdouni-Alami, O., Tahri-Jouti, M. A.,... Ettayebi, M. (2001). Physiological difference during ethanol fermentation between calcium alginate-immobilized *Candida tropicalis* and *S. cerevisiae*. *FEMS Microbiology Letters*, 204, 375-379.
- Kishimoto, M., Nitta, Y., Kamoshita, Y., Suzuki, T., & Suga, K. I. (1997). Ethanol production in an immobilized cell reactor coupled with the recycling of effluent from the bottom of a distillation column. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 84, 449-454.
- Kourkoutas, Y., Psarianos, C., Koutinas, A. A., Kanellaki, M., Banat, I. M., & Marchant, R. (2002). Continuous whey fermentation using kefir yeast immobilized on delignified cellulosic material. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 2543-2547.
- Martín, C., Almazán, O., Marcet, M., & Jönsson, L. J. (2007). A study of three strategies for improving the fermentability of sugarcane bagasse hydrolysates for fuel ethanol production. *International Sugar Journal*, 109(1297), 33-39.
- Mazid, M. A. (1993). Biocatalysis and Immobilized Enzyme/Cell Bioreactors. *Nature Biotechnology*, 11(6), 690-695.
- Milessi, T. S., Antunes, F. A., Chandel, A. K., & da Silva, S. S. (2015). Hemicellulosic ethanol production by immobilized cells of *Scheffersomyces stipitis*: effect of cell concentration and stirring. *Bioengineered*, 6 (1), 26-32. doi: 10.4161/21655979.2014.983403
- Millati, R., Edebo, L., & Taherzadeh, M. J. (2005). Performance of *Rhizopus*, *Rhizomucor*, and *Mucor* in ethanol production from glucose, xylose, and wood hydrolysates. *Enzyme and Microbial Technology*, 36(2-3), 294-300. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enzmictec.2004.09.007>

- Mittenzwey, R., Süßmuth, R., & Mei, W. (1996). Effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on bacteria—the question of a co-stressing factor. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 40(1), 21-27. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0302-4598\(95\)00504-8](http://dx.doi.org/10.1016/0302-4598(95)00504-8)
- Moore, R. L. (1979). Biological effects of magnetic fields: studies with microorganisms. *Canadian Journal of Microbiology*, 25, 1145-1151.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M., & Ladisch, M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 96 (6), 673-686. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.025>
- Motta, M. A., Montenegro, E. J., Stamford, T. L., Silva, A. R., & Silva, F. R. (2001). Changes in *Saccharomyces cerevisiae* development induced by magnetic fields. *Biotechnol Prog*, 17(5), 970-973. doi: 10.1021/bp010076e
- Muniz, J. B., Marcelino, M., Motta, M. d., Schuler, A., & Motta, M. A. d. (2007). Influence of static magnetic fields on *S. cerevisiae* biomass growth. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50, 515-520.
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Carneiro, L. M., & Teixeira, J. A. (2012). Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffee industry wastes hydrolysates. *Applied Energy*, 92 (0), 763-768. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.020>
- Najafpour, G., Younesi, H., & Ku Ismail, K. S. (2004). Ethanol fermentation in an immobilized cell reactor using *S. cerevisiae*. *Bioresource Technology*, 92, 251-260.
- Nakamura, Y., Sawada, T., & Inoue, E. (2001). Mathematical model for ethanol production from mixed sugars by *Pichia stipitis*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 76, 586-592.
- Nigam, J. N. (2000). Continuous alcoholic fermentation of glucose xylose mixtures by co-immobilized *S. cerevisiae* and *C. shehatae*. *Journal of Biotechnology*, 80, 189-193.
- Nigam, J. N. (2002). Bioconversion of water-hyacinth (*Eichhornia crassipes*) hemicellulose acid hydrolysate to motor fuel ethanol by xilose-fermenting yeast. *Journal of Biotechnology Progress*, 97, 107-116.
- Ojeda, K., & Kafarov, V. (2009). Energy analysis of enzymatic hydrolysis reactors for transformation of lignocellulosic biomass to bioethanol. *Chemical Engineering Journal*.
- Olsson, L., & Hahn-Hägerdal, B. (1996). Fermentation of lignocellulosic hydrolysates for ethanol production. *Enzyme and Microbial Technology*, 18 (5), 312-331.
- Palmqvist, E., & Hahn-Hägerdal, B. (2000). Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. I: inhibition and detoxification. *Bioresource Technology*, 74 (1), 17-24.
- Parajó, J. C., Domínguez, H., & Domínguez, J. (1998). Biotechnological production of xylitol. Part 3: Operation in culture media made from lignocellulose hydrolysates. *Bioresource Technology*, 66 (1), 25-40.
- Perez, V. H., Reyes, A. F., Justo, O. R., Alvarez, D. C., & Alegre, R. M. (2007). Bioreactor Coupled with Electromagnetic Field Generator: Effects of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields on Ethanol Production by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnol Prog*, 23(5), 1091-1094. doi: 10.1021/bp070078k

- Plessas, S., Bekatorou, A., Koutinas, A. A., Soupioni, M., Banat, I. M., & Marchant, R. (2007). Use of *S. cerevisiae* cells immobilized on orange peel as biocatalyst for alcoholic fermentation. *Bioresource Technology*, 98, 860-865.
- Polk, C., & Postow, E. (1996). *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Field* (2nd ed.). New York: CRS Press.
- Quintero, J. A., Rincón, L. E., & Cardona, C. A. (2011). Chapter 11 - Production of Bioethanol from Agroindustrial Residues as Feedstocks. In A. P. L. C. R.-G. D. Gnansounou (Ed.), *Biofuels* (pp. 251-285). Amsterdam: Academic Press.
- Ramakrishna, S. V., & Prakasham, R. S. (1999). Microbial fermentations with immobilized cells. *Current Science*, 77(1), 87-100.
- Rao, T. B. M. L. R., Sonolikar, R. L., & Saheb, S. P. (1997). Influence of magnetic field on the performance of bubble columns and airlift bioreactor with submerged microorganisms. *Chemical Engineering Science*, 52(41), 55-60.
- Riordan, C., Love, G., Barron, N., Nigam, P., Marchant, R., McHale, L., & McHale, A. P. (1996). Production of ethanol from sucrose at 45°C by alginate-immobilized preparations of the thermotolerant yeast strain *Kluyveromyces marxianus* IMB3. *Bioresource Technology*, 55, 171-173.
- Roukas, T. (1994). Continuous ethanol production from carob pod extract by immobilized *Saccharomyces cerevisiae* in a packed-bed reactor. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 59 (4), 387-393. doi: 10.1002/jctb.280590412
- Schmidell, W., Lima, U. D. A., Aquarone, E., & Borzani, W. (2001). Modelagem matemática e simulação de processos fermentativos. In W. Schmidell, U. A. Lima, E. Aquarone, & W. Borzani (Eds.), *Biotecnologia Industrial* (pp. 123-178). São Paulo: Edgard Blucher.
- Shindo, S., Takata, S., Taguchi, H., & Yoshimura, N. (2001). Development of novel carrier using natural zeolite and continuous ethanol fermentation with immobilized *S. cerevisiae* in a bioreactor. *Biotechnology Letters*, 23, 2001-2004.
- Siannah, M., González, A., Melek, S., & Cabeza, D. (1999). Influencia del campo electromagnético en la propagación de *Trichoderma viride* mediante fermentación en estado sólido (FES). *Tecnología Química*, 19(3), 64-69.
- Singh, A., Kumar, P., & Schügerl, K. (1992). Bioconversion of cellulosic materials to ethanol by filamentous fungi *Enzymes and Products from Bacteria Fungi and Plant Cells* (Vol. 45, pp. 29-55). Berlin: Heidelberg.
- Xavier, A. M. R. B., Frazão, C. J. R., Pereira, S. R., Nogueira, V. S. i., Serafim, L. S., & Gorwa-Grauslund, M. F. (2014). Bioethanol Production: Adaptation of *Scheffersomyces stipitis* to Hardwood Spent Sulfite Liquor. *New Biotechnology*, 31, Supplement (0), S101. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nbt.2014.05.1853>

Obtención de bioetanol a partir de jugo de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L. Moench)

Obtaining Bioethanol From Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Juice

Benigno Ortiz-Muñiz³⁹
Javier Gómez-Rodríguez
María Guadalupe Aguilar-Uscanga
Noé Montes-García⁴⁰

Resumen

³⁹*Instituto Tecnológico de Veracruz*

⁴⁰*INIFAP Río Bravo*

En México ha iniciado el empleo de bioetanol como combustible mediante las leyes y las acciones concretas realizadas por PEMEX con la nueva ley energética. La producción de etanol a partir de jugo de sorgo dulce representa una opción biotecnológica para el aprovechamiento de este cultivo energético. Existen diferentes métodos para llevar a cabo la fermentación, no obstante la mejor estrategia es dependiente de las características de la levadura empleada y de la concentración de azúcares presentes en el jugo de sorgo. La purificación de etanol involucra la recuperación del dióxido de carbono, dos procesos de destilación y la deshidratación del etanol mediante el empleo de mallas moleculares. Estos procesos de recuperación representan una opción técnica y económicamente viable; siendo hasta el momento, la que conlleva a una mayor sustentabilidad del proceso.

Abstract

Mexico has begun the shift toward the use of bioethanol as fuel by changes in the laws and concrete actions by PEMEX. The production of ethanol from sweet sorghum juice is a biotechnology option for the use of this energy crop. There are different methods for carrying out the fermentation, however the best strategy is dependent on the characteristics of the yeast used and the concentration of sugars present in the juice sorghum. Purification of ethanol involves the recovery of carbon dioxide, two distillation processes and dehydration of ethanol by using molecular sieves. These recovery processes represent a technically and economically viable option; It is so far, which leads to greater sustainability of the process.

Introducción

El mercado mundial del bioetanol puede dividirse en tres vertientes, de acuerdo a sus destinos fundamentales como: combustible, uso industrial y en bebidas alcohólicas. El uso como combustible al transcurso de los años ha ido en aumento, en 1975 el etanol solo se empleaba para bebidas y uso industrial, para 1977 se empieza a utilizar como combustible. En el año 2007, el 81% de la producción

mundial fue empleada para mezclar o reemplazar petróleo y derivados (RFA, 2012). Si bien, el etanol anhidro puede ser utilizado directamente como combustible, su aplicación más común es en mezclas con gasolina. Es así que se conocen nomenclaturas tales como E10 y E85, que representan mezclas de etanol-gasolina con una concentración de etanol (en volumen) de 10 y 85% (RFA, 2012).

México tiene reservas probadas para satisfacer el consumo de gasolina hasta el año 2030 (PEMEX, 2014). Bajo esta situación el gobierno de México ha establecido políticas en búsqueda de alternativas para fuentes de energía no renovables. El 1° de febrero del 2008, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la “Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos” que promueve el desarrollo bioenergético para lograr su diversidad y sostenibilidad. A finales de 2014 fue emitida la licitación de PEMEX P4LN029001 que establece la implementación de una mezcla de etanol-gasolina al 5.8% v/v, mediante la instalación de plantas productoras de etanol anhidro, estableciendo una necesidad de 123 millones de L/año, únicamente para los estados de Veracruz, Tamaulipas y San Luis Potosí (PEMEX, 2014).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias desarrolla un plan de investigación para generar tecnologías en cultivos, para obtener variedades e híbridos de sorgo dulce dirigidos a la producción de etanol de acuerdo al Programa Nacional de Bioenergéticos (INIFAP, 2011).

El sorgo dulce

El sorgo dulce (*Sorghumbicolor L. Moench*) es un cultivo C4 de la familia de las gramíneas, es una planta rica en azúcares, almidón y material lignocelulósico. Se caracteriza por tener una alta eficiencia fotosintética y es considerado uno de los cultivos agrícolas más resistentes a la sequía, ya que tiene la capacidad de permanecer inactivo durante los períodos más secos (Woods, 2000). Aunque es una planta originaria de zonas tropicales, el sorgo dulce se adapta bien a los climas templados. La planta llega a alcanzar una altura hasta de 220 cm o más, la cual dependerá del tipo de variedad (RB cañero, Dale, Etanol, Huasteco, Norteño u otra) y de las condiciones de cultivo y de la tierra. Esta planta puede ser un cultivo perenne anual o corto. La composición físico-química del sorgo dulce depende de la variedad, estadio de la planta y condiciones de cultivo (Almodares & Sepahi, 1996), teniendo en promedio: un jugo con un contenido en sólidos totales entre el 14 y 23% Brix (Hahn-Hagerdal, Galbe, Gorwa-Grauslund, Lidén, & Zacchi, 2006). En Estados Unidos, alrededor del 20% de la producción de sorgo dulce se utiliza para la producción de etanol, además tiene ventajas significativas al ser un cultivo no transgénico (Maunder, 2006).

Considerando que el 16% de la superficie total de México está destinada a la agricultura, es decir 30 millones de hectáreas, y el 61% de esta superficie es secano (el 45% con déficit severo de humedad, clima árido o semiárido), el sorgo dulce es factible de cultivarse en este tipo de tierras (SENER, 2006). En estados como Tamaulipas, Sinaloa, Nuevo León, Michoacán, Colima, Sonora, San Luis Potosí existen regiones con las características de suelo ya mencionadas sin necesidad de riego (INIFAP, 2011). El sorgo dulce es un cultivo que en México ocupa el segundo lugar en producción nacional y en apoyos gubernamentales

(SAGARPA, 2012). El sorgo dulce representa una opción para la producción de biocombustibles, como el bioetanol.

Producción de bioetanol

En el establecimiento de una fuente de energía renovable para cierta región, se deben tomar en cuenta ciertas consideraciones que establezcan su sostenibilidad. Los agrocombustibles deben tener la capacidad de reducir las emisiones de CO₂ (balance de carbono negativo, esto es, que se capture más CO₂ que el que se emita), no causar efectos colaterales sobre la alimentación y el medio ambiente y disminuir el consumo de fuentes energéticas no-renovables en su proceso de producción.

El etanol se obtiene a partir de la acción de microorganismos sobre azúcares fermentables (glucosa, xilosa, fructosa y sacarosa) como los que contiene el maíz, la caña de azúcar y el sorgo. Si bien es posible técnicamente obtener etanol de cualquier material orgánico que contenga azúcares, las principales materias primas son la caña de azúcar y el maíz, a partir de las cuales se genera más del 90% de la producción mundial de etanol.

El bioetanol producido a partir del jugo de sorgo dulce presenta una alta sostenibilidad ambiental, económica y energética: se atribuye un ahorro de gases de efecto invernadero de 70-71%, la sencillez técnica del proceso de transformación y el aprovechamiento de los subproductos garantiza la viabilidad económica tanto para plantas de escala pequeña, mediana y grande, siendo su Tasa de Retorno Energético (TRE) de 1.7 a 7.3. La Tasa de Retorno Energético (TRE) relaciona la energía útil que un proceso determinado produce (ER) entre la energía útil invertida (EI) para desarrollar y mantener ese proceso de transformación de energía. Para tener un proceso sostenible el cociente no puede ser menor a la unidad. Un recurso de energía renovable que tenga un valor elevado de la TRE será la mejor opción para poder desarrollarla, puesto que obtiene mayor cantidad de energía retornada por cada unidad de energía invertida (Ballenilla & Ballenilla, 2007). Por el momento la cadena de bioetanol a partir de sorgo dulce no se toma en cuenta debido a la falta de conocimientos acerca de sus potencialidades y a la falta de información o de un balance energético sobre la cantidad de energía que requiere el proceso y a la que éste produce.

La producción de etanol a partir del jugo dulce es un proceso que ya empieza a utilizarse en Brasil, como con la caña de azúcar. El proceso de fermentación es previsto en continuo en cascada utilizando un tren de fermentadores y un tanque semilla. La concentración de alcohol se eleva desde 6-7% (vol) en el primer fermentador a 9-10 % (vol) en el último. La temperatura se mantiene entre 33 y 35 °C (Partida-Sedas, en proceso).

Los métodos empleados para la producción de etanol son: procesos en lote, en lote alimentado y continuos.

En el proceso a partir de la cuba madre, la levadura crece bajo condiciones aeróbicas en concentraciones bajas de sustrato (70 gL⁻¹), después de aproximadamente 10 horas se obtienen concentraciones de biomasa entre 60 y 80x10⁶ celmL⁻¹, y éstas son transferidas a la cuba de fermentación, ocupando aproximadamente un 30% del volumen total y se alimenta el sustrato azucarado

concentrado (melazas de caña de azúcar o remolacha, por ejemplo) hasta obtener una concentración de azúcar alrededor de 220 gL⁻¹. Este proceso se realiza sin aireación, y en un tiempo de 36 a 48 horas se obtiene alrededor del 10 a 16 % v/v de etanol, con productividades entre 2.2 y 3.6 g L⁻¹ h⁻¹, dependiendo del sustrato empleado (Gilis, 1999).

El proceso con recirculación de células se lleva a cabo de manera similar al proceso a partir de la cuba madre, sólo que al terminar la fermentación se separan las levaduras del medio. La crema de levadura obtenida puede ser llevada a una cuba de regeneración durante un corto periodo de tiempo en presencia de aire, transcurrido este tiempo se obtienen alrededor de 2x10⁸ cel/mL⁻¹ que se alimentan a la cuba de fermentación teniendo como resultado tiempos de fermentación de 36 a 48 horas, obteniendo productividades entre 3.2 y 4.8 g L⁻¹ h⁻¹ y concentraciones del 19 al 21% de etanol (Cot, 2007).

En modo de operación en lote alimentado deriva del cultivo por lote, donde el sustrato es alimentado durante la fermentación con el fin de evitar la inhibición por sustrato. La producción de etanol se divide en dos etapas: una fase de crecimiento y una fase de producción de etanol (Cot, 2007). Con este método, se han alcanzado concentraciones entre 19 y 21 %v/v; y en tiempo entre 20 y 48 horas con productividades de hasta 12 gL⁻¹h⁻¹, en los cuales se manejan estrategias de alimentación de cofactores y de la fuente de carbono (Alfenore, Molina-Jouve, Guillouet, Uribebarrea, Goma, & Benbadis, 2002).

Los procesos continuos tienen como ventaja general un incremento en la productividad de cualquier proceso, entre los procesos continuos se encuentran principalmente el multietapa y el continuo en cuba única, también conocido como Proceso BIOSTIL (Gilis, 1999).

El cultivo continuo multietapa consiste en una serie de cinco a ocho fermentadores colocados en serie, obteniendo concentraciones de etanol de 16.7 %v/v con productividades de 12 a 18 gL⁻¹h⁻¹ (Cot, 2007).

El cultivo continuo de cuba única (BIOSTIL) fue propuesto en los años 80 por la Compañía Alfa-Laval. Este método consta de un fermentador único aireado donde se tienen dos alimentaciones: la primera proviene de la alimentación fresca de medio y la segunda de la recirculación de levaduras y vinazas. En cuanto a la forma de realizar la recirculación existen diferentes métodos, como la centrifugación y la sedimentación; sin embargo, se destacan los procesos de membrana que permiten altas densidades celulares y confieren menor daño a las células; obteniendo concentraciones de alcohol del 12 %v/v con productividades de 30 a 40 gL⁻¹h⁻¹ a partir de un medio enriquecido en sólidos, disminuyendo el volumen de vinazas obtenidas (Cot, 2007).

Todos los métodos descritos anteriormente presentan ventajas y desventajas, sin embargo, la selección del método a emplear es dependiente de la concentración de azúcares presentes en el jugo de sorgo y de las características de la levadura empleada, la cual idealmente debe encontrarse adaptada a las condiciones presentes en el jugo de sorgo, tales como el pH, la osmotolerancia, la resistencia a etanol y la temperatura del proceso.

El caldo de fermentación debe separarse de la biomasa, obteniendo una mezcla de glucosa, etanol, agua, glicerol, ácido acético y bióxido de carbono. El producto de interés (etanol) está contenido en dicha mezcla. Los pasos para la

recuperación de etanol son mostrados en la Figura 1. El gran volumen de bióxido de carbono permitió la agitación del medio de cultivo durante la fermentación, pero ahora debe ser separado. El primer paso de la purificación del etanol es minimizar la concentración del bióxido de carbono en el caldo de fermentación. Esta operación se hace en un separador de fases, obteniendo en el domo el CO_2 con una mayor pureza. Una pequeña cantidad de etanol y agua es atraída por el gas hacia el domo. El bióxido de carbono es recuperado mediante la inyección de agua a 25°C . El gas producido en los fermentadores lleva una cierta cantidad de etanol. Por tal motivo, este flujo de CO_2 se lava con agua en un destilador y de esta manera poder recuperar el etanol. Este último debe ser recirculado a los fermentadores. El bióxido de carbono se puede vender para gasificar bebidas y obtener un beneficio económico (Guzmán-Hernández, 2015).

El fluente de la columna separadora, tiene la mayor cantidad de etanol contenido en el caldo de fermentación. El cual será recuperado para ser llevado a la columna concentradora previo a la columna azeotrópica. Lo anterior es necesario, pues se tiene un etanol hidratado con al menos 6% v/v de etanol. Por lo tanto se debe concentrar hasta 96%, situación que conlleva a un paso intermedio (columna concentradora). De esta manera se evitará tener una columna azeotrópica con platos teóricos infinita. La columna concentradora pierde muy poco del producto principal. También es importante destacar que en el vapor sólo se recuperan los compuestos más volátiles, motivo por el cual el glicerol se queda en el fondo de la columna. Las vinazas son un subproducto contaminante que tiene que ser tratado antes de ser descargado al medio ambiente.

Una vez concentrado el caldo de fermentación éste tiene una segunda concentración, pues tiene que pasar de 50% v/v a 96% v/v. En la columna azeotrópica se forma un azeótropo agua-etanol que es imposible separar pues están fuertemente unidos. Por esta razón es necesario una deshidratación del etanol en una columna con tamices moleculares. En la columna azeotrópica se obtiene varios subproductos, el Fusel es una mezcla de alcoholes terciarios, cuaternarios entre otros. Los cuales son formados a partir del etanol, es decir que moléculas de etanol se unieron unas con otras como consecuencia de la temperatura (Guzmán-Hernández, 2015).

El etanol azeotrópico debe de ser deshidratado para obtener el producto principal etanol anhidro (99.5% v/v). Para esta etapa se emplean tamices moleculares debido a que es la operación unitaria para deshidratar el etanol altamente empleada en la industria del combustible. También es importante destacar que la inversión de energía para este proceso es menor comparado con las otras tecnologías, además que no se emplea otro insumo como es el caso de la destilación azeotrópica, la cual utiliza el benceno (derivado del petróleo) para separar el agua del etanol formando otro azeótropo benceno-agua más fuerte que el del agua-etanol. La destilación al vacío tiene costos de capital elevados que hace su empleo en la industria poco atractiva (Quintero, Montoya, Sánchez, & Cardona, 2007).

Los tamices moleculares son esperas o cilindros de origen natural o artificial (aluminosilicatos de potasio), se emplean zeolitas sintéticas (tamices moleculares) de tipo 3 Ångstroms y polares. De esta manera las moléculas de

agua de diámetro de 2.8 Ångstroms y polares son captadas por el poro del tamiz (diámetro de 3 Ångstroms) mientras que las moléculas de etanol con diámetro de 4.4 Ångstroms pasan sin ser adsorbidas como consecuencia de su mayor tamaño y ser poco polares.

Para disminuir el consumo de zeolitas, se requieren dos columnas deshidratadoras (Figura 2). Las cuales se estarán utilizando intercaladamente para producir etanol anhidro. Una columna (columna 1) producirá vapores de etanol súper calentados bajo presión, mientras que la otra (columna 2) se estará regenerando en condiciones de vacío por medio de una recirculación del 15% de vapores de etanol provenientes de la columna 1. La columna 2 está saturada con agua, debido al primer flujo de etanol proveniente de la columna azeotrópica fue deshidratado en ella. La regeneración (remoción de agua) de la columna 1 y 2 se hace pasando además de los vapores de etanol con una corriente de gas caliente (N_2 o CO_2) a 1.378 kPa. El dióxido de carbono recuperado de la fermentación de etanol puede ser empleado, si es químicamente puro. Regenerando cada columna las zeolitas pueden durar hasta por 10 años (Guzmán-Hernández, 2015).

El rendimiento de etanol es de 87 L por tonelada de jugo dulce procesado. La eficiencia (expresado como la relación de la cantidad de etanol producido a la máxima recuperación de etanol teórico) alcanza un 94 % (Partida-Sedas, en proceso).

Conclusiones

El uso del jugo de sorgo dulce para la producción de etanol, desde el punto de vista de sustentabilidad, tiene un valor estratégico superior como un combustible del motor debido a la escasez de energías renovables de alta calidad combustibles para vehículos líquidos. La producción de etanol a partir de jugo de sorgo dulce representa una opción biotecnológica para el aprovechamiento de este cultivo energético. Además, la purificación de etanol considerando la recuperación del dióxido de carbono, procesos de destilación y el empleo de mallas moleculares representan la opción técnica, económicamente y hasta el momento, la que conlleva a una mayor sustentabilidad del proceso.

Bibliografía

- Alfenore, S., Molina-Jouve, C., Guillouet, S. E., Uribebarrea, J. L., Goma, G., & Benbadis, L. (2002). Improving ethanol production and viability of *Saccharomyces cerevisiae* by a vitamin feeding strategy during fed-batch process. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 60, 67-72.
- Almodares, A., & Sepahi, A. (1996). Comparison among sweet sorghum cultivars, lines and hybrids for sugar production. *Ann Plant Physiol*, 10, 50-55.
- Ballenilla, M., & Ballenilla, F. (2007). La tasa de retorno energético. *El Ecologista*, 55, 24-58.
- Cot, M. (2007). Etudes physiologiques de l'adaptation et de la résistance de la levure *Saccharomyces cerevisiae* au cours de la production intensive d'éthanol. Tesis Doctoral. Toulouse, Francia: INSA.
- Gilis, F. (1999). Etude de Contaminations de Fermentations alcooliques Industrielles par les levures *Brettanomyces*. Tesis Doctoral. Toulouse, Francia: INPT.
- Guzmán-Hernández, R. (2015). Diseño de una planta de producción de etanol anhidro a partir del almidón de papa *Solanum tuberosum L.*, utilizando una fermentación en cocultivo *Aspergillus niger* y *Saccharomyces cerevisiae*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Bioquímica. Veracruz: Instituto Tecnológico de Veracruz.
- Hahn-Hagerdal, B., Galbe, M., Gorwa-Grauslund, M., Lidén, G., & Zacchi, G. (2006). Bio-ethanol - the fuel of tomorrow from the residues of today. *Trends in Biotechnology*, 24(12), 549-556.
- INIFAP. (2011). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Obtenido de <http://www.inifap.gob.mx>
- Maunder, B. (2006). Sorghum: The global grain of the future. Recuperado el Agosto de 2013, de <http://www.sorghumgrowers.com/Sorghum+101>.
- Partida-Sedas, G. (en proceso). Producción de etanol a partir de sorgo dulce. Tesis de Doctorado. Veracruz: Instituto Tecnológico de Veracruz.
- PEMEX. (2014). Petróleos Mexicanos. Obtenido de <http://www.pemex.com>
- Quintero, U. A., Montoya, M. I., Sánchez, O. J., & Cardona, C. A. (2007). Evaluación de la deshidratación de alcohol carburante mediante simulación de procesos. Recuperado el 12 de Abril de 2014, de <http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol5/8.pdf>
- RFA. (2012). Renewable Fuels Association. Obtenido de <http://www.ethanolrfa.org>
- SAGARPA. (2012). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx>
- SENER. (2006). Secretaría de Energía. Obtenido de <http://www.sener.gob.mx>
- Woods, J. (2000). Integrating Sweet sorghum and sugarcane for bioenergy: Modelling the potential for electricity and ethanol production in SE Zimbabwe. Ph.D. Thesis. London.: Kings College.

Lista de Figuras

Figura 1. Proceso de recuperación de etanol mediante destilación y deshidratación (Elaboración propia).

Figura 2. Deshidratación de etanol con tamices moleculares (Elaboración propia).

Obtención de moléculas bioactivas a partir de la cáscara de café

Bioactive molecules production from coffee husk

Thamires de Fatima Andrade Duro⁴¹

*Boutros Sarrouh

Juan Daniel Rivaldi⁴²

Resumen

⁴¹Universidade Federal de São João Del Rei. Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos. Caixa Postal: 131- CEP 36 420 000. Ouro Branco, MG/Brasil. *Contacto: bsarrouh@ufsj.edu.br

⁴²Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena. Departamento de Ciências Básicas e Ambientais. CEP 12602-810. Lorena, SP/Brasil.

El café es uno de los productos agroindustriales más producidos en Brasil, destacándose el estado de Minas Gerais, también se produce en otros países de Latinoamérica, como Colombia. Este fruto tiene como subproducto la cáscara en una proporción 1:1. Generalmente, estas materias orgánicas eran utilizadas como enriquecedor de suelos (abono) y ración animal, con uso limitado debido a la presencia de factores antinutricionales. Actualmente, la presencia de compuestos bioactivos en la cáscara de café ha despertado el interés de diversas industrias del ramo alimenticio, cosmético y farmacéutico. Las diversas biomoléculas presentes en los polímeros de lignina, por ejemplo; como los ácidos fenólicos, poseen características benéficas para la salud humana, actuando como antioxidantes, antimutagénicos e antimicrobianos, además de influir en la reducción de la incidencia de enfermedades degenerativas. Para el aprovechamiento de dichas moléculas, se requiere de pre-tratamientos que permitan la separación de la fracción lignocelulósica. Este capítulo presenta las características de la cáscara de café y las principales biomoléculas con propiedades bioactivas presentes en su estructura lignocelulósica.

Abstract

Coffee is one of the most agro-industrial commodities produced in Brazil, mainly highlighting the state of Minas Gerais, and other Latin American countries such as Colombia. This fruit produces coffee husk as a main byproduct in a 1:1 ratio. Generally, these organic materials were used for enriching soil (fertilizer) and animal feed, with limitation due to the presence of anti-nutritional factors. Currently, the presence of bioactive compounds in coffee husk has attracted interest from various industries related to food, cosmetic and pharmaceutical product. The different biomolecules present in the lignin polymer, for example; phenolic acids, possess beneficial characteristics to human health by acting as antioxidants, and antimicrobial antimutagenic, besides influencing the reduction in the incidence of degenerative diseases. For the use of such molecules, coffee husk requires pre-treatments procedures that allow solubilization of the lignin fraction. This chapter presents the chemical characteristics of the coffee husk and the major biomolecules with bioactive properties present in its lignocellulosic structure.

Introducción

En las últimas décadas, la generación de residuos orgánicos aumentó de forma significativa en función de las actividades industriales, urbanas, agrícolas y pecuarias (Lima et al., 2014). Debido al elevado crecimiento poblacional, y consecuentemente, a la elevada demanda de alimentos, el uso indiscriminado de recursos y la generación de grandes volúmenes de residuos, surgen y se agravan los problemas asociados con la disposición final y la contaminación potencial. Para minimizar los efectos negativos provocados por descarte inadecuado en el medio ambiente, los residuos agroindustriales, además de ser utilizados como ración animal y fertilizante (abono natural), vienen siendo estudiados como fuente potencial de biomoléculas de gran interés agroindustrial.

Entre los sectores agroindustriales de importancia en la economía brasileña, se destaca la industria cafetera, que caracteriza al país como el mayor productor y exportador mundial de café. Según datos de la Compañía Nacional de Abastecimiento (CONAB-Brasil), la producción brasileña de café en 2014 fue de 45,3 millones de bolsas (60 kg), siendo el estado de Minas Gerais el mayor productor con casi 50% de la producción nacional, con un área plantada de 1 238 270 ha, siendo la especie arábica predominante (98,87%) en dicho estado (CONAB, 2015).

Durante el procesamiento de café, cerca de 6% en peso del fruto es destinado a la producción de polvo utilizado en la preparación de bebidas, siendo 94% subproductos como pulpa y cáscara (Yoshida, 2005). En décadas pasadas, la preocupación por el destino de las cáscaras generadas por el procesamiento de frutos de café era nula, como ejemplo, en la década de los años 40, cerca de 77 millones de bolsas de café verde fueron quemadas, lanzadas al mar y/o enterradas. El interés por la reducción de los problemas ambientales ha estimulado, de forma significativa, la búsqueda por alternativas para el aprovechamiento y destino final de los residuos de café (Matos, 2014). Debido a la concentración de componentes tóxicos como cafeína, polifenoles y taninos, la cáscara no posee utilización definida, a pesar de ser constituida por varias biomoléculas (carbohidratos, proteínas, ácidos grasos y pectinas) que pueden ser utilizados como substrato en diferentes bioprocesos (Soccol, 2002).

Entre los progresos alcanzados para la utilización de cáscara de café para fines industriales, actualmente se destaca la producción de energía (Kondamudi, Mohapatra, & Misra, 2008), soporte sólidos para adsorción de compuestos (Franca, Oliveira, & Ferreira, 2009) y fabricación de aglomerados e insumos como etanol, ácido giberélico y α -amilasa (Bekalo & Reinhardt, 2010; Torres et al., 2009; Machado et al., 2002; Murthy, Naidu, & Srinivas, 2009). Además de estas alternativas, los extractos provenientes del fruto de café, por contener flavonoides, taninos, ácido quínico y ácido ferúlico, encuentran aplicación para la obtención de productos cosméticos destinados al cuidado de la piel (Farris, 2007).

En trabajos de investigación realizados por Ramírez-Coronel et al. (2004) las principales clases de fenoles encontradas en subproductos de café de la variedad Arábica fueron los polifenoles, ácidos hidroxicinámicos, flavonoides y antocianidinas. Ramírez-Martínez (1988) identificó una variedad

de compuestos fenólicos obtenidos a partir de la pulpa de café de gran interés farmacéutico y alimenticio. Entre los compuestos fenólicos identificados se incluye el ácido clorogénico (ácido 5-cafeoilquínico representando 42,2% de total de compuestos), epicatequina (21,6%), ácido 3,4-dicafeoilquínico (5,7%), ácido 3,5-dicafeoilquínico (19,3%), ácido 4,5-dicafeoilquínico (4,4%), catequina (2,2%), rutina (2,1%), ácido protocatecuico (1,6%) e ácido ferúlico (1,0%).

De esta forma, los residuos provenientes del procesamiento del café muestran un futuro prometedor como fuente potencial de insumos y productos fitoquímicos para la industria farmacéutica y de alimentos, principalmente, debido a su amplia diversidad composicional. En este capítulo se analiza el potencial de la cáscara de café como materia prima renovable en procesos de hidrólisis alcalina (deslignificación) para la obtención de licor rico en moléculas bioactivas de interés tecnológico.

Residuos agroindustriales renovables

Las materias primas lignocelulósicas son consideradas las fuentes renovables más abundantes de la naturaleza, constituidas mayoritariamente por residuos agroindustriales, residuos urbanos y maderas de angiospermas y gimnospermas (Szengyel, 2000). La biomasa lignocelulósica está constituida por tres principales fracciones: lignina, celulosa y hemicelulosa, unidas entre sí por enlaces de carácter covalente formando una red resistente a microorganismos (Jeffries, 1990). Estas materias primas presentan un gran potencial para ser utilizadas en procesos industriales como en la producción de alimentos, combustibles, insumos químicos, enzimas y bienes de consumo diversos, sin embargo, cuando son acumuladas en el ambiente ocasionan problemas como polución ambiental e inducen la pérdida de valiosos recursos (Latif & Rajoca, 2001; Lynd et al., 2005).

Los materiales lignocelulósicos presentan ventajas por ser abundantes, renovables, poseer bajo costo de producción y altos índices de rendimiento (Balat et al., 2008; Balat, 2011). Por tanto, el desarrollo de procesos viables que utilicen estos residuos agroindustriales para la obtención de productos de mayor valor agregado, constituye uno de los grandes desafíos que podrían contribuir a la reducción de impactos ambientales causados por las disposiciones finales inadecuadas.

Entre los residuos agroindustriales renovables, la cáscara de café es caracterizada por la composición lignocelulósica rica en diferentes biomoléculas, siendo los carbohidratos representados por la celulosa y hemicelulosa que constituyen más de 50% de su peso seco. Debido a la presencia de sustancias tóxicas como cafeína (1,2%), taninos (6,3%) y polifenoles, la cáscara es considerada antinutricional (Soccol et al., 2002). Este subproducto, juntamente con la pulpa, es recomendado y utilizado en la alimentación de rumiantes, siendo adicionado en un 30% en el concentrado para vacas en lactantes y 40% en el concentrado para novillos confinados (Barcelos, et al., 2001). Debido a la gran disponibilidad de residuos en las regiones cafeteras, se promueven pesquisas para buscar diferentes medios de utilización de estas materias primas (Barcelos, et al., 2001).

Composición química de los residuos lignocelulósicos

Los residuos lignocelulósicos son constituidos básicamente por tres diferentes polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina. Los dos primeros son polisacáridos y la lignina es un material polifenólico complejo. Estos componentes se enlazan por fuerzas covalentes y no-covalentes de manera a mantener la integridad estructural del vegetal de que forman parte (Scheufele, 2012). La proporción de estos polímeros varía de acuerdo con la especie vegetal del cual son originados conforme indicado en la Tabla 1.

Residuos	Hexosanas (Hemicelulosa)	Pentosanas (Celulosa)	Lengina	Cenizas
Cáscara de café	25	37	15	8
Bagazo de caña de azúcar	33	30	29	4
Mazorca de maíz	42	39	14	2
Paja de arroz	32	24	13	12
Cáscara de arroz	36	15	19	20
Aserrín	55	14	21	5
Paja de sorgo	33	18	15	10
Paja de trigo	30	30	18	10

Tabla 1. Composición (%) de diferentes residuos agrícolas.

Fuente: (adaptada de Kuhad & Singh, 1993)

La celulosa está presente principalmente en la pared secundaria de los vegetales, constituyendo entre 40 a 50% de casi todas las plantas (Ogeda & Petri, 2010). Este compuesto orgánico encontrado de forma abundante en la naturaleza, se caracteriza por ser un polímero lineal constituido por moléculas de glucosa anhidra unidas por enlaces glicosídicos β -(1-4) con grado de polimerización entre 5.000 y 7.500 unidades de D-glucosa en plantas (Ogeda; Petri, 2010). La celulosa es utilizada como base para la fabricación de papel, fibras, aditivos y otros productos industriales.

La hemicelulosa es un polímero heterogéneo altamente ramificado, amorfo y con bajo grado de polimerización, variando entre 50 y 300 unidades monoméricas (Alvarenga, 2013). Este polímero se compone por hexosas (glucosa, manosa y galactosa) y por pentosas (xilosa y arabinosa), pudiendo presentar ácidos urónicos y desoxihexosas en algunas especies (Furlan, 2009). Las hemicelulosas son depositadas en la pared celular del vegetal antes de la lignificación, actuando como un compuesto de reserva y sustentación (Nascimento, 2011).

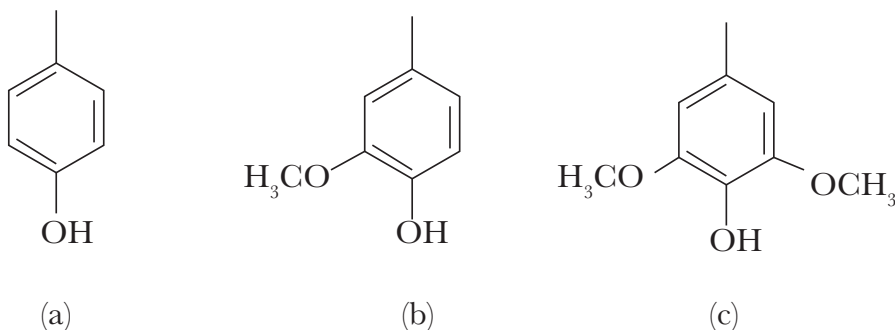
La última fracción componente del material lignocelulósico es la lignina. En biomasa vegetal, la lignina confiere rigidez a la pared celular, originando una estructura resistente a impactos, compresión y flexión, además de conferir resistencia a ataques microbianos y hacer la pared celular hidrofóbica, permitiendo el desarrollo eficiente de los tejidos para el transporte de agua en plantas vasculares (Moraes, Nascimento & Melo, 2005; Önnnerud, et al., 2002). Esta macromolécula es considerada de mayor abundancia en la naturaleza, después de la celulosa, representando entre 20 y 30% del total de lignocelulósicos (Fasanella, 2008). La lignina puede ser removida para producir ácidos fenólicos,

vainillina y ácido ferúlico que son utilizados en la industria farmacéutica, como aromatizante en la industria de alimentos y en la industria cosmética.

La lignina es un polímero fenólico complejo constituido por una estructura amorfa de alta masa molecular, fuertemente aromático e insoluble en agua, más soluble en soluciones básicas concentradas o solventes orgánicos (Scheufele, 2012). Este compuesto heterogéneo es formado por la polimerización oxidativa de tres precursores fenilpropanoides monoméricos: alcohol sinapílico (siringil propanol), alcohol coniferílico (guaicil propanol) y alcohol cumarílico (propanol p-hidroxifenil) unidos entre sí, y con los polisacáridos presentes en la pared celular por enlaces éter y carbono-carbono (Figura 1) (Fasanella, 2008). Los monómeros varían en proporción de acuerdo con la especie de planta, siendo los enlaces β -O-4 los más frecuentes (Jeffries, 1994; Hofrichter, 2002; Önerud, et al., 2002).

La lignina es de gran interés científico y económico debido a su naturaleza aromática y compleja, sin embargo, el gran potencial de las ligninas no es aprovechado satisfactoriamente. Casi la totalidad de la lignina es quemada para la generación de energía, siendo una cantidad limitada utilizada en aplicaciones como adhesivos, biomateriales, bioinsecticidas, bioestabilizantes y como abono (fertilizante) (Kleinert, & Barth, 2008; Stewart, 2008; Lora, & Glasser, 2002). Los compuestos fenólicos derivados de la lignina, por ejemplo, pueden ser convertidos a éteres de arila y utilizados como aditivos en gasolina, en cuanto que solventes y ácidos orgánicos pueden ser sintetizados por craqueo químico y alquilación (Fanasella, 2008).

Figura 1: Precursores de la lignina: unidades de hidroxifenil (a), guaicil (b) y siringil (c) (Saliba et al. 2001).



Una de las limitaciones del aprovechamiento de la lignina está relacionada con la propia estructura lignocelulósica, ya que generalmente es necesario romper el complejo celulosa-lignina-hemicelulosa, o remover cada fracción por técnicas de pre-tratamiento, como la hidrólisis alcalina (deslignificación).

La extracción alcalina de la lignina, a partir de la explosión a vapor, por ejemplo, puede originar una serie de compuestos fenólicos de interés comercial como el siringaldehído, p-hidroxibenzaldehído y vainillina (esencia de vainilla), producidas por oxidación de los productos de la hidrólisis (Fanasella, 2008).

De esta forma, la falta de tratamiento de la biomasa dificulta su aprovechamiento en procesos industriales, una vez que la asociación de sus fracciones confiere gran resistencia al ataque de agentes químicos, enzimáticos o microbianos (Cunha, 2006).

Hidrólisis de la lignina en medio alcalino-deslignificación

Existen varias técnicas de pretratamiento que son empleadas en materiales lignocelulósicos *in natura*, los cuales presentan una estructura rígida y recalcitrante (Oliveira, 2010). La pulpación con soda o sulfito, pulpación Kraft y pulpación organosolvente son algunos métodos conocidos para remover la lignina de la biomasa vegetal (Sanchez, & Cardona, 2008). Estos procesos de remoción emplean agua y requieren el uso de solventes orgánicos en elevadas concentraciones para que ocurra la ruptura de los enlaces y posterior remoción de la lignina (Rossi, 2012).

El hidróxido de sodio es uno de los agentes alcalinos más efectivos y ha sido utilizado para tratar diversos tipos de materiales lignocelulósicos (Soto et al., 1994). El pretratamiento con soda fue el primer método químico de pulpación reconocido. En este proceso se utiliza una solución alcalina fuerte de hidróxido de sodio para deslignificación de trozos y astillas de madera (Bonfatti Jr., 2010). La remoción de lignina de un material fibroso utilizando el método de hidrólisis alcalina, o deslignificación, consiste en el mismo procesos de pulpación con soda, pero en condiciones de reacción más amenas (concentración de álcali de máximo 4% y temperaturas de 70 °C) (Silva, 2009). Su acción provoca la ruptura de la estructura de la lignina por la saponificación de los grupos ésteres, liberando de esa forma los ácidos fenólicos de interés.

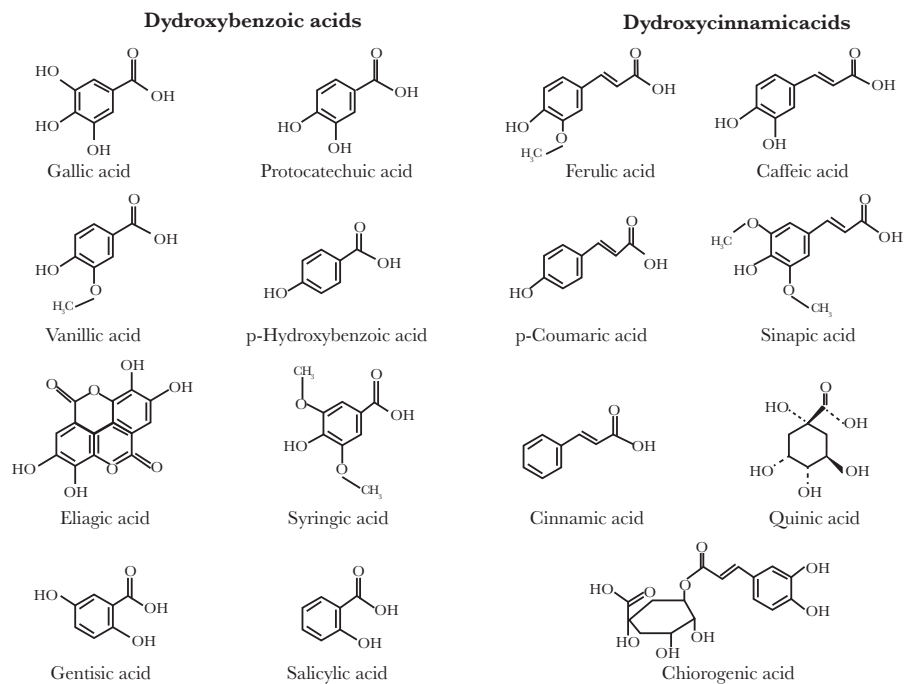
El pretratamiento con álcali posee ventajas cuando comparado con métodos ácidos, una vez que utiliza condiciones más amenas y la remoción de la fracción de lignina no actúa degradando otros componentes importantes (Balat et al., 2008). Esta forma de remoción también posibilita la utilización de esos polímeros importantes que permanecen íntegros, permitiendo el máximo aprovechamiento del material separado. Como los residuos lignocelulósicos son abundantes, varios trabajos son realizados para separación de la fracción celulosa-lignina-hemicelulosa. El pre-tratamiento de la biomasa es esencial y permite la obtención de un producto de interés industrial. Nascimento (2011), por ejemplo, utilizó el pretratamiento alcalino con hidróxido de sodio de bagazo de caña de azúcar para producir etanol y obtener xilooligómeros. Aguiar y Lucena (2011) utilizaron el pretratamiento con hidróxido de sodio para evaluar la producción de celulasas producidas por el hongo *Aspegillus niger* en bagazo de caña de azúcar, paja de trigo y paja de maíz. De esta forma, existiendo varios trabajos relacionados con el pre-tratamiento alcalino con hidróxido de sodio, poco se sabe de investigaciones relacionadas con la cáscara de café, principalmente en relación al tratamiento y la diversidad de compuestos bioactivos que este residuo puede ofrecer.

Compuestos bioactivos obtenidos a partir de la lignina solubilizada

Los alimentos de origen vegetal presentan compuestos no nutricionales (fitoquímicos) con actividades biológicas consideradas promotoras de la salud, tal como la actividad antioxidante, antiinflamatoria e hipocolesterolemica. La posibilidad de reducir el riesgo de enfermedades a través de la dieta, ha atraído la atención de la comunidad científica y de las industrias alimenticias, con el objetivo común de desarrollar “alimentos funcionales”, o alimentos ricos en uno o más compuestos o componentes bioactivos que presentan efectos positivos en la salud (Pinto, 2008).

Los compuestos fenólicos son definidos como sustancias que poseen anillo aromático con uno o más sustituyentes hidroxílicos, incluyendo sus grupos funcionales y representan la mayor categoría de agentes fitoquímicos (Lee et al., 2005). Estos compuestos se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal, como derivados de las vías del ácido siquímico (también ácido shiquímico) y aceto-melonato y son incluidos en la categoría de neutralizadores de radicales libres, siendo eficientes en la prevención de la auto-oxidación. En alimentos, son responsables por el color, astringencia, aroma y estabilidad oxidativa (Balasundram, Sundram, & Samman, 2006). Los tres mayores grupos de fenólicos son los flavonoides, los ácidos fenólicos y los polifenoles (taninos).

Figura 2. Ejemplos de compuestos fenólicos encontrados en plantas (Martins et al., 2011).



Los ácidos fenólicos comprenden los ácidos benzoicos y sus derivados (hidroxibenzoico, gálico, elágico, etc) y los ácidos cinámicos y derivados (cumárico, caféico, ferúlico e clorogénico) (Figura 2). Ácidos hidrobenczoicos son componentes de complejas estructuras de los taninos hidrolizables y son menos abundantes en los vegetales consumidos por los humanos. Los ácidos hidroxicinámicos están presentes en varios alimentos y bebidas de origen vegetal como el café, hierba mate, cereales, entre otros (Manach et al., 2004; Clifford, 1999).

Flavonoides son compuestos polifenólicos biosintetizados a partir de la vía de los fenilpropanoides y de acetato, precursores de varios grupos de sustancias como aminoácidos alifáticos, terpenoides, ácidos grasos, entre otros (Mann, 1987). Estos compuestos participan de importantes funciones en el crecimiento, desarrollo y en la defensa de vegetales contra ataques de microorganismos patógenos (Dixon & Harrison, 1990) y están presentes en la mayoría de las plantas, concentrados de semillas, frutos, cáscaras, raíz, hojas y flores (Feldmann, 2001). Los flavonoides poseen una estructura básica formada por C6-C3-C6, siendo los compuestos más diversificados del reino vegetal.

Pueden ser divididos en 14 clases, dependiendo de la sustitución y del nivel de oxidación del anillo C3, siendo seis clases incluidas en la dieta humana. La clasificación de los grupos comprende a los flavanoles (catequina, epicatequina); flavonoles (quercetina, kaempferol y quercetina); flavonas (rutina, apigenina y luteoleína); antocianidinas (cianidina, petunidina, malvidina); isoflavonoides (genisteína, coumestrol) y las flavonas (mirecetina, hesperidina, naringina, naringenina). Los flavonoides también difieren en la sustitución de los anillos A y B, los cuales pueden ser encontrados en la naturaleza bajo la forma de aglicona, glicósidos y/o derivados metilados y/o acilados, las modificaciones en el anillo central de esas sustancias llevan a las clases citadas anteriormente como flavonoles, antocianidinas, sucesivamente (Coutinho, Muzitano, & Costa, 2009; Silva, 2004).

Los taninos son polímeros de alto peso molecular divididos en dos clases: taninos hidrolizables, que comprenden polímeros de ácidos gálico o elágico, encontrados en frutas como fresas o uva Muscadine (*Vitis rotundifolia*) y en las nueces; y los taninos condensados, polímeros de catequina o epicatequina (King; Young, 1999). Los polifenoles están constituidos por unidades monoméricas de fenol, cuya molécula de fenol está formada por un anillo aromático enlazado a un grupo hidroxilo (-OH). Los fenólicos son considerados los componentes más importantes de las especiarías y otros materiales derivados de plantas, siendo reportada la correlación entre la alta concentración de fenólicos y la capacidad antioxidante de los vegetales (Hu & Skibsted, 2002). Para que un polifenol pueda ser definido como antioxidante es necesario satisfacer dos condiciones básicas: primero, cuando presente en bajas concentraciones en relación al sustrato, debe bloquear, retardar o prevenir la auto-oxidación o la oxidación mediada por un radical libre; segundo, el radical resultante formado después del secuestro debe ser estable en los enlaces de hidrogeno intramoleculares. La actividad antioxidante de los ácidos fenólicos y de sus ésteres depende del número de grupos hidroxilos de la molécula, y es reforzada por el impedimento estérico (Rice-Evans, Miller, & Paganga, 1996).

Los compuestos fenólicos, en general, son muy utilizados en la industria de alimentos como agentes de prevención de oxidación lipídica. Ácidos fenólicos, específicamente, actúan como antioxidantes proporcionando aumento de vida útil de alimentos de 15 a 200% (Soares, 2002). En los últimos años, los compuestos bioactivos vienen siendo estudiados debido a la capacidad de promover beneficios para la salud humana, actuando en la reducción de la incidencia de enfermedades degenerativas, tales como cáncer y diabetes (Kim et al, 2009). Otros beneficios de estos compuestos incluyen propiedades antimutagénicas, antialérgicas, efectos antiinflamatorios y antimicrobianos (Ham et al. 2009; Parvathy et al. 2009). Debido a estas características benéficas para la salud, diferentes frutos, legumbres, plantas agrícolas y residuos agroindustriales vienen siendo estudiados como fuente de compuestos fenólicos bioactivos.

Conclusión

Las posibles aplicaciones de los residuos agroindustriales están siendo estudiados por diversos investigadores para la obtención de productos de interés en gran escala y bajo costo para minimizar los impactos ambientales de su disposición inadecuada. Brasil se convierte en el objetivo de estos estudios, principalmente por su diversidad en el sector agroindustrial, siendo una fuente atractiva para estudios de diferentes bioprocesos. Poco se sabe del potencial de reutilización de muchos residuos provenientes de la agroindustria, como las cáscaras de café. Debido a su gran diversidad de composición, este subproducto se muestra altamente viable para la extracción de biocompuestos de interés industrial a partir de su fracción lignocelulósica, como flavonoides, ácidos fenólicos y polifenoles (taninos).

Bibliografía

- Aguiar, C. M & Lucena, S. L. (2011). Produção de celulases por *Aspergillus niger* e cinética de desativação celulásica. *Acta Scientiarum Technoly*, 33(4), 385-391.
- Alvarenga, M. L. (2013). Pirólise de residuos de embalagens cartonadas e seus componentes puros: uma avaliação cinética. Dissertação em mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. São Mateus, ES, Brasil.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agroindustrial byproducts: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chem*, 99, 191–203.
- Balat, M. (2011). Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: a review. *Energy conversion and management*. Barking. V. 52, n. 2, p. 858-875.
- Balat, M.; Balat, H.; Öz, C. (2008). Progress in bioethanol processing. (V. 34, n. 5, p. 551-573). Amsterdam: Progress in Energy and Combustion Science.
- Barcelos, A. F.; Paiva, P.C.A.; Pérez, J.R.O.; Santos, V.B.; Cardoso, R.M. (2001). Fatores Antinutricionais da Casca e da Polpa Desidratada de Café (*Coffea arabica* L.) Armazenadas em Diferentes Períodos. (v. 30, n. 4). Viçosa: Revista Brasileira de Zootecnia.
- Bekalo, S. A., & Reinhardt, H. W. (2010). Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. *Materials and Structures*, 43, 1049–1060.
- Bonfatti Jr, E. A. (2010). Caracterização das propriedades anatômicas, química e densidade da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J. C. Wendl., para a produção de celulose Kraft com diferentes cargas de Álcali. Graduação. Universidade de Brasília. Brasília, DF, Brasil.
- Clifford, M. N. (1999). Chlorogenic acids. In: Clarke, R. J.; Macrae, R. (Ed.). *Coffee Chemistry* v. 1, London: Elsevier Applied Science. p. 153-202.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. (2015). Acompanhamento da Safra Brasileira Café Safra 2015 primeira estimativa. Brasília.
- Coutinho, M. A. S.; Muzitano, M. F., & Costa, S. S. (2009). Flavonóides: Potenciais agentes terapêuticos para o processo inflamatório. (v. 1, n.3, p. 241-256). Rio de Janeiro: Revista Virtual Química.

- Cunha, M. A. A. (2006). Bioprodução de xilitol a partir de hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar em sistemas com células de *Candida guilliermondii* imobilizadas em géis de álcool polivinílico. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Lorena, SP, Brasil.
- Dixon R. A., & Harrison, M. J. (1990). Activation, structure, and organization of genes involved in microbial defense in plants. *Adv Genet*, 28, 165-234.
- Farris, P. (2007). Idebenone, green tea, and Coffeeberry® extract: New and innovative antioxidants. *Dermatologic Therapy*, 20, 322–329.
- Fasanella, C. C. (2008). Ação das enzimas ligninolíticas produzidas por *Aspergillus niger* e *Penicillium sp.* em bagaço de cana-de-açúcar tratado quimicamente. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, Brasil.
- Feldmann, K.A. (2001). Cytochrome P450s as genes for crop improvement. *Curr Opin Plant Biol*, 4, 162-7
- Furlan, V.J.M. (2009). Produção de bioetanol a partir de resíduos lignocelulósicos da agroindústria do arroz. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, RS, Brasil.
- Gouvea, B. M., Torres, C., Franca, A. S., Oliveira, L. S., & Oliveira, E. S. (2009). Feasibility of ethanol production from coffee husks. *Biotechnology Letters*, 31, 1315–1319.
- Ham S-S, Kim S-H, Moon S-Y, Chung MJ, Cui C-B, Han E-K, et al. (2009). Antimutagenic effects of subfractions of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract. *Mutat Res Gen Toxicol*, 672, 55–9.
- Hofrichter, M. (2002). Review: lignin conversion by manganese peroxidase (MnP). (v. 30, p. 554-556). New York: Enzyme and Microbial Technology.
- Hu, M., & Skibsted, L. H. (2002). Antioxidative capacity of rhizome extract and rhizome knot extract of edible lotus (*Nelumbo nucifera*). *Food Chemistry*, v. 76, p. 327-333.
- Jeffries, T. W. (1990). Biodegradation of carbohydrate complexes. *Biodegradation*, 1, 163-176.
- Jeffries, T. W. (1994). Biodegradation of lignin and hemicelluloses In: Ratledge, C. (Ed). *Biochemistry of microbial degradation*. Netherland: Kluwer Academic Publishers. 590 p.
- Kleinert, M., & Barth, T. (2008). Phenol from lignin. *Chemical Engineering and Technology*. 31, 736-745.
- Kim G-N, Shin J-G, Jang H-D. (2009). Antioxidant and antidiabetic activity of Dangyuja (*Citrus grandis* Osbeck) extract treated with *Aspergillus saitoi*. *Food Chem*, 117, 35–41.
- King, A.; Young, G. (1999). Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals. (v. 99, n. 2, p. 213-218). Chicago: J. Am. Diet. Assoc.
- Kondamudi, N., Mohapatra, S. K., & Misra, M. (2008). Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 11757–11760.
- Kuhad, R. C., & Singh, A. (1993). Lignocellulose Biotechnology: Current and Future Prospects. *Critical Reviews in Biotechnology*, 13, 151-173.
- Latif, F., & Rajoka, M. I. (2001). Production of Ethanol And Xylitol From Corn Cobs By Yeasts. *Bioresource Technology*, 77, 57-63.

- Lee, S. J.; Umano, K.; Shibamoto, T.; LEE, K. G. (2005). Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum*) and thyme leaves (*Thymes vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food Chemistry*, 91(1), 131-137.
- Lima, L. K. S.; Santos, C. C.; Moura, M. F. C.; Dutra, A. S.; Filho, A. F. O. (2014). Utilização do resíduo oriundo da torrefação do café na agricultura em substituição a adubação convencional. (v.10, n.1, p. 14-19). Campus de Patos, PB, Brasil: Revista ACSA.
- Lynd, R. L.; Van zyl, W. H.; McBride, J. E.; Laser, M. (2005). Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update. *Current Opinion in Biotechnology*, 16, 577–583.
- Lora, J. H., & Glasser, W. G. (2002). Recent industrial application of lignin: a sustainable alternative to nonrenewable materials. *Journal of Polymers and the Environment*, 10, 39-48.
- Machado, C.M. M., Soccol, C. R., de Oliveira, B. H., & Pandey, A. (2002). Gibberellic acid production by solid-state fermentation in coffee husk. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 102–103, 179–191.
- Mann J. (1987). *Secondary metabolism*. (p.374.) Oxford: Clarendon Press.
- Manach, C.; Scalbert, A.; Morand, C.; Rémesy, C.; Jimenez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79, 727-747.
- Martins, S., Mussatto, S.I., Martínez-Avila, G., Montañez-Saenz J, Aguilar, N.C., Teixeira A.J. (2011). Bioactive phenolic compounds: Production and extraction by solid-state fermentation. A review. *Biotechnology Advances*, 29:365–373.
- Matos, L. P. C. (2014). Compostos fitoquímicos e atividade antioxidante de casca do café. Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, PR, Brasil.
- Moraes, S. A. L.; Nascimento, E. A., & Melo, D. C. (2005). Análise da madeira do *Pinus oocarpa* Parte II – Caracterização estrutural da lignina de madeira moída. (v. 29, n° 3, p. 471-478). Viçosa, MG, Brasil: Revista *Árvore*.
- Murthy, P. S., Naidu, M. M., & Srinivas, P. (2009). Production of α -amylase under solidstate fermentation utilizing coffee waste. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 84, 1246–1249.
- Nascimento (2011). Pré-tratamento alcalino (NaOH) do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol e obtenção de xilooligômeros. Dissertação em mestrado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, Brasil.
- Yoshida, L. M. (2005). Extração de solúveis do café torrado. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, Brasil.
- Ogeda, T. L.; Petri, D.F.S. Hidrólise Enzimática de Biomassa. (2010). *Quím. Nova*, 33,(7),1549-1558.
- Oliveira, F.M. V. (2010). Avaliação de diferentes pré-tratamentos e deslignificação alcalina na sacarificação da celulose de palha de cana. Dissertação em mestrado. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. Lorena, SP, Brasil.

- Önnerud, H.; Zhang, L.; Gellerstedt, G.; Henriksson, G. (2002). Polymerization of monolignols by redox shuttle – mediated enzymatic oxidation. *The Plant Cell*, 14,1953-1962.
- Parvathy KS, Negi PS, Srinivas P. (2009). Antioxidant, antimutagenic and antibacterial activities of curcumin- β -diglucoside. *Food Chem*, 115, 265–71.
- Pinto, M.S. (2008). Compostos bioativos de cultivares brasileiras de morango (*Fragaria x ananassa* Duch):caracterização e estudo da biodisponibilidade dos derivados do ácido elágico. Tese em doutorado.Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Ramírez-Coronel, M. A., Marnet, N., Kolli, V. S. K., Roussos, S., Guyot, S., & Augur, C. (2004). Characterization and estimation of proanthocyanidins and other phenolics in coffee pulp (*Coffea arabica*) by thiolysis-high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 1344–1349.
- Ramírez-Martínez, J. R. (1988). Phenolic compounds in coffee pulp: Quantitative determination by HPLC. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 43, 135–144.
- Rice-Evans, C.A.; Miller, N.J., & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology & Medicine*, 20,933-956.
- Rossi, G. F. Análise dos processos de polpação do bagaço da cana-de-açúcar:estudo termocinético da influência da antraquinona no tratamento alcalino. (2012). Tese em doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil.
- Sánchez, O.J., & Cardona, C.A. (2008). Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*, 99,5270–5295.
- Saliba, E. O. S.; Rodriguez, M. N.; Morais, S. A. L.; Piló-Veloso, D. (2001). Ligninas – Métodos de obtenção e caracterização química. *Ciência Rural*, 31(5), 917-928.
- Scheufele, F. B. Bioconversão de resíduos agroindustriais por micro-organismos do bioma amazônico produtores de enzimas lignocelulolíticas. (2012). Dissertação em mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Centro de Engenharia e Ciências Exatas. Toledo, PR. Brasil.
- Silva, M.deB.S.(2004).Flavonóides com capacidade antioxidante.Disponível em: Acesso em:13 mai. 2015.
- Silva, V. F. N. (2009). Estudos de pré-tratamento e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico. 2009. 116p. Dissertação em mestrado. Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, SP, Brasil.
- Soares, S. E. (2002). Ácidos Fenólicos como Antioxidantes. *Revista de Nutrição*, 15(1), 71-81.
- Socol, C. R. (2002). Resíduo de Café: Um substrato promissor para a produção industrial de bioprodutos com alto valor agregado. In: I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/10820/19>>. Acesso em 25 out 2014.

- Soto, M. L.; Domínguez, H.; Núñez, M. J.; Lema, J. (1994). Enzymatic saccharification of alkali-treated sunflower hulls. *Bioresource Technology*, 49, 53-59.
- Stewart, D. (2008). Lignin as a base material for materials applications: chemistry, application and economics. *Industrial Crops and Product*, 27, 202-207.
- Szengyel, Z. (2000). Ethanol from wood cellulose enzyme production. Tese de Doutorado, Lund University. Sweden, Suécia.

Biotechnologías en la mejora genética en animales de interés agropecuario en México

Biotechnologies in the genetic improvement of agriculture and livestock in Mexico

Adelfa del Carmen García Contreras⁴³

Camelia Alejandra Herrera Corredor⁴⁴

Oscar Manuel Portilla Rivera⁴⁵

María Dolores Saavedra Leos

Resumen

⁴³Facultad de Veterinaria, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, México

⁴⁴Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México

⁴⁵Coordinación Académica Región Huasteca Sur, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Tamazunchale, San Luis Potosí, México

La biotecnología de la reproducción inició alrededor de 1950 con el desarrollo de la inseminación artificial, seguido de la transferencia de embriones en 1970. La biotecnología de la reproducción comprende técnicas que van desde la inseminación artificial hasta la clonación, estas técnicas han permitido aumentar la eficiencia reproductiva de los animales que sirven como materia prima para la alimentación humana, así como, importantes avances en la investigación biomédica. Las biotecnologías aplicadas en la mejora genética en animales de interés agropecuario incluyen inseminación artificial, producción *in vivo* e *in vitro* de embriones, crio preservación de embriones y gametos.

Abstract

Biotechnology of reproduction start around 1950 with the development artificial insemination, followed by embryo transfer in 1970. The reproduction biotechnology includes techniques ranging from artificial insemination to cloning, these techniques have increased the reproductive efficiency of animals that serve as raw material for food, as well as major advances in biomedical research. Biotechnologies applied in genetics improvement animals agricultural interests include artificial insemination *in vivo* and *in vitro* production of embryos, cryopreservation of embryos and gametes.

Palabras clave: Biotecnología, Fecundación *in vitro*, biotecnologías de la reproducción.

Introducción

La ganadería es una actividad productiva y fundamental para la economía de México, de esta actividad depende un gran número de familias, desde el punto de vista de ingresos y como fuente de proteína obtenida de productos derivados de esta actividad como carne, leche y todos sus derivados. En el 2013 la SAGARPA (Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) a través del SIAP (Servicio de Información Agroalimentario y Pesca) reportó un inventario de 32 402 46 cabezas de bovino (carne y leche). El

92.3% está destinado a la producción de carne y solo el 7.7% para producción de leche. A pesar de que el ganado bovino se orienta a la producción de carne, el crecimiento del inventario nacional y por tanto la producción de carne ha sido baja, de 1990 al 2000 solo aumentó en un 23.7% y un 20.5% del 2000 al 2013, según las estadísticas del SIAP, no solo no se mantuvo la producción en 20 años sino que disminuyó. Las causas de este fenómeno pueden tener muchas explicaciones entre las que podríamos citar los efectos climáticos que en los últimos años han afectado al país, como prolongadas sequías en la región norte y centro; unidas a inundaciones sufridas en algunas zonas del sur y sureste, esto generó importantes cambios sobre los vientres, que al haber pasado por periodos prolongados de estrés nutricional, tardarán más tiempo en quedar gestantes y por tanto, la siguiente producción de becerros se verá disminuida o, afectada en el mejor de los casos, pues está ampliamente descrito que el estrés nutricional genera una disminución de la persistencia y el tamaño del folículo dominante, alteración en la población de folículos y alteración en la ovulación (Mollo y Sartori., 2007; Garnsworthy et al., 2008).

La mejora y diversidad de las líneas de sangre en el ganado ha sido tradicionalmente mediante la importación de animales nacidos y más recientemente a través del uso de semen. En los últimos años en todo el mundo, la aplicación de las biotecnologías para coleccionar embriones antes de la implantación, conservarlos congelados durante extensos periodos y posteriormente descongelarlos y transferirlos al tracto reproductivo de madres receptoras, así como la producción mediante FIV provee una nueva alternativa a los medios convencionales de mejora genética. La biotecnología de la reproducción comprende técnicas que van desde la inseminación artificial hasta la clonación (Thibier M., 2005), estas técnicas han permitido aumentar la eficiencia reproductiva de los animales que sirven como materia prima para la alimentación humana. Una de las biotecnologías más utilizadas en todo el mundo es la inseminación artificial, esta técnica es utilizada en explotaciones ganaderas y pequeñas permitiendo el mejoramiento genético. En los últimos treinta años, la producción de embriones bovinos mediante la aplicación de la biotecnología se ha convertido en un negocio que ha generado gran impacto en la economía mundial. La transferencia de embriones ha sido ampliamente utilizada en la industria ganadera y comercial de bovinos de leche y carne. En la actualidad, la producción de embriones mediante biotecnologías tales como la fecundación *in vitro* (FIV) se utiliza para crear nuevas razas y acelerar la progresión genética y de esta forma aumentar el ganado vacuno de cría y producción (Greve et al., 2005; Mapletoft y Hasler, 2005; Lonergan, 2007; Wu y Zan, 2012). La Sociedad Internacional de Transferencias de Embriones (IETS) presentó los datos recogidos en el 2013 sobre las actividades de transferencia de embriones en animales domésticos en el año 2012 a nivel mundial. Reportando que en el 2012, la producción fue de un total de 1 143 119 de embriones obtenidos *in vivo* (IV) y por fecundación *in vitro* (FIV), de los cuales el 61% (699 586) fueron embriones producidos IV y 39% (443 533) fueron embriones de FIV. A pesar de que la tecnología requerida para la producción de embriones mediante FIV es altamente costosa y especializada, la producción de embriones FIV aumentó en cuatro años de un 15% a un 39% evidenciando así un

importante aumento del ganado vacuno de cría y producción (Stroud, 2009; Chair, 2013). La criopreservación de espermatozoides y embriones así como el uso de semen sexado en conjunto con la producción de embriones *in vitro* es un proceso potencialmente eficaz que permite obtener descendencia de sexo predeterminado y satisfacer las necesidades del mercado (Wheeler et al., 2006).

La situación actual de México en cuanto al uso y transferencia de biotecnologías es realmente pobre, en el 2012 solo reporto una producción de embriones del 0.3 % de la producción mundial mientras que Brasil transfirió el 68% de los embriones que se produjeron únicamente por FIV, posicionándose como el principal productor de embriones FIV en latino américa. A pesar de que el panorama ganadero de nuestro país es muy limitado en cuanto al uso de biotecnologías para mejorar la genética y aumentar la producción, algunos profesionales apuestan por la producción de embriones para la mejora de los hatos tal es el caso de dos empresas ubicadas en el país. Brasuca en Tabasco que desde el 2005 pone al alcance del ganadero mexicano, biotecnología que permite la reproducción masiva de hembras bovinas genéticamente superiores producidas mediante FIV y la empresa Genemex Internacional fundada en el 2011 en el estado de Chiapas. Ambas empresas son muy jóvenes comparado con los 30 años que la biotecnologías han beneficiado a la ganadería en otros países de América como Brasil, Argentina y sin duda USA.

Otra especie que en México se perfilan como fuente de proteína es la oveja, en el 2012 México reportó la obtención de 156 embriones IV, una cifra muy modesta comparada con Australia que reportó 7 000 embriones FIV. México está muy lejos de ser una potencia en producción de embriones *in vitro* esto podría deberse a la comodidad de obtener tanto embriones como semen sexado de USA y a lo costosa y especializada que es el área, sin embargo el uso de embriones y semen sexado es una realidad en nuestro país, por ejemplo en el 2012 las Asociaciones de la Unión Ganadera Regional del Norte de Veracruz recibió de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesca (SEDARPA), como parte de las acciones del programa de mejoramiento genético, 3 mil dosis de semen de alta calidad de ganado Brahmán, Simbrah y Beefmaster, con el objetivo de enriquecer los hatos de la entidad. En el estado de Guerrero en el 2006 se entregaron los primeros 60 embriones y 6 termos criogénicos para el traslado de germoplasma. En el 2013 se concluye la construcción del centro de acopio y distribución de nitrógeno líquido y semen bovino en el municipio de San Marcos, de la región Costa Chica, con el objetivo de fomentar y mejorar la genética de bovinos en todo el estado, así como mejorar el precio del nitrógeno y semen (Diario21).

El uso de las biotecnologías para la producción de embriones asegura medidas sanitarias y esto ha favorecido para que miles de embriones congelados sean vendidos y transferidos de forma rutinaria en todo el mundo. El uso de la biotecnología reproductiva como la inseminación artificial y transferencia de embriones, se consideran estrategias de bioseguridad. La transferencia de embriones es especialmente segura cuando se utilizan los protocolos sanitarios promovidos por la Sociedad Internacional de Transferencia de Embriones (Stringfellow y Givens, 2000; Wrathall et al., 2004). El Comité de importación y exportación de la IETS (ahora conocida como comité asesor de seguridad y

salud; HASAC) ha sido fundamental en la recopilación y difusión de información científica sobre el control de posibles enfermedades a causa de la transferencia de embriones bovinos. El Manual de la IETS es “Una guía de procedimientos e información general para el uso de la tecnología de transferencia de embriones enfatizando procedimientos sanitarios” (Stringfellow D.A. y Seidel ed S.M. 2010), se ha convertido en la fuente de referencia para los procedimientos sanitarios utilizados en los protocolos de exportación.

Conclusión

En México, la ganadería desde sus orígenes ha dependido del exterior para mejorar la productividad de sus animales, desde la importación de las primeras 50 cabezas de ganado bovino en 1521 (Primo, 1992; Rodero et al., 1992; Martínez et al., 2000) hasta la actualidad donde el abastecimiento de semen sexado y embriones, principalmente de USA, es de imperiosa necesidad para los sectores productivos. La ganadería necesita tener acceso a las biotecnologías no como un lujo si no como un derecho, para ello México deberá ser capaz de producir su propia materia prima en este caso embriones de alta calidad genética.

Bibliografía

- Mollo, M.R. y Sartori, R. (2007). Influência da ingestão alimentar na fisiologia reprodutiva da fêmea bovina. *Rev Bras Reprod Anim*, v.31, p.197-204.
- Garnsworthy, P.C., Gong, J.G., Armstrong, D.G., Newbold, J.R., Marsden, M., Richards, S.E., Mann, G.E., Sinclair, K.D. Webb, R. (2008). Nutrition, metabolism, and fertility in dairy cows: 3. Amino acids and ovarian function. *J Dairy Sci*. Nov; 91(11):4190-7.
- Thibier M. (2005). The zootechnical applications of biotechnology in animal reproduction: current methods and perspectives. *Reprod Nutr Dev*. 45(3):235-42. Review
- Greve, T. y Callesen, H. (2005). Embryo technology: implications for fertility in cattle. *Rev Sci Tech*. Apr; 24 (1):405-12.
- Mapletoft, R.J. y Hasler, J.F. (2005). Assisted reproductive technologies in cattle: a review. *Rev Sci Tech*. Apr; 24 (1):405-12.
- Lonergan, P. (2007). State of the art embryo technologies in cattle. *Soc Reprod Fertil Suppl*. ;64:315-25.
- Wu, B. y Zan, L. (2012). Enhance beef cattle improvement by embryo biotechnologies. *Reprod Domest Anim*. Oct; 47(5):865-71. Review.
- Stroud, B. (2009). The year 2009 worldwide statistics of embryo transfer in domestic farm animals. *IETS Newsletter* 48:11-21.
- Chair George Perry, (2013). worldwide statistics of embryo transfer in domestic farm animals IETS, 22nd annual report of the IETS Data Retrieval Committee.
- Wheeler, M.B., Rutledge, J.J., Fischer-Brown, A., Van Etten, T., Malusky, S. y Beebe, D.J. (2006). Application of sexed semen technology to in vitro embryo production in cattle. *Theriogenology*. Jan 7; 65 (1):219-27.

- SEDARPA <http://www.veracruz.gob.mx/agropecuario/noticia/entrega-sedarpa-apoyos-a-la-union-ganadera-regional-del-norte-de-veracruz/>
- http://www.diario21.com.mx/?cmd=displaystoryprint&story_id=1786&format=print&edition_id=4687
- SIAP <http://www.siap.gob.mx/poblacion-ganadera/>
- Stringfellow, D.A. y Givens, M.D. (2000). Epidemiologic concerns relative to in vivo and in vitro production of livestock embryos. *Anim. Prod. Sci.* 60-61:629-642.
- Wrathall, A.E., Simmons, H.A., Bowles, D.J. y Jones, S. (2004). Biosecurity strategies for conserving valuable livestock genetic resources. *Reprod. Fert. Dev.* 16:103-112.
- Stringfellow D.A. y Seidel ed S.M. (2010). *Manual de la Sociedad Internacional de Transferencia de Embriones*. 4º Edición. IETS, Champaign, IL, USA.
- Primo, A.T. (1992). El ganado bovino ibérico en las américas: 500 años después. *Arch. Zootec.*, 41 (extra): 421-432.
- Rodero, A., Delgado, J.V. & Rodero, E. (1992). Primitive andalusian livestock and their implication in the discovery of América. *Arch. Zootec.* (extra): 383-400.
- Martínez, R.D., Fernández, E.N., Género, E.R. & Rumiano, F.J.L. (2000). El ganado bovino criollo en Argentina. *Arch. Zootec.*, 49: 353-361.

Evaluación del aislamiento de hongos filamentosos de interés biotecnológico a partir de la cáscara de café

Evaluation of filamentous fungi with enzymatic activity of biotechnological interest isolated from coffee husk

Thamires de Fatima Andrade Durso⁴⁶

*Boutros Sarrouh

Resumen

⁴⁶*Universidade Federal de São João Del Rei. Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos. Caixa Postal: 131- CEP 36 420 000. Ouro Branco, MG/Brazil. Contacto: bsarrouh@ufsj.edu.br*

Los residuos agroindustriales, tales como la cáscara de café, son abundantes substratos que constituyen una materia prima de gran potencial para la bioconversión en productos de alto valor añadido. Además de ser utilizados para la generación de energía, suplemento de la alimentación animal y como fertilizante, la cáscara de café tiene un uso limitado debido a la presencia de compuestos fenólicos, considerados tóxicos, en su estructura. Pero la posibilidad de utilizar este subproducto llama la atención de los investigadores en procesos biotecnológicos, particularmente en la bioprospección de microorganismos con capacidad de producción de bioproductos de valor. Así, este trabajo presenta un estudio bibliográfico sobre el potencial para el uso de la cáscara del café como fuente para la obtención de hongos filamentosos con actividades enzimáticas de gran interés industrial.

Abstract

Agro-industrial residues, such as coffee husks, are abundant substrate of great potential for bioconversion in high value-added products. Besides being used for power generation, supplement for animal feed and as a fertilizer, the coffee husk has limited use due to the presence of phenolic compounds, considered as toxic, in its structure. But the feasibility of using this agro-industrial by-product draws attention of researchers in biotechnological processes, particularly in bioprospecting of microorganisms with potential for bioproducts production. Thus, this paper presents a bibliographic study on the use of coffee husk as low cost material for obtaining and isolation of filamentous fungi with promising enzymatic activity for industrial applications.

Introducción

Diversos procesos biotecnológicos son empleados cada vez más en el sector industrial para obtener productos de interés económico y social. Estos bioprocesos se caracterizan por ofertar beneficios operacionales en comparación con los procesos químicos, pues son responsables de la producción de una amplia gama de metabólicos de interés industrial, tales como enzimas, ácidos orgánicos, antibióticos, entre otros.

Residuos agroindustriales como la cáscara de café son sustratos abundantes en Brasil y constituyen una materia prima de gran potencial para la producción de bioproductos de alto valor añadido. Según Sánchez (2009) se han desarrollado con éxito diversos bioprocesos a partir de residuos agroindustriales, incluyendo la producción de enzimas microbianas. Estos residuos sirven como sustratos naturales para el aislamiento e crecimiento de microorganismos y la consiguiente producción de enzimas específicas para cada fracción orgánica del sustrato colonizado (Lavelle, 2000). Como estos materiales son ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina, sus usos como sustrato han inducido la producción de las enzimas de xilanasas, ligninasas y celulasas que son responsables de la hidrólisis de estos polímeros, permitiendo así la liberación de glucosa y xilosa y otros compuestos fenólicos con actividades antioxidantes (Haichar et al, 2007; Singh et al., 2003).

La producción de enzimas de microorganismos como los hongos filamentosos, puede emplearse en diversas industrias como la farmacéutica, textil, fabricación de papel, la producción de biocombustibles, alimentación y detergentes (Bhat, 2000; Polizeli, 2005). La búsqueda de nuevas cepas permite la selección de nuevos microorganismos capaces de producir diferentes bioproductos a través de la degradación de los diferentes sustratos, lo que hace de la cáscara de café como residuo prometedor para la bioprospección de microorganismos con potencial biotecnológico.

El café es uno de los productos agrícolas más importantes de Brasil, y el tipo que domina en la producción nacional es la *Coffea arábica* L. cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones climáticas de la región. Según CONAB (2015), Brasil es el mayor productor y exportador mundial de café, y en la temporada de 2014 obtuvo más de 45,3 millones de sacos de 60 Kg. Minas Gerais se destacó como el mayor estado productor de café. Esto representa alrededor del 50% de la producción nacional con el cultivo predominante de café Arábica. A medida que la proporción de grano procesado y las cáscara de café es de 1:1 durante el procesamiento (Badocha, Costa, Leonidas, 2003), se generan muchos residuos, lo que hace necesaria la búsqueda de nuevas tecnologías para utilizar la biomasa resultante.

Los residuos de la producción de café se utilizan tradicionalmente como fertilizante, combustible en el proceso de secado del propio café y suplemento en la alimentación de rumiantes; la acumulación excesiva de este residuo causa graves problemas ambientales (Baggio, 2006; Pandey et al, 2000). Sin embargo, hay varias oportunidades de empleo de la cáscara de café como para la producción de compuestos bioactivos e enzimas por procesos biotecnológicos (Soccol, 2002). Dentro de este contexto, la bioprospección de hongos filamentosos a partir de la cáscara de café presenta una alternativa promissora para la industria biotecnológica, ya que las cepas pueden producir enzimas con posibles aplicaciones, principalmente, para la industria alimentaria, la química y la obtención de biocombustibles.

Cáscara de café e alternativas de uso

La cáscara de café, conocida como paja de café, se deriva del proceso de beneficio de granos de café. Este residuo puede contener tanto el exocarpio (cáscara) y el mesocarpio (pulpa) y el endocarpio (pergamino) (Braga et al., 2001). La principal producción y el consumo de café en Brasil lideran la generación de

grandes cantidades de cáscara, y la cantidad generada es equivalente al total de los granos procesados (Badocha, Costa, Leonidas, 2003), por lo tanto hace necesario buscar alternativas de aplicación de estos residuos con el fin de reducir el impacto de su eliminación en el medio ambiente (Baggio, 2006). La definición de la posible utilización de cáscara de café puede variar con el método de preparación por parte de la que recibió el grano. La cáscara se utilizó como sustrato por Soares et al, (2000) para el crecimiento de hongos (*Cerastocystis frimbriata*) y la consiguiente producción de aromas frutales. Fan et al., (2001) utiliza la cáscara como sustrato para la producción de hongos comestibles mientras Oliveira et al., (2008) utiliza las mismas como un adsorbente para la eliminación de colorantes catiónicos (azul de metileno) en soluciones acuosas. Según Souza et al. (2006), la cáscara obtenida mediante el método seco tiene un gran potencial para la alimentación de los rumiantes, debido a la gran disponibilidad y sus características químicas y cualitativas. Los residuos de la producción de café también se utilizan tradicionalmente como cobertura para el suelo y como combustible en el propio proceso de secado de café (Silva, 2012). Según Soccol (2002), las aplicaciones de la cáscara como fertilizantes están limitadas debido a su baja eficiencia, ya que utiliza sólo una pequeña parte de la cantidad disponible. Este mismo trabajo se ocupa de las posibilidades de producción de bioproductos de la cáscara y la pulpa de café, por la acción de hongos y levaduras, tales como: sabores microbianos, enzimas, ácido cítrico y ácido giberélico (promotor y regulador del crecimiento de las plantas); También sugiere la desintoxicación de la cáscara, lo que reduce la cantidad de compuestos tales como la cafeína y el tanino, de modo que la cáscara destoxificada constituye un producto más adecuado para la alimentación animal.

Los avances en la tecnología de la bioenergía en relación con el uso de materiales lignocelulósicos como materia prima para la generación de energía renovable y generar bioproductos de alto valor, presentan motivos suficientes para evaluar la posibilidad de utilizar esta abundancia de residuos en el país.

Composición química de la cáscara de café

La cáscara de café es una materia prima lignocelulósica rica en biomoléculas diferentes, donde los carbohidratos constituyen más de 50% de su peso seco, seguido de pectinas y proteínas, respectivamente (Tabla 1). En los residuos vegetales, los carbohidratos predominantes son la celulosa y la hemicelulosa. Este residuo junto con la lignina está ligado químicamente por enlaces covalentes y fuerzas no covalentes para mantener la integridad estructural de la planta (Scheufele, 2012). La relación de celulosa, hemicelulosa y lignina varían considerablemente dependiendo de la especie, la edad del cultivo, condiciones de crecimiento y la parte de la planta (Lynd et al., 2005).

La gran extensión territorial y los factores climáticos son responsables de proporcionar el crecimiento en el sector agrícola que, juntamente con el avance tecnológico influyen el aumento del número de investigaciones relacionadas con la destinación de subproductos agrícolas para minimizar los impactos ambientales. Así como la paja de arroz, bagazo de caña de azúcar, entre otros productos, la cáscara de café se convirtió en el objetivo de la exploración de posibles usos en el sector industrial.

Componente	% peso seco	Autores
Materia seca	88.37	Barcelos A. F. (2001)
Celulosa	37.26	Barcelos A. F. (2001)
Hemicelulosa	24.98	Barcelos A. F. (2001)
Lingina	12.38	Souza et al., (2001)
Carbohidratos	57.8	Soccol (2002)
Proteínas	9.2	Soccol (2002)
Lípidos	2.0	Soccol (2002)
Caféina	1.3	Soccol (2002)
Taninos	4.5	Soccol (2002)
Pectinas	12.4	Soccol (2002)
Ceniza	7.44	Souza et al., (2001)

Tabla 1. Composición química de la cáscara de café de acuerdo con diferentes autores.

Obtención de enzimas industriales por hongos filamentosos de diferentes sustratos agroindustrial

Los hongos filamentosos, también conocidos como mohos, son microorganismos multicelulares, eucarióticos, quimioheterotróficos, no requieren sustancias orgánicas como fuente de energía y tienen el metabolismo principalmente aeróbico. Tienen un papel fundamental en la cadena alimentaria una vez que son capaces de reciclar elementos vitales y descomponer las partes duras de las plantas mediante el uso de enzimas extracelulares. Los hongos multicelulares se identifican considerando tanto las características morfológicas macroscópicas como la apariencia física de sus colonias, y microscópicas, incluyendo las estructuras reproductivas (Tortora et al., 2012).

Los hongos filamentosos se han destacado en la producción de diferentes biomoléculas, principalmente la producción de enzimas, acción biotecnológicamente atractiva, ya que hacen el proceso más rápido, barato y ecológico (Giraldo, 2011). Estos microorganismos se adaptan mejor a las condiciones de fermentación en estado sólido en comparación con otros microorganismos unicelulares, por tanto, tienen buena tolerancia a la menor actividad de agua y alta presión osmótica (Krishna, 2005).

La síntesis de enzimas extracelulares es común en muchas especies de hongos filamentosos en respuesta a ciertos estímulos ambientales, la expresión de genes y posterior secreción de enzimas formadas (Colen, 2006). Los hongos son capaces de secretar una variedad de exoenzimas como proteasas, amilasas, celulasas, pectinasas, ligninasas, xilanasas, lipasas, entre otros, y la síntesis de tales enzimas está sujeta a diversos mecanismos reguladores capaces de la inducción y la represión (Archer & Wood, 1995).

El uso de enzimas ha sido explotado por los seres humanos durante miles de años directamente mediante el empleo de preparados enzimáticos crudos de origen animal y vegetal o indirectamente para disfrutar de la acción enzimática como resultado del crecimiento microbiano en ciertos sustratos (Colen, 2006). Sin embargo, la producción y el uso de enzimas microbianas, aunque relativamente reciente, constituye el mayor sector de la industria biotecnológica

(Neidleman, 1991). La diversidad de enzimas microbianas es enorme, y aumenta cada día, debido al descubrimiento de nuevas enzimas y nuevas aplicaciones industriales (Colen, 2006). Esta amplia variedad de enzimas puede ser secretada por hongos filamentosos presentes principalmente en residuos agroindustriales.

Algunas enzimas extracelulares fúngicas son de gran importancia comercial, especialmente en el área de alimentos, tales como proteasas ácidas, lipasas, nucleasas y carbohidralasas (Colen, 2006). La producción de enzimas de hongos en escala industrial, se ha llevado a cabo por fermentación líquida, probablemente debido a la facilidad de ejecución y control, también por presentar rendimientos satisfactorio de producción (Sant'Anna Jr, 2001). Pero los avances tecnológicos se han incorporado en los procesos de fermentación en estado sólido, como el aumento del rendimiento en el proceso de producción, alterando así el perfil de producción dos bioproductos microbianos (Colen, 2006).

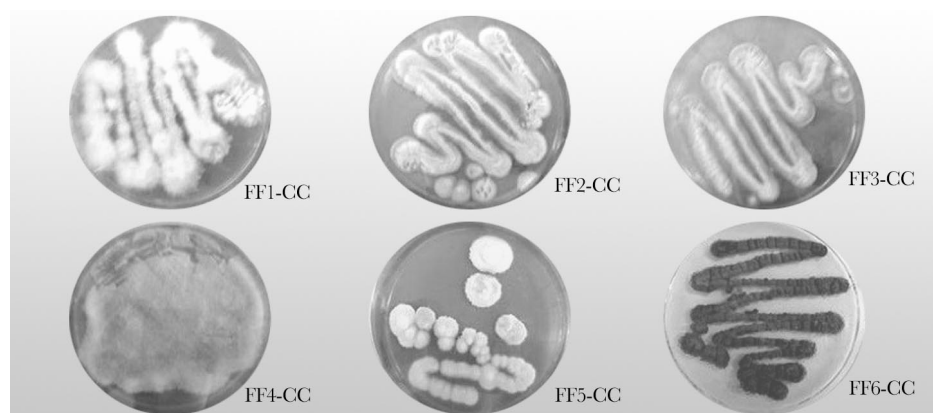
Hongos asociados a la cáscara de café y su potencial biotecnológico

La incidencia de los hongos en la cáscara de café puede variar en diferentes porcentajes según la etapa de madurez, con la etapa de las condiciones de proceso y almacenamiento. La porcentaje de incidencia de hongos en frutas de café varía entre 1 y 69% de contaminación siendo la mayoría encontrada en la cáscara de la fruta (Simoes, 2009). Las especies de hongos que se encuentran con mayor frecuencia en cafés brasileños pertenecen a los géneros *Cladosporium*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Colletotrichum*, *Rhizopus* y *Mucor* (Chalfoun y Carvalho, 1989; Meirelles, 1990; Alves, 1996; Freitas, 2000; Batista, 2000).

Hongos aislados de la cáscara de café se consideran productores potenciales de enzimas lignocelulíticas como celulasas, hemicelulasas y ligninasas, aisladas o en mezclas complejas. Estos microorganismos tienen mayor interés comercial debido a la capacidad de los niveles de secreción de proteínas superior a 100 g / l, y la posibilidad de sus enzimas actuar de manera muy eficaz en la hidrólisis de biomasa lignocelulósica (Scheufele, 2012).

En el trabajo realizado por nuestro grupo de investigación (Natividad, 2014) fueron identificados 6 géneros de hongos filamentosos aislados a partir de la cáscara de café, a través de un análisis preliminar de las características morfológicas, macroscópica y microscópica de los mismos: FF1-CC (*Fusarium sp*) FF2-CC (*Aspergillus sp*), FF3-CC (*Aspergillus sp*), FF4-CC (*Mucor sp*), FF5-CC (*Penicillium sp*) FF6-CC (*Cladosporium sp*) (Figura 1).

Figura 1. Identificación de los hongos filamentosos aislados de la cáscara de café (Natividad, 2014).



En el mismo trabajo, los autores observaron que 66,7% de los aislados mostraron la formación de halos de hidrólisis en medio sólido conteniendo ácido tánico, comprobando de esta manera la expresión extracelular de la enzima tanase. En el caso de la actividad celulítica, 50% de los hongos fueron capaces de producir un halo de hidrólisis en medio conteniendo carboximetilcelulosa (CMC). En la prueba de fenoloxidasas sólo el aislado *Cladosporium sp* presentó la formación de halos y, en consecuencia, la producción de la enzima (Natividad, 2014).

Una amplia variedad de hongos pertenecientes al género *Aspergillus* se consideran degradantes de la celulosa primaria, pues expresan actividades de endo y exoglucanasas en diferentes niveles de acuerdo con el método de fermentación y las diversas fuentes de carbono usadas (Flachner y Réczei, 2004; Scheufele, 2012).

En el trabajo de Santos (2012) se utilizaron residuos de la cadena de producción de biodiesel, tales como tortas de algodón y girasol para la producción de enzimas celulolíticas por hongos filamentosos. Entre las cepas estudiadas, *Aspergillus sp* AN1257 se destacó en la producción de enzimas celulolíticas y xilanolíticas, superando incluso la producción de celulasas por *Trichoderma reesei* adoptada como parámetro de comparación, siendo que la fuente de carbono que mejor condujo la producción de estas enzimas fue la torta de semillas de algodón. En el mismo trabajo se concluyó que el extracto crudo producido por este hongo es eficaz cuando se utiliza en los procesos de hidrólisis de biomasa lignocelulósica tales como tortas de algodón y girasol. Basso et al. (2010) obtuvieron buenos resultados de la producción de enzimas celulolíticas por la especie *Aspergillus fumigatus* y *Penicillium verruculosum*, aislado a partir del bagazo de la caña-de-azúcar y la descomposición de madera, aunque menos eficiente en comparación con la cepa *T. reesei* adoptado como estándar.

Una amplia variedad de especies pertenecientes al género *Penicillium* también son conocidas por poseer actividad de β -glucosidasas, como por ejemplo, *Penicillium pinophilum*, *Penicillium funiculosum* y *Penicillium iriensis* (Scheufele, 2012). Martins (2005) llevó a cabo un estudio sobre el complejo enzimático de obtenido a partir de *Penicillium echinulatum*. En este estudio, la cantidad de β -glicosidasas producidas por *P. echinulatum* era superior a la producida por *T. reesei*, mientras que la actividad xilanasas fue similar para ambas especies estudiadas. Este resultado demuestra la potencial aplicación de enzimas celulolíticas producidas por el género *Penicillium* la etapa de sacarificación de la celulosa.

Stroparo (2012) estableció los mejores residuos orgánicos capaces de inducir la producción de hidrolasas por cepas de hongos filamentosos previamente seleccionados como los mejores productores de enzimas. Entre los residuos orgánicos ensayados en este trabajo, se concluyó que la producción de xilanasas de *A. niger* mostró un potencial prometedor cuando fue usado o bagazo de malta como sustrato; a producción de endoglucanasa por *P. miczninscui* utilizando cascotes de piña como fuente de carbono también mostró una alta viabilidad; la producción de poligalacturonasa de *P. verruculosum* mostró la viabilidad de uso de la cáscara de naranja (Tabla 2).

Además, las especies pertenecientes a los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* también mostraron actividad enzimática para la degradación de la cafeína. La especie *Rhizopus delemar*, productora de las enzimas cafeína y teofilina demetilases

fue utilizada por Tagliari (2003) para la fermentación en estado sólido usando cáscara de café como sustrato. Según los mismos autores, se obtuvieron buenos resultados en el proceso de degradación de compuestos tóxicos contenidos en la cáscara de café, de modo que la cafeína y el tanino se redujeron en 86 y 58%, respectivamente; lo que abre nuevas posibilidades para el uso de este tipo de residuos.

Tabla 2. Producción de enzimas hidrolíticas por diferentes cepas de hongos filamentosos en diversos residuos agroindustriales (Stroparo et al., 2012)

Hongos	Actividad enzimática (U/mL)			
	Xilanasase	Endoglucanase	Amilase	Poligalacturonase
P. glabrum J3	0,54	-	4,87	0,21
P. glabrum J11	0,62	0,05	2,34	0,63
P. verruculosum	4,62	0,03	-	8,65
P. herquei	-	0,09	2,35	6,43
P. miczynskii	0,69	0,13	0,14	1,04
T. viride	6,65	0,04	0,21	3,23
A. niger J4	8,73	0,11	4,13	6,53
A. niger J26	5,77	0,06	6,1	4,54

Conclusión

A pesar de la gran cantidad de residuos generados durante el procesamiento de café, este subproducto no es aprovechado correctamente en la actualidad. La cáscara de café ofrece oportunidades con gran potencial para su uso como sustrato para bioprocesos. En la literatura, pocos estudios se relacionan con la cáscara de café como un subproducto renovable. Sin embargo, recientes trabajos demostrarán el potencial y viabilidad del uso de la cáscara para la producción de una variedad de productos tales como enzimas industriales, compuestos aromáticos e biomoléculas activas.

Bibliografía

- Alves, E. (1996). *População fúngica associada ao café (Coffea arabica L.) beneficiado e as fases pré e pós colheita-relação com a bebida e local de cultivo*. Universidade Federal de Lavras. Tesis de Maestría en Fitopatología.
- Archer, D. B; Wood, D. A. (1995). Cap 7 Fungal exoenzymes. In: Grow, N. A. R. and Gadd, G. M. (Eds). *The growing fungus* (pp. 137-162). London: Chapman & Hall.
- Badocha, T. E.; Costa, R. S. C.; Leonidas, F. C. (2003). *Casca de Café: um importante insumo para a agricultura orgânica*. Trabajo presentado en el Simposio de Pesquisa dos Cafés do Brasil de 2003
- Baggio, J. (2006). *Avaliação dos Resíduos (Casca e Pó Orgânico) de Café (Coffea arabica L.) como Provável Fonte de Substâncias Bioativas*. Universidade Federal de Santa Catarina. Tesis de Maestría en Ciencia de Alimentos.

- Barcelos, A. F.; Paiva, P. C. A.; Pérez, J. R. O.; Santos, V. B. e Cardoso, R.M. (2001). Fatores antinutricionais da casca e da polpa desidratada de café (*Coffea arabica* L.) armazenadas em diferentes períodos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(4), 1325-1331.
- Bhat, M. K. Cellulases and related enzymes in biotechnology. (2000) *Biotechnology Advances*, 18, 355–383.
- Basso, T. P.; Gallo, C. R. e Basso, L. C. (2010). Atividade Celulolítica de Fungos Aislados de Bagaço de Cana-de-açúcar e Madeira em Decomposição. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45 (11), 1282-1289.
- Batista, L.R. *Identificação, potencial toxigênica e produção de micotoxinas de fungos associados a grãos de café (Coffea arabica L.)*. (2000). Universidade Federal de Lavras. Tesis de Maestría en Ciencia de Alimentos
- Carvalho, V. D., Chalfoun, S. M., Chagas, S.J. R. (1989). *Relação entre classificação do café pela bebida e composição físico-químicas, química e microflora do grão 39 beneficiado*. Trabajo presentado en el Congreso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras en 1989.
- Colen, G. *Isolamento e seleção de fungos filamentosos produtores de lipases* (2006). Universidade Federal de Minas Gerais. Tesis de Maestría en Ciencia de Alimentos.
- Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2015). *Acompanhamento da Safra Brasileira de Café. Safra 2015 – Primeiro levantamento*. Brasília.
- Fan, L.; Pandey, A.; Soccol, C. R. (2001). Production of Flammulina velutipes on coffee husk and spent-ground. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 44, 205-212.
- Flachner, B. e Réczey, K. (2004). β -Glucosidase Production and Characterization of Some *Aspergillus* strains. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 18 (3), 303–307.
- Freitas, R. F. (2000). *Fungos associados a grãos de café (Coffea arabica L.) beneficiado de diversos municípios da região Sul de Minas Gerais*. Universidade Federal de Lavras. Tesis de Maestría en Ciencia de Alimentos.
- Girald, M. A. Purificação e caracterização bioquímica da invertase extracelular produzida pelo fungo filamentoso *Aspergillus terreus* (2011). Universidade Estadual de São Paulo. Tesis de Maestría en Biotecnología.
- Haichar, F. Z.; Achouak, W; Christen, R; Heulin, T; Marol. C.; Marais, M. F.; Mougel, C.; Ranjard, I.; Balesdent, J.; Berge, O. (2007). Identification of cellulolytic bacteria in soil by stable isotope probing. *Environmental Microbiology* 9 (3), 625-634.
- Krishna, C. (2005). Solid-state fermentation systems-na overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25(1-2), 1-30.
- Lavelle, P. (2000). Ecological challenges for soil science. *Soil Science*. 165 (1), 73-86.
- Lynd, R. L.; Van zyl, W. H.; McBride, J. E.; Laser, M. (2005). Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update. *Current Opinion in Biotechnology*, 16, 577–583.
- Martins, L. F. (2005). *Caracterização do Complexo Celulásico de Penicillium echinulatum*. Universidade Federal do Paraná. Tesis de Maestría en Química.

- Meirelles, A. M. A. (1990). *Ocorrência e controle da microflora associada aos frutos de café (Coffea arabica L.) provenientes de diferentes localidades do estado de Minas Gerais*. Escola Superior de Agricultura de Lavras. Tesis de Maestría en Agronomía.
- Murugan, S.; Arnold, D.; Pongiya, U. D.; Narayanan, P. M. (2011). Production of xylanase from *Arthrobacter* sp. MTCC 6915 using saw dust as substrate under solid state fermentation. *Enzyme Research*, 1-7.
- Natividade, F. P. (2014). *Isolamento de fungos com atividades enzimáticas de interesse biotecnológico a partir da casca de café*. Trabajo de Tesis de Engenharia en Bioprocessos. Universidade Federal de São João Del-Rei.
- Neidleman, S. L. (1991). Enzymes in the food industry: a backward glance. *Food Technology*, 45, 88-91.
- Oliveira, L. S.; Franca, A. S.; Alves, T. M.; Rocha, S. D. F. (2008). Evaluation of untreated coffee husks as potential biosorbents from treatment of dye contaminated waters. *Journal of Hazardous Materials*, 155, 507-512.
- Pandey, A.; Soccol, C.R.; Nigam, P.; Brand, D.; Mohan, R. e Roussos, S. (2000). Biotechnological Potential of Coffee Pulp and Coffee Husk for Bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, 6, 153-162.
- Polizeli, M. L. T. M.; Rizzatti, A. C. S.; Monti, R.; Terenzi, H. F.; Jorge, J. A.; Amorim, D. S. (2005). Xylanases from fungi: properties and industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 67(5). 577-591.
- Sant'Anna Jr., G. L. (2001). Produção de enzimas microbianas. In: Borzani, W.; Schimidel, W.; Lima, U. A.; Aquarone, E. (Eds). *Biotecnologia Industrial* (pp. 351-362.). São Paulo: Edgar Blücher.
- Sanchés, C. (2009). Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*, 27, 185-194.
- Santos, R. S. (2012). *Produção de enzimas celulolíticas e xilanolíticas por fungos filamentosos utilizando resíduos da cadeia do biodiesel como fonte de carbono*. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Tesis en Maestría en Química.
- Scheufele, F. B. (2012). *Bioconversão De Resíduos Agroindustriais Por Micro-Organismos Do Bioma Amazônico Produtores De Enzimas Lignocelulolíticas*. Universidade Estadual Del Oeste de Paraná. Tesis de Maestría en Ingeniería Química.
- Silva, J. P. (2012). *Caracterização da Casca do Café (Coffea arabica L.) in natura, e de seus Produtos Obtidos pelo Processo de Pirólise em Reator Mecanicamente Agitado*. Universidade Estadual de Campinas. Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica.
- Singh, S.; Madlala, A. M.; Prior, B. A. (2003). *Thermomyces lanuginosus*: properties of strains and their hemicellulases. *Fems Microbiology Reviews*, 27, 3-16.
- Soares, M.; Christen, P.; Pandey, A.; Soccol, C. R. (2000). Fruity flavor production by *Ceratocystis fimbriata* grown on coffee husk in solid state fermentation. *Process Biochemistry*, 35, 857-861.
- Soccol, C. R. (2002). *Resíduo de café um substrato promissor para a produção industrial de bioprodutos com alto valor agregado*. Trabajo presentado en el Simposio de Pesquisa dos cafés do Brasil de 2002.

- Souza, A. L.; Garcia, R.; Pereira, O. G.; Cecon, P. R.; Filho, S. C. V.; Paulino, M. F. (2001). Composição químico-bromatológica da casca de café tratada com amônia anidra e sulfeto de sódio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(3), 983-991.
- Souza, A. L.; Garcia, R.; Bernadino, S. F.; Campos, J. M. S.; Valadares Filho, S. C.; Cabral, L. S. e Gobby, K. F. (2006). Casca de Café em Dietas para Novilhas Leiteiras: Consumo, Digestibilidade e Desempenho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(3), 921-927.
- Stroparo, E. C.; Beitel, S. M.; Resende, J. T. V.; Knob, A. (2012). Seleção de fungos filamentosos e de resíduos agroindustriais para a produção de enzimas de interesse biotecnológico. *Ciencias Agrarias*, 33(6), 2267-2278.
- Tagliari, C.V. (2003). *Desenvolvimento de Bioprocesso para Produção de Cafêina e Teofilina Demetilases por Rhizopus Delemar em Fermentação no Estado Sólido utilizando Casca de Café como Substrato*. Universidade Estadual de Campinas. Tesis en Ingeniería Química.
- Tortora, G. J.; Funke, B. R. Case, C. L. (2012). *Microbiologia*. 10ª Ed. Porto Alegre: Artmed.

Cultivo *in vitro*, estudios fitoquímicos y actividad biológica de pitayas y pitahayas en el Laboratorio de Micropropagación de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL

***In vitro* culture, phytochemicals studies and biological activity of pitayas and pitahayas in the Micropropagation Laboratory of the Faculty of Biological Sciences of the UANL**

*Ma. Eufemia Morales Rubio⁴⁷
Ruth Amelia Garza Padrón
Ramón G. Rodríguez Garza
Jaime Fco. Treviño Neávez

Resumen

⁴⁷Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Ave. Universidad s/n. San Nicolás de los Garza N.L. CP 66455. Contacto: mmorales1132000@yahoo.com

El cultivo *in vitro* de tejidos vegetales, implica una serie de técnicas biotecnológicas desarrolladas para cultivar las plantas en condiciones asépticas y controladas. Sus fines pueden ser muy diversos desde la simple multiplicación, hasta sistemas complejos de biorreactores donde se producen metabolitos de importancia comercial. En este trabajo se emplearon diversas técnicas de desinfección, así como reguladores de crecimiento adicionados al medio Murashige y Skoog para lograr cultivar las siguientes especies: *Hylocereus undatus*, *Acanthocereus occidentalis*, *Stenocereus griseus*, *Stenocereus queretaroensis*, *Stenocereus gummosus*, *Stenocereus pruinosus*, *Stenocereus thurberi* y *Lophocereus schottii*; a cuyos frutos comúnmente se les denomina pitayas o pitahayas, que aparte de su belleza en su forma vegetativa y reproductiva, e importancia del cultivo, presentan otras propiedades relevantes que brindan alternativas para ser utilizadas por la Industria.

Abstract

The culture *in vitro* of plant tissue, involves a series of developed biotechnological techniques to grow plants under aseptic and controlled conditions. Its aims may be very different from the simple multiplication, to complex systems of bioreactors which produce metabolites of commercial importance. In this work were employed different techniques of disinfection, as well as plant growth regulators added to the medium of Murashige and Skoog for the culture of following species: *Hylocereus undatus*, *Acanthocereus occidentalis*, *Stenocereus griseus*, *Stenocereus queretaroensis*, *Stenocereus gummosus*, *Stenocereus frosted*, *Stenocereus thurberi*, and *Lophocereus schottii*; commonly called whose fruits: pitayas or pitahayas, which apart from its beauty in form vegetative and reproductive, and importance of the culture, present other relevant properties that provide alternatives to be used by the Industry.

Introducción

Los primeros trabajos sobre cultivo *in vitro* y fitoquímica de estas especies en el laboratorio se inician en 1996 con *Hylocereus undatus*, llamada comúnmente pitahaya; lo que ha permitido continuar con su investigación además de incorporar otras especies de los géneros *Stenocereus* y *Lophocereus*, los cuales producen frutos que se les conoce comúnmente como pitayas. Aunado a lo anterior, se han realizado estudios fitoquímicos y de actividad biológica de estas especies; pero, antes de hablar sobre los protocolos de cultivo *in vitro*, veremos una breve reseña de la técnica.

Cultivo de tejidos vegetales

El surgimiento de nuevas tecnologías ha impactado de gran manera a las ciencias relacionadas con la producción vegetal. Podemos definir a la Biotecnología como toda aquella aplicación tecnológica que utiliza procesos biológicos, organismos vivos o partes o productos de los mismos para la elaboración o modificación de productos o procesos para usos específicos. Muchas técnicas son consideradas en la actualidad como biotecnologías, en donde quedarían incluidas algunas ya establecidas por el hombre desde hace siglos, como la fermentación, la elaboración de quesos añejos y otras vanguardistas, como el cultivo de tejidos, la ingeniería genética, fusión de protoplastos, etc. El cultivo de tejidos implica tanto tejidos animales como vegetales y se lleva a cabo en condiciones asépticas y controladas.

La introducción del conocimiento del Cultivo de Tejidos Vegetales (CTV) a México fue alrededor de 1970 y trajo consigo muchas modificaciones en los sistemas de producción vegetal. Actualmente, ofrece una serie de sistemas modelo y es una herramienta invaluable para la propagación de plantas, producción de metabolitos, mejoramiento genético, conservación de germoplasma, saneamiento vegetal, entre otras aplicaciones. Lo anterior ha traído consigo el establecimiento de laboratorios de CTV con fines educativos, de investigación y de producción comercial, los cuales demandan en forma permanente y creciente, técnicos especializados con diferentes niveles de preparación, tanto de conocimientos como de habilidades prácticas.

El cultivo de tejidos vegetales es una biotecnología vegetal, que implica una serie de técnicas mediante las cuales en condiciones asépticas y controladas se desarrolla un explante sobre un medio nutritivo. El explante puede ser una sección de tejido, órgano, células aisladas, esporas, embriones, protoplastos, óvulos, granos de polen o semillas.

Aunque esta técnica es relativamente sencilla se requiere de una infraestructura básica, que en un principio puede ser cara, si bien con el tiempo genera rendimientos y beneficios, ya que permite obtener una gran cantidad de clones en plazos cortos, selección de líneas celulares resistentes a patógenos, plantas libres de virus, producción de metabolitos secundarios, estudios morfogénicos y bioquímicos, producción de plantas modificadas genéticamente, entre otras.

Uno de los principales problemas con los que se enfrenta el investigador al iniciar los protocolos de propagación es el establecimiento aséptico del cultivo. Para lo que los procedimientos de desinfección y el tipo de explante utilizados son

muy importantes, ya que las semillas son resistentes a las sustancias empleadas para desinfección, mientras que los tejidos jóvenes son muy sensibles.

Técnicas de cultivo de tejidos vegetales y sus aplicaciones

El cultivo de tejidos vegetales (CTV) es una serie de técnicas empleadas actualmente para hacer estudios de fisiología, bioquímica, morfogénesis y anatomía, entre otros, así como contribuciones prácticas en la multiplicación y mejoramiento de plantas útiles y en peligro de extinción. El CTV es una alternativa para el suministro continuo y homogéneo de compuestos naturales de interés, por sus altos rendimientos en comparación con los obtenidos en plantas completas, la principal ventaja estriba en que no hay problemas de plagas, enfermedades ni cambios climáticos que afecten el rendimiento del producto, ni se requiere de mano de obra para su mantenimiento, conservación y colecta.

La técnica de CTV se ha empleado ampliamente en estudios de síntesis y biotransformación de metabolitos secundarios, es una de las aplicaciones más importantes de la técnica, sobre todo en productos de interés como saborizantes naturales, alcaloides, pigmentos, fragancias, fármacos, etc.; para esto se utiliza cultivo de callo y de células en suspensión. En el primero, se utilizan pequeños segmentos de tejido inoculados en medios sólidos, en los cuales, dependiendo de los reguladores de crecimiento utilizados, es posible inducir con cierta facilidad la formación de callos, éstos al ser disgregados y colocados en medio líquido y agitación continua, conforman el cultivo en suspensión, los callos son atractivos por su rápido crecimiento, fácil manipulación y “simplicidad” debido a la uniformidad y número limitado de tipos celulares. La mayoría de los trabajos en la producción de drogas y saborizantes se realizan mediante suspensiones celulares. Otras técnicas son el cultivo de protoplastos, cultivo de óvulos y cultivo de órganos, cultivo de meristemos, cultivo de raíces, cultivo de embriones, entre otras.

Cultivo *in vitro* de pitayas y pitahayas, fitoquímica y actividad biológica

Reseña de las investigaciones realizadas sobre los resultados del cultivo *in vitro* de las siguientes especies: *Hylocereus undatus*, *Acanthocereus occidentalis*, *Stenocereus griseus*, *Stenocereus queretaroensis*, *Stenocereus gummosus*, *Stenocereus pruinosus*, *Stenocereus thurberi* y *Lophocereus schottii*.

***Hylocereus undatus*: Pitahaya**

Ruiz Urias, Morales Rubio, Cárdenas Cerda, Torres Cepeda, Mercado Hernández, and Treviño Neávez (1997) y Ruiz-Urias, Torres-Cepeda, Morales-Rubio, and Cárdenas-Cerda (2003) trabajaron con explantes basales, medios y apicales de plántulas de *H. undatus*, en medio MS (Murashige & Skoog, 1962) adicionado con Bencilaminopurina 2 mg/L y Citocinina 1 mg/L; obteniendo una abundante proliferación de brotes.

Se logró la inducción de callo de *H. undatus*, empleando brotes de plántulas germinadas en agar como explantes, en un medio MS (Murashige & Skoog, 1962) adicionado con diferentes reguladores de crecimiento, siendo los más efectivos, las combinaciones de BAP (6 mg/L) y ANA (2 mg/L) y 2,4-D (4 mg/L) con K (4mg/L), (Morales Rubio, 2000).

Morales Rubio, Treviño Neávez, Verde Star, Oranday Cárdenas, and Rivas Morales (2005) colocaron 300 semillas de *H. undatus* para su germinación en un almácigo a base de sustrato orgánica y perlita (50/50), obteniendo un 90% de germinación a los 40 días, estas plántulas se dividieron en dos lotes, fueron sometidas a dos regímenes de humedad uno con 10 mL de agua por semana y otro con riego diario (10 mL de agua) durante tres meses. Los resultados de la ANOVA determinaron que este último tratamiento desarrolló plantas con mayor vigor. Segmentos de estas plantas, se desinfectaron y se colocaron en medio MS (Murashige & Skoog, 1962) adicionado con reguladores de crecimiento para inducir la formación de brotes en las siguientes concentraciones: A: K= Cinetina (1 mg/L), AIA= Ácido Indolacético (0.3 mg/L) y Hemisulfato de adenina (80 mg/L), B: BAP= Bencilaminopurina (2 mg/L) y K (1 mg/L), C: K (5 mg/L), AIA (0.3 mg/L) y Hemisulfato de adenina (80 mg/L), resultando más efectivo el tratamiento B. Molina Bartolo, Morales Rubio, Treviño Neávez, Cavazos González, and Oranday Cárdenas (2009) estudiaron el efecto de diferentes concentraciones de sacarosa, 10, 20 y 30%, en medio MS (Murashige & Skoog, 1962) sobre la germinación de semillas de *H. undatus*. La respuesta morfogénica observada para el tratamiento a base de 10% de sacarosa fue el desarrollo de un brote primario con abundantes areólas, en el tratamiento con 20% se observó el desarrollo del brote primario, que originó abundantes brotes secundarios, con areólas y raíces engrosadas, mientras que en el tratamiento a base de 30% de sacarosa germinaron menos semillas, con poco desarrollo y con procesos oxidativos presentes.

Cuéllar Chávez, Morales Rubio, and Treviño Neávez (2006) germinaron semillas de pitahaya en medio MS (Murashige & Skoog, 1962) adicionado con Bencilaminopurina 2 mg/L y Cinetina 1 mg/L; para obtener explantes asépticos. Las semillas se obtuvieron de frutos maduros, luego se sometieron a un proceso de desinfección para sembrarse en el medio y mantenerse en condiciones de 12 h luz y temperatura constantes (22 a 24°C) logrando solo un 12.9 % de germinación Morales Rubio, Treviño Neávez, Oranday Cárdenas, and Garza Padrón (2001) obtuvieron extractos hexánicos y metanólicos de tallos de *H. undatus*, además de realizar pruebas de tamizaje fitoquímico y cromatográficas para la determinación preliminar de compuestos. Los resultados de los estudios nos indican la presencia de alcaloides, coumarinas, flavonoides, sesquiterpenlactonas, esteroides, carbonilos, saponinas y oxidrilos fenólicos.

***Acanthocereus occidentalis*: Bajinco o nopal estrella**

Garza Padrón, Morales Rubio, Oranday Cárdenas, and Treviño Neávez (2003) trabajaron con extractos de *A. occidentalis*, utilizaron tallos frescos, siendo éstos molidos a temperatura ambiente y colocados en matraces Erlenmeyer perfectamente sellados con solventes de polaridad creciente (hexano, acetona y metanol). A partir de los extractos se desarrollaron las pruebas de tamizaje fitoquímico para la identificación preliminar de los compuestos encontrando para el extracto hexánico: esteroides y triterpenos, para el acetónico oxidrilos fenólicos, esteroides, triterpenos, sesquiterpenlactonas y alcaloides; y en el metanólico, esteroides y triterpenos. Garza Padrón, Morales Rubio, and Treviño

Neávez (2005) desinfectaron semillas de *A. occidentalis* en soluciones de cloro y alcohol, para sembrarlas en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), un tratamiento adicionado con Bencilaminopurina 2 mg/L y Cinetina 1 mg/L, y otro adicionado con los mismos reguladores, pero en una concentración de 3 y 2 mg/L, respectivamente. Los cultivos se mantuvieron en condiciones de luz (12 horas) y temperatura (22-24° C) controladas, teniendo para ambos tratamientos un porcentaje de germinación del 90%, con desarrollo de plántulas y brotación múltiple.

***Stenocereus griseus*: Pitaya, pitayo de mayo**

Treviño Neávez, Oranday Cárdenas, Verde Star, Morales Rubio, and Rivas Morales (2001) logró el establecimiento del cultivo *in vitro* de *S. griseus* en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), adicionado con: 2,4-D (5 mg/L) y K (5 mg/L), realizaron un estudio fitoquímico de los tejidos *in vivo* e *in vitro* a partir de extractos metanólicos y hexánicos. Los resultados indican la presencia de alcaloides, cumarinas, sesquiterpenlactonas y oxidrilos fenólicos en ambas muestras, corroborando mediante un análisis de espectro infrarrojo que el alcaloide obtenido en plántula y callo a partir del extracto hexánico, es el mismo. Cuéllar Chávez et al. (2006) germinaron semillas de *S. griseus* en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), adicionado con Bencilaminopurina 2 mg/L y Cinetina 1mg/L, para obtener explantes asépticos. Las semillas se obtuvieron de frutos maduros, luego se sometieron a un proceso de desinfección para sembrarse en el medio y mantenerse en condiciones de 12 h luz y temperatura constantes (22 a 24°C) logrando un 15.2% de germinación.

***Stenocereus queretaroensis*: Pitayo**

Cuéllar Chávez et al. (2006) germinaron semillas de *S. queretaroensis* en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), adicionado con Bencilaminopurina 2 mg/L y Cinetina 1mg/L; para obtener explantes asépticos. Las semillas se obtuvieron de frutos maduros, luego se sometieron a un proceso de desinfección para sembrarse en el medio y mantenerse en condiciones de 12 h luz y temperatura constantes (22 a 24°C) logrando un 84% de germinación. Serna Segura, Morales Rubio, Treviño Neávez, and Oranday Cárdenas (2001) establecieron el cultivo aséptico de *S. queretaroensis* en medio MS (Murashige & Skoog, 1962); las plántulas desarrolladas se subcultivaron en el mismo medio pero adicionado con Bencilaminopurina (BAP) y Cinetina (K) en diferentes concentraciones, observándose un crecimiento en la longitud de los brotes. Los resultados del análisis estadístico nos indican que en el tratamiento con BAP 3mg/L y K 2mg/L, las plántulas desarrollaron un brote mayor, con una longitud media de 8.8 mm, la concentración de BAP 1 mg/L y K 0.0 mg/L presentó una longitud de brote promedio de 7.6 mm y con BAP 2 mg/L y K 1 mg/L mostró 7.2 mm de longitud promedio, en un tiempo de 2 meses. En cuanto al número de brotes, los mejores resultados se lograron en BAP 3 mg/L y K 2 mg/L, alcanzando 6 brotes por explante como promedio, en la concentración BAP 1 mg/L y K 0.0 mg/L un promedio de 5 brotes, y para la concentración BAP 2 mg/L y K 1 mg/L hubo un promedio de 3 brotes y ciertas plántulas presentaron diferenciación a callo.

***Stenocereus gummosus*: Pitaya agria**

Avilés, Morales, Treviño, and Oranday (2004) probaron catorce procedimientos de escarificación para inducir la germinación de *S. gummosus* logrando un mayor porcentaje de germinación (45%) al utilizar la inmersión en ácido sulfúrico concentrado por 30 seg, le siguió el tratamiento a base de giberelinas a 200 ppm con 30%. El resto de los métodos de escarificación lograron porcentajes de germinación menores al 25% o nulos. Morales Rubio, Verde Star, Oranday Cárdenas, Rivas Morales, Arévalo Niño, and Cruz Vega (2005) germinaron *in vitro* semillas de *S. gummosus*, las semillas se extrajeron de frutos frescos, siendo sometidas a escarificación con ácido clorhídrico concentrado por 30 segundos, posteriormente se procedió a su desinfección con cloro al 10% por 15 minutos, seguido de un lavado en agua estéril y fueron sembradas en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), adicionado con BAP (Bencilaminopurina) 2 mg/L y K (Cinetina) 1 mg/L, y colocadas bajo condiciones de luz y temperatura controlada. Para el estudio fitoquímico se realizó siguiendo lo recomendado por Domínguez (1973), se utilizaron tallos y frutos frescos, se molieron y se colocaron en diferentes solventes de polaridad creciente, para obtener los extractos. Los resultados del cultivo *in vitro* indican que el proceso de escarificación, desinfección y medio utilizado son adecuados para el desarrollo y crecimiento de las plántulas. Se observó una germinación del 70 % de las semillas colocadas iniciando ésta al séptimo día y concluyendo el día 12, indicando estos resultados que el proceso de escarificación empleado elimina la dormancia de las semillas sin dañarlas. En cuanto a la formación de callo a partir de las plántulas germinadas *in vitro*, se obtuvo abundante material. El estudio fitoquímico de los tallos revela la presencia de diversos compuestos como: esteroides, flavonas, alcaloides, carbohidratos, y sesquiterpenlactonas; mientras que en los frutos fueron detectados saponinas, alcaloides, flavonas y leucoantocianinas. Morales Rubio et al. (2005) estudiaron los compuestos presentes en extractos metanólicos de tallos de *S. gummosus* y determinaron la DL50 sobre *A. salina*, encontrando triterpenos, saponinas, alcaloides y flavonoides y en cuanto al bioensayo de letalidad de *A. salina*, el método Probit nos indica una DL50 de 117.6 µg/mL, lo que nos indica la presencia de principios activos.

***Stenocereus pruinosus*: Pitaya de mayo**

Morales Rubio, Espinosa Vallejo, Barrón González, Garza Padrón, Martínez Cruz, Rodríguez Garza, and Treviño Neáñez (2010) emplearon semillas de *S. pruinosus* como explantes, se sometieron a un proceso de desinfección y fueron sembradas en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), un tratamiento (1) adicionado con Bencilaminopurina 2 mg/L y Ácido Indolbutírico 1 mg/L y otro (2) sin reguladores. El cultivo se mantuvo bajo condiciones constantes de luz (12 h) y temperatura (22 a 24 °C). La desinfección fue altamente satisfactoria ya que el porcentaje de eficiencia de esterilidad fue del 100%. Se obtuvo un porcentaje de germinación de 100%, para ambos tratamientos. La respuesta morfogénica en el Tratamiento 1, dió como resultado la formación de múltiples brotes por plántula y una raíz única y engrosada, en cambio, en el Tratamiento 2 el crecimiento fue normal, obteniéndose un solo brote y múltiples raíces delgadas.

Treviño Neávez, Rodríguez Garza, Verde Star, Morales Rubio, Garza Padrón, Rivas Morales, and Oranday Cárdenas (2012) encontraron una actividad antifúngica relevante contra *Microsporum canis*, *M. gypseum*, *M. cookei* y *M. nanum* hongos dermatofitos, al evaluar los extractos metanólicos de tallos de *Stenocereus pruinosus* por el método de difusión de placa y presentar inhibición en dosis menores a 125mg/mL.

Pedraza Zamora, Treviño Neávez, Oranday Cárdenas, Garza Padrón, Rodríguez Garza, Verde Star, and Morales Rubio (2013) reportaron la respuesta morfogénica *S. pruinosus* de plántulas de dos meses de edad desarrolladas en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), las cuales mostraron la formación de múltiples brotes por plántula y una raíz única y engrosada, mientras que las desarrolladas en el mismo medio pero adicionado con Ácido Indolbutírico (AIB) en concentraciones de 0.0 a 1.0 mg/L y Bencilaminopurina (BAP) en un rango de concentraciones de 1.0 a 2.0 mg/L, desarrollaron un brote único y múltiples raíces delgadas.

***Stenocereus thurberi*: Pitamaya, Pitahaya dulce, Etcho, Echo**

García Davis, Rodríguez Reyna, Rodríguez Garza, Garza Padrón, Barrón González, Treviño Neávez, and Morales Rubio (2012), realizaron la propagación in vitro de *Stenocereus thurberi*, en medio MS (Murashige & Skoog, 1962) sin reguladores, siendo la variable la concentración de carbohidratos, para T1 fue de 20 g/L de sacarosa y para T2 fue de 30 g/L. a la sexta semana los porcentajes de germinación fueron de 92.9 y 78.6 para T1 y T2, respectivamente. A la sexta semana se realizó un subcultivo a medio MS (Murashige & Skoog, 1962), adicionado con 30g/L de sacarosa y 1 mg/L de BAP (Benciladeninopurina) observándose el desarrollo del brote con múltiples areólas.

***Lophocereus schottii*: Muso, Músaro, Sina, Sinita**

Morales Rubio, Verde Star, Oranday Cárdenas, Rivas Morales, Arévalo Niño, Treviño Neávez, Carranza Rosales, and Cruz Vega (2007) probaron la actividad biológica del extracto metanólico y acuoso de *L. schottii*. El metanólico presentó actividad inhibitoria sobre las siguientes bacterias: *Salmonella typhi*, *Enterobacter aerogenes*, *Listeria monocitogenes*, mientras que el extracto acuoso no presentó actividad bactericida. En cuanto al ensayo de Letalidad sobre *A. salina* los resultados obtenidos con el extracto metanólico nos indican que *L. schottii* presenta una DL_{50} de 70.3 $\mu\text{g/mL}$, mientras que el extracto acuoso presentó una DL_{50} de $>120 \mu\text{g/mL}$, resultados que nos indican la presencia de compuestos bioactivos. Con respecto a la actividad citotóxica contra las células HeLa, los resultados de las CI_{50} obtenidas nos indican para el extracto acuoso 73.3 $\mu\text{g/mL}$ y para el metanólico 9.2 $\mu\text{g/mL}$ de *L. schottii*, estos resultados comprueban, lo promisorio de esta planta. Pedraza Zamora (2010) estableció un protocolo para el cultivo in vitro de *L. schottii* a partir de semillas; empleó medio MS (Murashige & Skoog, 1962) con y sin reguladores de crecimiento, siendo el mejor tratamiento al que no se le adicionó reguladores, teniendo un 100% de germinación. Morales Rubio, Morales Vallarta, Treviño Neávez, Garza Padrón, Rodríguez Garza, Mar Aguilar, Reséndez Pérez, Verduzco Martínez, Cavazos González, Elizondo Herrera, and Barrón González (2010) determinaron la

actividad amebicida del extracto metanólico de callo de *Lophocereus schottii* y otras especies de cactáceas. Para realizar dicha evaluación se emplearon dosis de 0.01, 0.05, 0.1, 0.13, 0.15, 0.25, 0.30 y 0.7 mg/mL del extracto, se realizaron curvas dosis-respuesta para determinar la concentración inhibitoria media (CI_{50}), como control positivo se utilizó el metronidazol. Para cada dosis se dispuso de 12 tubos conteniendo 5 mL de medio PT, adicionado con 0.5 mL de suero bovino y 0.05 mL de antibiótico, cada tubo se inoculó con 1×10^4 cel/mL e incubadas a 37°C por 4 días. Cada concentración se probó en tres eventos independientes por triplicado. Se procedió a contar el número de trofozoítos/mL, se graficaron los resultados mostrando el ANOVA $P < 0.05$ y se determinó el CI_{50} mediante el análisis Probit. El extracto metanólico de *L. schottii* (callo) presentó la CI_{50} menor con 19.5 $\mu\text{g/mL}$ para inhibir el crecimiento de *E. histolytica* bajo condiciones axénicas in vitro. Morales Rubio, Treviño Neávez, and Viveros Valdez (2010) determinaron la actividad antioxidante del extracto metanólico de *Lophocereus schottii* con tres pruebas diferentes: DPPH, TEAC y FRAP. El extracto mostró actividades significativas en todos los ensayos, en el de DPPH la CE_{50} fue de 132.6 $\mu\text{g/mL}$ mientras que para la catequina el valor de la CE_{50} fue de 111.2 $\mu\text{g} / \text{mL}$. Pedraza Zamora et al. (2013) reportó la respuesta morfológica de *P. schottii* (*Lophocereus schottii*), de plántulas de dos meses de edad desarrolladas en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), las cuales mostraron una raíz larga y ramificada, un brote único, alargado con areolas pequeñas, redondeadas y con espinas conspicuas, mientras que las desarrolladas en el mismo medio pero adicionado con Ácido Indolbutírico (AIB) en concentraciones de 0.0 a 5.0 mg/L y Bencilaminopurina (BAP) en un rango de concentraciones de 1.0 a 6.0 mg/L mostraron una raíz muy corta y engrosada, el brote también es único, pero se ha engrosado con areolas prominentes, espinas pequeñas y abundantes tricomas lanosos, además se puede apreciar que el tejido comienza a diferenciarse como callo.

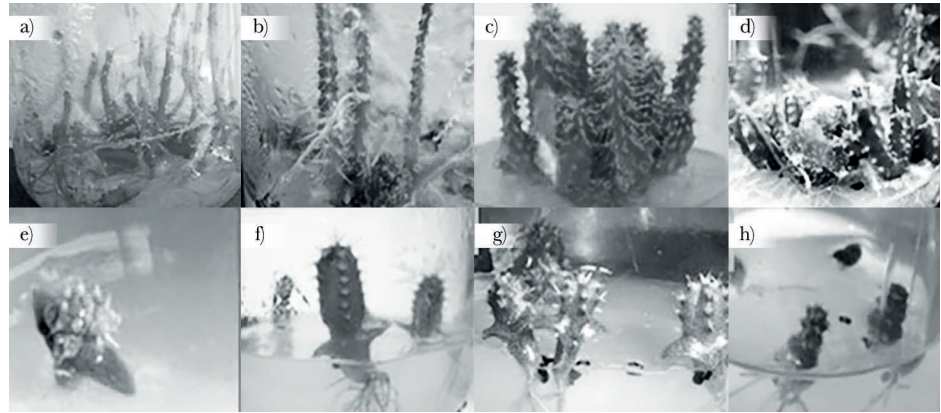
Conclusiones

Quizá la formulación del medio de cultivo de tejidos es más un arte que una disciplina por derecho propio, la experiencia es el mejor maestro en este tipo de trabajo y éste es el mejor consejo u orientación que se le puede dar a un principiante.

Los autores del presente capítulo, presentamos una recopilación de los resultados de las investigaciones realizadas de las especies: *Hylocereus undatus*, *Acanthocereus occidentalis*, *Stenocereus griseus*, *Stenocereus queretaroensis*, *Stenocereus gummosus*, *Stenocereus pruinosus*, *Stenocereus thurberi* y *Lophocereus schottii*, a cuyos frutos comúnmente se les denomina pitayas o pitahayas, que aparte de su belleza en su forma vegetativa y reproductiva, e importancia del cultivo, presentan otras propiedades relevantes que brindan alternativas para ser utilizadas por la población como muestra la Figura 1.

Cabe destacar que el presente trabajo, representa años de investigación, y no es solo trabajo de los investigadores, sino también de todos los alumnos que al desarrollar Tesis, Veranos de Investigación, Servicio social y Becarías, contribuyeron al mismo.

Figura 1. Fotografías de Pitayas y Pitahayas cultivadas *in vitro* en el Laboratorio de Micropropagación, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. (Elaboración propia)



a) *Hylocereus undatus*, b) *Acanthocereus occidentalis*, c) *Stenocereus gummosus*, d) *Stenocereus griseus*, e) *Stenocereus queretaroensis*, f) *Stenocereus pruinosus*, g) *Lophocereus schottii* y h) *Stenocereus thurberi*

Bibliografía

- Avilés A. H., Morales R.M.E., Treviño N. J.F., Oranday, C. A. (2004). Estudios germinativos de *Stenocereus gummosus* mediante escarificación y estudio fitoquímico del fruto. En *El nopal, tópicos de actualidad* (151-154). México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Cuéllar Chávez L., Morales Rubio M.E., Treviño Neávez J.F. (2006). La germinación *in vitro* una alternativa para obtener explantes en cactáceas. *Revista Zonas Áridas*, 10, 129-133.
- Domínguez, X.A. (1973). *Métodos de Investigación Fitoquímica*. México, D.F.: Limusa.
- García Davis S., Rodríguez Reyna D.G., Rodríguez Garza R.G., Garza Padrón R.A., Barrón González M.P., Treviño Neávez J.F., Morales Rubio M.E. (2012). Germinación *in vitro* de *Stenocereus thurberi*. En *Memorias in extenso del VIII Simposium Internacional sobre la Flora Silvestre de Zonas Áridas*. (693-699). Edo de México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Garza Padrón R.A., Morales Rubio E., Oranday Cárdenas A., Treviño Neávez J.F. (2003). Componentes químicos de *Acanthocereus occidentalis* Britton and Rose. En *Memorias in extenso del VII Simposio de Botánica* (23-28). La Habana, Cuba: Jardín Botánico Nacional.
- Garza Padrón R. A., Morales Rubio M.E., Treviño Neávez J.F. (2005). Propagación *in vitro* de *Acanthocereus occidentalis* Britton and Rose. *Boletín Informativo de la SLCCS*, 2, 5-6.
- Molina Bartolo A.L., Morales Rubio M. E., Treviño Neávez J. F., Cavazos González R., Oranday Cárdenas A. (2009). Influencia de la concentración de sacarosa sobre la germinación *in vitro* de *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton and Rose. En *Memorias in extenso del 2° Congreso Internacional de Biotecnología Y Genómica "SEBioGen"* (-). N.L.: UANL.

- Morales Rubio M.E. (2000). Inducción de germinación, crecimiento de plántula y cultivo *in vitro* de pitahaya *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton and Rose. Fac. de C. Biológicas: UANL.
- Morales Rubio E., Treviño Neávez J., Oranday Cárdenas A., Garza Padrón R. (2001). Metabolitos secundarios presentes en *Hylocereus undatus*, una cactácea semitropical. Revista medicina Universitaria, 45.
- Morales Rubio, M.E., Verde Star J., Oranday Cárdenas A., Rivas Morales C., Arévalo Niño K., Cruz Vega D., Treviño Neávez J.F. (2005). Producción de callo de Pitaya agria y determinación de metabolitos secundarios en tallos y frutos. Boletín Informativo de la SLCCS, 2, 5-6.
- Morales Rubio, M. E., J.F. Treviño Neávez, J. Verde Star, A. Oranday Cárdenas, C. Rivas Morales. (2005). Cultivo *in vivo* e *in vitro* de *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton y Rose.. Boletín Informativo de la SLCCS., 2, 6-7.
- Morales Rubio M.E., Verde Star J., Oranday Cárdenas A., Rivas Morales C., Arévalo Niño K., Treviño Neávez J.F., Carranza Rosales P., Cruz Vega D.E. (2007). Actividad biológica de *Lophocereus schottii* (Engelm) Britton and Rose. RESPYN, Ed. Especial, 7.
- Morales Rubio M.E., Espinosa Vallejo Y., Barrón González M.P., Garza Padrón R.A., Martínez Cruz N.S., Rodríguez Garza R.G., Treviño Neávez J.F. (2010). Estudio sobre la germinación y desarrollo *in vitro* de *Stenocereus pruinosus* (Weber) Buxbaum. En Memorias in extenso del VII Simposium Internacional sobre la Flora Silvestre de Zonas Áridas. (144-153). Hermosillo, Sonora: Universidad de Sonora.
- Morales-Rubio M.E., Morales-Vallarta M.R., Treviño-Neávez J.F., Garza-Padrón R.A., Rodríguez-Garza R.G., Mar-Aguilar F., Reséndez-Pérez D., Verduzco-Martínez J.A., Cavazos-González R., Elizondo-Herrera A., Barrón González M.P. (2010). Actividad amebicida de extractos de tejidos *in vivo* e *in vitro* de cuatro especies de cactáceas sobre *Entamoeba histolytica*. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Biomédica (Toctli RICTB), 1, 2.
- Morales-Rubio M.E., Treviño-Neávez J.F., Viveros-Valdéz E. (2010). Free Radical Scavenging activities of *Lophocereus schottii* (Engelmann). International Journal of Natural and Engineering Sciences., 4, 65-68.
- Murashige T. y F.Skoog. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiology Plant., 15, 473-497.
- Pedraza Zamora M. (2010). Germinación *in vitro* y respuesta morfogénica de *Lophocereus schottii* (Engelmann) Britton and Rose. N.L.: Facultad de Ciencias Biológicas UANL.
- Pedraza Zamora Mariana, Treviño Neávez Jaime Fco., Oranday Cárdenas Azucena, Garza Padrón Ruth A., Rodríguez Garza Ramón G., Verde Star Ma. Julia, Morales Rubio Ma. Eufemia. (2013). Respuesta morfogénica en la germinación de 2 cactáceas del norte de México, bajo la acción de reguladores de crecimiento. Rev. Latinoamericana de química. 41, 50-51.
- Ruiz Urias, C., Morales Rubio, M.E., Cárdenas Cerda, E., Torres Cepeda, T.E., Mercado Hernández, R., Treviño Neávez, J.F. (1997). Micropropagación de *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton and Rose. En Memorias del 7 Congreso Nacional y 5 Internacional del Conocimiento y aprovechamiento del Nopal. N.L.: Fac. de Agronomía, UANL.

- Ruiz-Urias C., Torres-Cepeda T., Morales-Rubio M.E., Cárdenas-Cerda E. (2003). Propagación *in vitro* de *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose, Pitahaya (Cactaceae). *Phyton*, 251-255.
- Serna Segura V., Morales Rubio E., Treviño Neavéz J., Oranday Cárdenas A. (2001). Respuesta de *Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum al cultivo *in vitro*. En Memorias del III Taller Regional de Cactáceas del Noreste de México. (87-89). N.L.: UANL.
- Treviño Neavéz J. F., Oranday Cárdenas A., Verde Star J., Morales Rubio M.E., Rivas Morales C. (2001). Alkaloid *in vivo* and *in vitro* of tissue of pitaya of may *Stenocereus griseus* (Haworth), Buxbaum. En 42nd Annual Meeting of the American Society of Pharmacognosy. Oaxaca: American Society of Pharmacognosy.
- Treviño Neavéz J. F., Rodríguez Garza R.G., Ma. Julia Verde Star, Morales Rubio M.E., Garza Padrón R.A., Rivas Morales C., Oranday Cárdenas A. (2012). Actividad antifúngica de *Stenocereus pruinosus* y *Echinocereus stramineus*. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 43, 42-48.

Bionanotecnología para la producción de alimentos: retos y perspectivas

Bionanotechnology for the food production: challenges and perspectives

*Fabián Fernández-Luqueño⁴⁸

Fernando López-Valdez⁴⁹

Angelina González-Rosas⁵⁰

Juan Marcelo Miranda-Gómez

Resumen

⁴⁸*Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav, Unidad Saltillo). Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25900, Coahuila, México. Tel: +52 844 4389625. *Contacto: cinves.cp.cha.luqueno@gmail.com*

⁴⁹*Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada - Instituto Politécnico Nacional (CI-BA-IPN). Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, México.*

⁵⁰*Universidad Tecnológica de Tulancingo, Área Electromecánica Industrial. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.*

La Bionanotecnología es un área del conocimiento relativamente nueva, se le atribuye un amplio potencial en diversos sectores como la producción de energía, agroindustrial, el tratamiento de aguas contaminadas, la farmacéutica, etc. La Bionanotecnología en el sector agroindustrial es de suma relevancia al contribuir sustancialmente en la producción agropecuaria, el procesamiento de alimentos, su empaque, su preservación y la detección y control de patógenos. No obstante, poco se sabe sobre los impactos y consecuencias futuras de la Bionanotecnología sobre la economía, el ambiente y la sociedad. La Bionanotecnología puede ofrecer oportunidades para el desarrollo de productos y aplicaciones en el sector agroindustrial: en el cultivo, producción, procesamiento, preservación y empaque de alimentos, con un bajo impacto en el ambiente; bajo la perspectiva de que un nanoalimento es un alimento donde se emplearon técnicas o procesos nanotecnológicos. El objetivo de este capítulo es analizar y discutir la información más reciente relacionada con los nanoalimentos y presentar brevemente algunos hallazgos de nuestro grupo de investigación en Bionanotecnología, particularmente, el efecto de nanopartículas sobre algunos cultivos de interés como modelos de estudio.

Abstract

The Bionanotechnology is a relatively new area of knowledge, is credited with vast potential in various sectors as energy production, agribusiness, wastewater treatment, pharmaceuticals, etc. The Bionanotechnology in the agribusiness sector is of utmost importance to contribute substantially to agricultural production, food processing, its packaging, preservation and the detection and control of pathogens. However, slight is known about the impacts and future consequences of Bionanotechnology on the economy, environment and society. Bionanotechnology can provide opportunities for the development of products on the agribusiness sector on the cultivation, production, processing, preservation and packaging of foods, with a low impact on the environment; the perspective that a nanofood is a food where Nanotechnology techniques or processes were used. The aim of this chapter is to analyze and discuss the latest information

regarding nanofood and briefly present some findings of our research group in Bionanotechnology, particularly, the effect of nanoparticles on some crops of interest as models for study.

Introducción

La Nanociencia es un área emergente de la ciencia que se ocupa del estudio de los materiales a diminutas dimensiones, esta ciencia a menudo se enfoca en la síntesis de nanopartículas (NPs) o nanomateriales. La Nanotecnología tiene la finalidad de controlar y reestructurar la materia a nivel atómico y molecular en intervalos de 1 a 100 nanómetros (nm), así como aprovechar las distintas propiedades y fenómenos que ocurren a estas escalas, en comparación con aquellos a escalas gruesas. El propósito de la Nanotecnología es el desarrollo de materiales, dispositivos o sistemas con propiedades funcionales. La Bionanotecnología estudia las interacciones entre la Biología y la Nanotecnología, que recientemente se ha colocado como una de las principales subdisciplinas de la Nanotecnología (Fernández-Luqueño et al., 2014).

Unidad de medida	Símbolo	Escala (m)	Organismos u objetos
Yoctómetro	ym	10^{-24}	Radio de la sección efectiva de los neutrinos (20 ym), etc.
Zeptómetro	zm	10^{-21}	El diámetro de un núcleo atómico mide 1 zm, top cuark (constituyente fundamental de la materia; 1 zm), etc.
Atómetro	am	10^{-18}	El diámetro de un electrón (1 am), etc.
Femtómetro	fm	10^{-15}	Los neutrones y protones (2.5 fm de diámetro), etc.
Picómetro	pm	10^{-12}	La longitud de onda más corta de los rayos X (5 pm), etc.
Ångström	Å	10^{-10}	Los átomos (1 Å), anillo de átomos de Fe ($\phi = 177.4$ Å o 17.7 nm), etc.
Nanómetro	nm	10^{-9}	Ribosoma (20 nm), esfera de plata (7 nm), NPs de oro (tratamiento de cáncer de mama, 100 a 200 nm), nanotransportadores (150 nm), gotas de nanoemulsiones (20 a 200 nm), nanocápsulas (fármaco y vehículo rodeado por una pared polimérica, 100 a 500 nm), ancho de la doble hélice de ADN (2 nm), ancho de un cromosoma (1 400 nm), etc.
Micrómetro	μm	10^{-6}	Las bacterias (1 a 10 μm), células vegetales y animales (10 a 100 μm), etc.
Milímetro	mm	10^{-3}	Hormigas, arañas, pulga, punta de un lápiz, etc.
Centímetro	cm	10^{-2}	Insectos, pelota de tenis, uvas, etc.
Decímetro	dm	10^{-1}	Roedores, balón de fútbol, etc.
Metro	m	1	Casa, salón, árbol, etc.

Tabla 1. Unidades de medida, sus símbolos y organismos u objetos mesurables a tales dimensiones (Elaboración propia).

La Nanociencia y la Nanotecnología hoy en día están en prácticamente todo lo que hacemos o usamos (Figura 1).

Hay que recordar que el prefijo “nano” significa una milmillonésima. Un nanómetro es una milésima parte de un micrómetro (μm), una millonésima parte de un milímetro (mm) y una mil millonésima parte de un metro (m; Tabla 1). En este capítulo se discutirán algunos aspectos de los nanoalimentos, considerando a un nanoalimento como un alimento en el cual se emplearon herramientas o procesos nanotecnológicos durante el cultivo, producción, manejo o empaque.

En 2015, la inversión en Nanotecnología alcanzará un billón de dólares, *i.e.*, 1×10^{12} dólares, pero se estima que para el año 2020, el mercado de la Nanotecnología alcanzará los tres billones de dólares, *i.e.*, 3×10^{12} dólares, generando más de 6 millones de empleos (Duran & Marcato, 2013; Clunan & Rodine-Hardy, 2014). A la fecha, cerca de 1 000 productos con alguna base nanotecnológica están en el mercado y se estima que al menos 10% de ellos son alimentos, bebidas o empaques para alimentos (FAO/WHO, 2010; Hu et al., 2010). La Nanotecnología podría apoyar a la agricultura y al sector agroindustrial a enfrentar cuatro grandes retos: *i*) incrementar la eficacia y productividad del sector agrícola, *ii*) frenar la constante reducción de la superficie agrícola y escasas de agua, *iii*) incrementar la eficiencia de la fertilización química y *iv*) reducir los problemas de contaminación. Los nanofertilizantes parecen ser una promesa que está en puerta. Sin embargo, debido a que los nanofertilizantes tienen una superficie o área específica mayor, éstos podrían incrementar su eficacia y aprovechamiento y acelerar su disolución, exacerbando así los problemas de eficiencia de los fertilizantes y su lixiviación. Adicionalmente, los nanofertilizantes podrían ser una ruta de entrada de NPs al ambiente, lo que podría poner en riesgo al ambiente y a la salud humana, es decir, las plantas podrían ser una ruta potencial de absorción y bioacumulación de NPs en la cadena trófica, por lo que es imperativo estudiar el riesgo potencial que conlleva el uso y liberación de nanofertilizantes (Fernández-Luqueño et al., 2014; Kumari & Yadav, 2014; Sekhon, 2014; Dasgupta et al., 2015). Adicionalmente, el control de plagas y enfermedades se puede realizar a través del uso de pesticidas con altas concentraciones, sin embargo, estos compuestos químicos representan un riesgo potencial para la salud y el ambiente. Por consiguiente, la encapsulación de pesticidas u otros agroquímicos podría reducir los riesgos para el ser humano y para el ambiente (Pérez-de-Luque & Rubiales, 2009).

La Bionanotecnología ofrece oportunidades considerables para el desarrollo de productos innovadores y aplicaciones para el cultivo, producción, procesamiento, preservación y empaque de alimentos y para el ambiente, es decir, el desarrollo de la Bionanotecnología podría traer beneficios potenciales a productores agrícolas, la agroindustria, los consumidores y la sociedad en su conjunto (FAO/WHO, 2010). No obstante, debido al poco conocimiento que se tiene al respecto, es necesario hacer investigaciones adicionales. Los materiales que son producidos intencionalmente con características estructurales a nanoescala (entre 1 y 100 nm) podrían tener diferentes propiedades cuando se comparan con su contraparte convencional. Los productos de la Bionanotecnología podrían ser empleados en una amplia gama de aplicaciones como empaques, para reducir el ataque microbiano y deterioro de alimentos, como aditivos para alimentos para modificar su textura, sabor, nutrientes, biodisponibilidad, etc. Adicionalmente, la Bionanotecnología podría también ofrecer nuevas rutas celulares o

fisiológicas para el transporte y liberación de pesticidas o fertilizantes dentro de las plantas. El impacto de la Bionanotecnología sobre la salud dependerá de cómo los consumidores están expuestos a tales materiales y si estos materiales se comportan diferente a sus contrapartes convencionales de mayores dimensiones (FAO/WHO, 2010; Duncan, 2011). También se ha demostrado que las NPs podrían interactuar con otras sustancias presentes en los alimentos (proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos), como resultado de las propiedades fisicoquímicas particulares de las NPs que se emplean en la producción de alimentos (Hosseini et al., 2015).

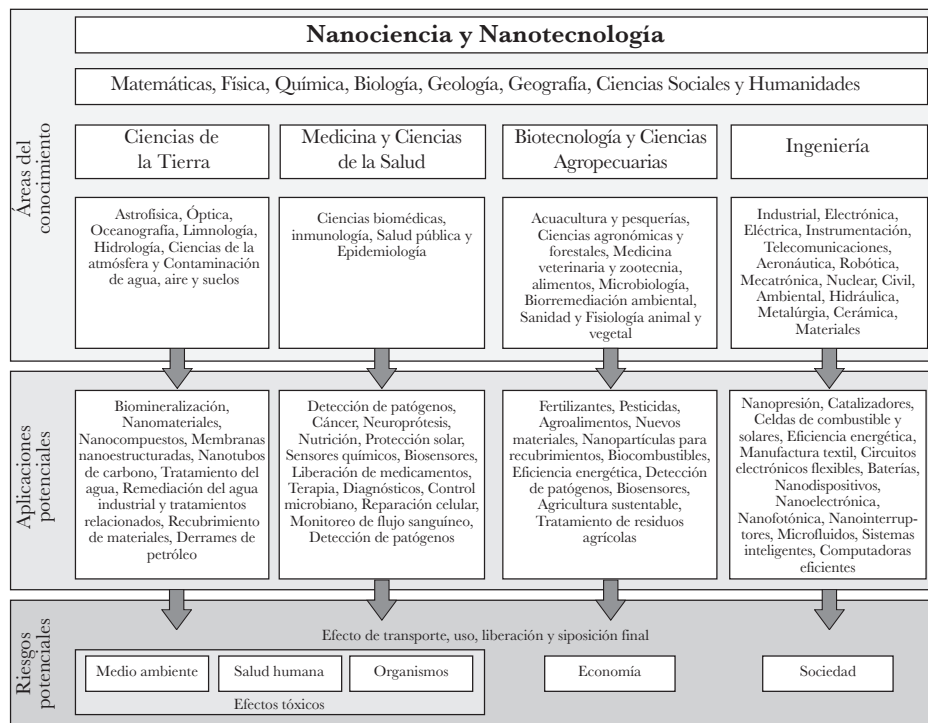


Figura 1. Principales áreas del conocimiento relacionadas con la Nanociencia y Nanotecnología, sus aplicaciones potenciales en el sector de alimentos y en las actividades agropecuarias y forestales, así como los riesgos potenciales (Algunas aplicaciones potenciales aún están en investigación y desarrollo; Elaboración propia).

Los sistemas de liberación controlada de medicamentos desarrollados por la industria farmacéutica han favorecido el desarrollo de sistemas para la industria alimentaria. Por ejemplo, se han nanoencapsulado compuestos bioactivos (componentes de los alimentos que influyen en la actividad celular y en los mecanismos fisiológicos, con efectos benéficos para la salud) para el desarrollo de alimentos funcionales (aquellos que además de haber sido elaborados por sus características nutricionales, también cumplen una función específica para mejorar la salud y reducir el riesgo de contraer enfermedades; Santiago, 2014; Martínez-Roldan & Carbajal-Azcona, 2015). Al reducir el tamaño de las partículas, la Nanotecnología contribuye a mejorar las propiedades de los compuestos alimenticios, tales como biodisponibilidad, solubilidad y absorción celular eficiente. Por ejemplo, compuestos altamente lipofílicos como carotenoides, omega-3 y fitoesteroles son muy importantes en la dieta, pero su absorción es escasamente baja en el organismo. Por consiguiente, los sistemas de encapsulamiento para este tipo de compuestos como los portadores nanoestructurados lipídicos son muy eficientes para mejorar la absorción y biodisponibilidad de estos nutrientes en el organismo (Santiago, 2014).

Las NPs a base de óxidos metálicos se han aplicado en alimentos, materiales, químicos y estudios biológicos, gracias a que la forma termodinámicamente estable de muchos metales son precisamente sus óxidos. En muchos casos los óxidos metálicos de SiO₂, TiO₂ o ZnO han sido aprobados por la FDA (por sus siglas en inglés: Administración para los Alimentos y Medicamentos, de Estados Unidos) desde hace varias décadas. Por consiguiente se ha pretendido suponer que las NPs de esos mismos compuestos tampoco causan daños a los seres vivos o al ambiente (Fond & Meyer, 2006). Sin embargo, en años recientes se han documentado efectos nocivos de nanoalimentos sobre la salud (Cupaiolo et al., 2014; Periasamy et al., 2015; Smolkova et al., 2015). El objetivo de este capítulo es analizar y discutir la información más reciente relacionada con los nanoalimentos y presentar brevemente algunos hallazgos de nuestro grupo de investigación sobre la Bionanotecnología, en particular, sobre el efecto de NPs en algunos cultivos como modelos de estudio.

Encapsulación bioactiva

La encapsulación de nutrientes, texturas o sabores para la industria alimenticia ha sido empleada exitosamente por varios años (Pérez-de-Luque & Rubiales, 2009; Duran & Marcato, 2013). Péptidos antimicrobianos encapsulados en liposoma mostraron ventajas significativas en comparación con bactericida libre e incrementó la vida de anaquel de los alimentos, convirtiéndose en un importante transportador en la industria alimenticia (Malheiros et al., 2010). Otro transportador de suma importancia es la prolamina, un componente de la proteína de maíz, el cual ha sido empleado para transportar sabores y sustancias nutraceuticas (Torres-Giner et al., 2008; Wang & Chen, 2014). Los ácidos poli(D,L-láctico-co-glicólicos) (PLGA, por sus siglas en inglés) son polímeros biodegradables empleados para transportar compuestos antimicrobianos y se ha demostrado que las NPs de PLGA podrían ser útiles para transportar compuestos antimicrobianos de última generación, haciéndolos más estables y biodisponibles (Lannitelli et al., 2011; Pereira et al., 2015). Las NPs de quitosano, también llamado chitosán, han sido empleadas para liberar de forma controlada algunos fertilizantes como N, P y K (Corradini et al., 2010; Shafiee-Masouleh et al., 2014). Nanoestructuras de ácido oleico también han sido empleadas para encapsular y liberar de forma controlada algunos nutrientes (Abraham & Narine, 2009). El encapsulamiento de óxido nítrico para fines agrícolas y farmacéuticos también ha sido ampliamente estudiando (Friedman & Friedman, 2009; Kutner & Friedman, 2013).

Películas para la conservación y empaque de alimentos

Un problema recurrente en los alimentos es su estabilidad fisicoquímica y la contaminación microbiana durante su procesamiento, almacenamiento y comercialización. Las proteínas, carbohidratos, lípidos y agua en los alimentos cambian a través del tiempo debido a condiciones ambientales (luz, humedad, temperatura, etc.). La incorporación de nanomateriales en polímeros muestra un alto potencial para desarrollar sistemas de empaque activo para alimentos (Kuorwel et al., 2015). El uso de películas comestibles y empaques a base de nanomateriales puede retardar la descomposición de los alimentos,

incrementar su vida de anaquel y mejorar su calidad (Durán & Marcato, 2013). Los carragenanos (mezcla de varios polisacáridos), quitosano, gelatinas, ácidos polilácticos, ácidos poliglicólicos, alginatos, almidones y el caseinato de sodio son algunos de los materiales empleados en la producción de bioplásticos con aplicaciones en películas comestibles para el empaque de alimentos. Falguera et al. (2011) publicaron una revisión sobre películas comestibles y cubiertas para alimentos, donde se señala la importancia de estos materiales para la conservación, distribución y comercialización de los productos agropecuarios. Los empaques no comestibles a base de nanomateriales han sido estudiados ampliamente *i)* para mejorar los materiales plásticos a través de la incorporación de biomoléculas activas, *ii)* en la detección de las características de los alimentos y *iii)* en la modificación de sus propiedades mecánicas, térmicas, químicas y microbianas (Durán & Marcato, 2013). La Bionanotecnología facilita la producción de materiales biodegradables con características particulares, para mejorar el color, sabor, textura y olor de los alimentos, así como para regular la liberación de agentes bioactivos y la vida de anaquel (Sozer & Kokini, 2009; Sánchez-García et al., 2010).

Nanosensores

El desarrollo de nanosensores es un área importante en la agroindustria y en el sector agropecuario, porque estos sistemas podrían ser capaces de detectar y cuantificar concentraciones muy pequeñas de patógenos o contaminantes. Además, estos sistemas presentan alta sensibilidad, respuesta rápida y potencial de uso a escala masiva (Otlés & Yalcin, 2010). Nanofibras de polianilina depositadas en microelectrodos han sido empleadas para determinar la calidad del jugo de naranja a través de variaciones en la concentración de ácido cítrico (Medeiros et al., 2009). Recientemente, se han desarrollado nuevos nanosensores para determinar ácido ascórbico (Karimi-Maleh et al., 2014), vitamina B9 (Jamali et al., 2014) y tobramicina (Yola et al., 2014) en muestras de alimentos.

Impacto de la Nanotecnología sobre la actividad agrícola

Durante la última década se han desarrollado, patentado e incorporado nanomateriales de compuestos metálicos, de óxidos metálicos y de carbono (nanopesticidas, nanofertilizantes y nanosensores) en las actividades agrícolas (He et al., 2011; Servin et al., 2015; Tabla 2). La meta es mejorar la productividad agrícola y fortalecer la sustentabilidad de las prácticas agrícolas, no obstante, es necesario considerar que en los últimos años ha surgido la preocupación sobre cuál será el impacto de estos nanomateriales en el ambiente y en la salud. Se realizó una búsqueda (hasta julio de 2015) en bases de datos de publicaciones en revistas y patentes (Web of Science® y Scopus®) y se encontró una serie de nanofertilizantes, nanosensores o nanopesticidas que estarán disponibles en el mercado, en un futuro cercano aun sin contar con los estudios de impacto ambiental para justificar su uso o aplicación.

Los fertilizantes y pesticidas tradicionales han mostrado poca eficiencia para atender los problemas agrícolas alrededor del mundo. Por ejemplo, se sabe que la eficiencia de fertilización en un campo agrícola está por debajo del 50% (Méndez-Bautista et al., 2010; Fernández-Luqueño et al., 2014),

mientras que para el control de muchas enfermedades y plagas se requiere de diversas aplicaciones durante un ciclo agrícola (Méndez-Bautista et al., 2009). Investigadores y tecnólogos han propuesto encontrar soluciones sustentables a través de aplicaciones nanotecnológicas y/o bionanotecnológicas (Fernández-Luqueño et al., 2014). Una revisión bastante completa sobre nanofertilizantes se puede encontrar en Liu & Lal (2015).

Tabla 2. Nanomateriales, nanofertilizantes, nanopesticidas y nanosensores con potencial para transformar la agricultura y los sectores productivos relacionados (Elaboración propia).

Nanotecnología	Tipo de tecnología (fórmula o nombre)	Ventajas	Desventajas
Nanofertilizantes	NPs de Fe y Mg	Liberación controlada (Servin et al., 2015). Incrementa la eficiencia fotosintética (Delfani et al., 2014)	No se han evaluado los efectos ambientales o sobre la salud. (Fernández-Luqueño et al., 2014)
Nanopesticidas	NPs de Ag, ZnO, Mg, Si y TiO ₂	Las NPs inhiben fuertemente la actividad de microorganismos patógenos (He et al., 2011; Servin et al., 2015).	Escasa información (Servin et al., 2015)
Nanoencapsulación	Nanoencapsulación de insecticidas biológicos	Reduce el impacto ambiental y a la salud, comparado con insecticidas químicos (de Oliveira et al., 2014)	Escasa información del nanomaterial que encapsula y su impacto (Boehm et al., 2003)
Nanopelículas y empaques	Nanocristales de celulosa	Origen orgánico (Dhar et al., 2014). Control de patógenos en los alimentos (El-Wakil et al., 2015). Biodegradables después de su uso (Mateescu et al., 2015)	Tecnología nueva y complicada (Dhar et al., 2014). Probable migración de nanomateriales del empaque hacia los productos alimenticios (Kuorwel et al., 2015; Bumbudsanpharoke & Ko, 2015)
Nanosensores	Nanocompuesto de hexacianoferrato de grafeno y cobalto, entre otros (Zhu et al., 2015)	Detecta hidracina y nitrato en muestras ambientales y de alimentos (Luo et al., 2015). Detecta patógenos en alimentos (Koedrih et al., 2014)	Escasa información y compleja producción (Elyasi et al., 2013)
Nanotransportadores	Nanoliposomas, nanopartículas y nanofibras	Transporta fertilizantes, pesticidas, reguladores de crecimiento, etc. (Dasgupta et al., 2015)	Poca estabilidad en condiciones ácidas, rápida liberación (Blanco-Padilla et al., 2014)

Nuestro grupo de investigación ha desarrollado experimentos a nivel de laboratorio e invernadero para determinar el efecto de NPs de ferrihidrita, magnetita, hematita, dióxido de titanio y óxido de zinc sobre 15 especies cultivadas en diferentes zonas climáticas (templada, subtropical y tropical). Las especies estudiadas fueron: albahaca (*Ocimum basilicum* L.), panalillo (*Alyssum maritimum* L.), perejil (*Petroselinum sativum* Hoffman), perritos (*Antirrhinum majus* L.), orégano (*Origanum vulgare* L.), coleus (*Coleus blumei* Benth), lechuga francesa (*Lactuca sativa* L.), ageratum azul (*Ageratum houstonianum* Mill), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.), girasol (*Helianthus annuus* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), tomate

(*Solanum lycopersicum* L.), betabel (*Beta vulgaris* L.) y margarita merry (*Chrysanthemum leucanthemum* L.). Se determinó el efecto de las NPs sobre los cultivos está en función de la concentración de las NPs, el tipo de NPs y la especie vegetal, *i.e.*, algunos cultivos responden favorablemente a altas concentraciones de NPs, mientras que otras especies presentan signos de toxicidad cuando son expuestas a altas dosis de NPs (Fernández-Luqueño et al., 2014). A la fecha, se han publicado diversos artículos y revisiones de investigación o capítulos de libros en los que se señalan las ventajas de la Bionanotecnología, la Nanociencia y la Nanotecnología sobre la producción, manejo, empaque y conservación de alimentos (Duran & Marcato, 2013; Fernández-Luqueño et al., 2014; Kuorwel, et al., 2015). Sin embargo, en ellas se señala el riesgo potencial que implica el uso de NPs o nanomateriales para la salud y el ambiente, por lo que se recomiendan estudios sobre los análisis de ciclo de vida y de impacto ambiental (Figura 2), que sean realizados por grupos de investigación transdisciplinarios.

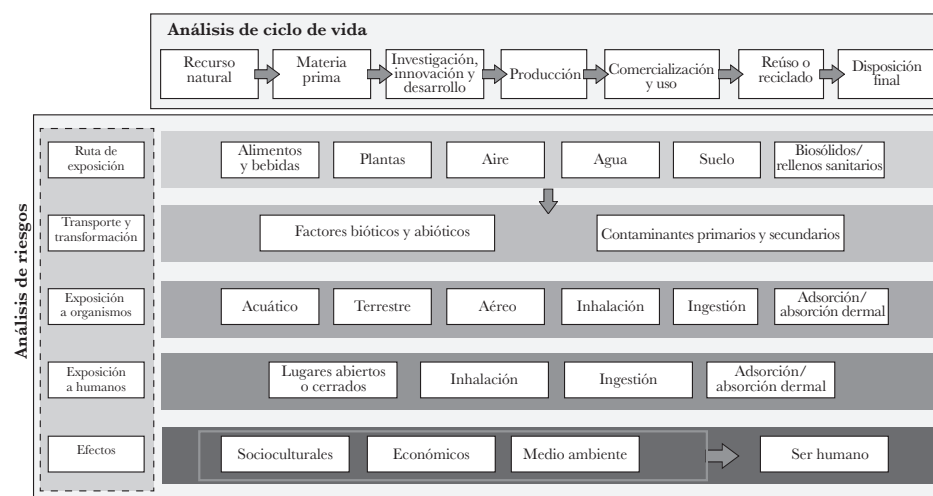


Figura 2. Diagrama de un análisis de ciclo de vida y un análisis de riesgos para garantizar que los procesos de elaboración de nanomateriales sean eficientes en términos de insumos consumidos (energía, agua, etc.), una adecuada disposición final y sean seguros para el ambiente y los organismos, incluidos los seres humanos (Elaboración propia).

A pesar de la poca información que demuestra que los alimentos producidos, empacados, manejados o almacenados con nanotecnologías, no afectan la salud o el ambiente. Yue et al. (2015) demostraron que los consumidores prefieren los nanoalimentos en comparación con los alimentos genéticamente modificados, lo cual deja en claro un futuro prometedor a los nanoalimentos.

Conclusión

La Bionanotecnología ofrece muchas oportunidades para el desarrollo de productos innovadores y aplicaciones para la agroindustria, la agricultura, el tratamiento de aguas, la producción de alimentos, su procesamiento, preservación y empaque, lo cual podría traer beneficios potenciales a los agricultores, agroindustriales y a los consumidores. No obstante, es necesario realizar investigaciones adicionales para determinar el riesgo potencial de los productos obtenidos por Bionanotecnología sobre la salud y el ambiente. Las investigaciones transdisciplinarias serán de suma relevancia para el desarrollo de productos bionanotecnológicos o de nanoalimentos y para el aseguramiento del cuidado ambiental, la salud y el

equilibrio ecológico. Adicionalmente, será necesaria la participación conjunta de investigadores, el gobierno y sus instituciones, la sociedad e industriales para establecer las normas que regulen y vigilen la producción y comercialización de los productos bionanotecnológicos, porque las aplicaciones potenciales de las Nanotecnologías han sido ampliamente estudiadas y divulgadas, sin embargo, los estudios sobre toxicidad de los nanomateriales y las regulaciones sobre seguridad no han avanzado al mismo paso.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de sus respectivas instituciones de adscripción. La parte experimental en laboratorio e invernadero se financió a través del Proyecto 151881 de Investigación Básica SEP-CONACYT 2010-2012, intitulado “Efecto de nanopartículas sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de plantas cultivadas”.

Bibliografía

- Abraham, S. & Narine, S. S. (2009). Self-assembled nanostructures of oleic acid and their capacity for encapsulation and controlled delivery of nutrients. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 9 (11), 6326-6334.
- Blanco-Padilla, A., Soto, K. M., Iturriaga, M. H. and Mendoza, S. (2014). Food antimicrobial nanocarriers. *Scientific World Journal*. Article number 837215.
- Boehm, A.L., Martinon, I., Zerrouk, R., Rump, E. & Fessi, H. (2003). Nanoprecipitation technique for the encapsulation of agrochemical active ingredients. *Journal of Microencapsulation*. 20(4), 433-441.
- Bumbudsanpharoke, N. & Ko. (2015). Nano-food packing: An overview of market, migration research, and safety regulations. *Journal of Food Science* 80 (5), R960-R923.
- Corradini, E., de Moura, M. R. & Mattoso, L. H. C. (2010). A preliminary study of the incorporation of NPK fertilizer into chitosan nanoparticles. *Express Polymer Letters* 4 (8), 509-515.
- Clunan, A. & Rodine-Hardy, K. (2014). Nanotechnology in a globalized world. Strategic assessments of an emerging technology. U.S. Naval Postgraduate School. Recuperado el 12 de junio de 2015 de <http://www.NPs.edu/Academics/Centers/CCC/PASCC/Publications/2014/2014%20006%20Nanotechnology%20Strategic%20Assessments.pdf>
- Cupaiolo, F. A., Zucca, F. A., Boraschi, D. & Zecca, L. (2014). Engineered nanoparticles. How brain friendly is this new guest? *Progress in Neurobiology* 119, 20-38.
- Dasgupta, N., Ranjan, S., Mundekkad, D., Ramalingam, C., Shanker, R. & Kumar, A. (2015). Nanotechnology in agro-food: from field to plate. *Food Research International* 69, 381-400.
- Delfani, M., Firouzabadi, M. B., Farrokhi, N. & Makarian, H. (2014). Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 45 (4), 530-540.

- Dhar, P., Bhardwaj, U., Kumar, A. & Katiyar, V. (2014). Cellulose nanocrystals: A potential nanofiller for food packaging applications. In: Komolprasert, V. & Turowski, P. (Eds.). *Food Additives and Packaging*. ACS Symposium Series. 1162, 197-239
- Duncan, T. V. (2011). The communication challenges presented by nanofoods. *Nature Nanotechnology* 6 (1), 683-688.
- Duran, N. & Marcato, P. D. (2013). Nanobiotechnology perspectives. Role of nanotechnology in the food industry: a review. *International Journal of Food Science and Technology* 48 (6), 1127-1134.
- Elyasi, M., Khalizadeh, M. A., Karimi-Maleh, H. (2013). High sensitive voltammetric sensor based on Pt/CNTs nanocomposite modified ionic liquid carbon paste electrode for determination of Sudan I in food samples. *Food Chemistry* 141 (4), 4311-4317.
- El-Wakil, N.A., Hassan, E.A., Abou-Zeid, R.E. & Dufresne, A. (2015). Development of wheat gluten/nanocellulose/titanium dioxide nanocomposites for active food packaging. *Carbohydrate Polymers* 124, 337-346.
- Flaguera, V., Quintero, J. P., Jimenez, A., Muñoz, J. A. & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology* 22, 292-303.
- FAO/WHO; Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. (2010). *FAO/WHO expert meeting on the application of nanotechnologies in the food and agriculture sectors: potential food safety implications; Meeting report*. FAO/WHO, Roma, Italia. 109 pp.
- Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., Valerio-Rodríguez, M.F., Pariona, N., Hernández-López, J.L., García-Ortíz, I., López-Baltazar, J., Vega-Sánchez, M.C., Espinosa-Zapata, R. & Acosta-Gallegos, J.A. (2014). Effects of nanofertilizers on plant growth and development, and their interrelationship with the environmental. In: López-Valdez, F. & Fernández-Luqueño, F. (Eds.). *Fertilizers: components, uses in agriculture and environmental impact*. NOVA Science. New York, USA. 211-224 pp.
- Fond, A.M., & Meyer, G. J. (2006). Biototoxicity of metal oxide nanoparticles. In: Nanotechnologies for the life sciences. Vol. 5. *Nanomaterials-Toxicity, Health and Environmental Issues*. Challa, S.S.R.K. (Ed.). Wiley-VCH. 3-34 pp.
- Friedman, A. & Friedman, J. (2009). New biomaterials for the sustainable release of nitric oxide: past, present and future. *Expert Opinion on Drug Delivery*. 6 (10), 1113-1122.
- He, L. L., Liu, Y., Mustapha, A. & Lin, M. S. (2011). Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. *Microbiology Research* 166 (3), 207-215.
- Hosseini, S. M. H., Emam-Djomeh, Z., Sabatino, P. & Van der Meer, P. (2015). Nanocomplex arising from protein-polysaccharide electrostatic interaction as a promising carrier for nutraceutical compounds. *Food Hydrocolloids* 50, 16-26.
- Hu, C. W., Li, M., Cui, Y. B., Li, D. S., Chen, J. & Yang, L. Y. (2010). Toxicological effects of TiO₂ and ZnO nanoparticles in soil on earthworm *Eisenia fetida*. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 586-591.

- Jamali, T., Karimi-Maleh, H. & Khalilzadeh, M.A. (2014). A novel nanosensor based on Pt:Co nanoalloy ionic liquid carbon paste electrode for voltammetric determination of vitamin B-9 in food samples. *LWT-Food Science and Technology* 57 (2), 679-685.
- Karimi-Maleh, H., Moazampour, M., Yoosefian, M., Sanati, A. L., Tahernejad-Javazmi, F. & Mahani, M. (2014). An electrochemical nanosensor for simultaneous voltammetric determination of ascorbic acid and sudan I in food samples. *Food Analytical Methods* 7 (10), 2169-2176.
- Koedrith, P., Thasiphu, T., Tuitemwong, K., Boonprasert, R. & Tuitemwong, P. (2014). Recent advances in potential nanoparticles and nanotechnology for sensing food-borne pathogens and their toxins in foods and crops: current technologies and limitations. *Sensors and Materials* 26 (10), 711-736.
- Kumari, A. & Yadav, S. K. (2014). Nanotechnology in agri-food sector. *Critical Review in Food Science and Nutrition* 54 (8), 975-984.
- Kuorwel, K. K., Cran, M.J., Orbell, J. D., Buddhadasa, S. & Bigger, S. W. (2015). Review of mechanical properties, migration, and potential applications in active food packaging systems containing nanoclays and nanosilver. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14 (4), 411-430.
- Kutner, A. J. & Friedman, A. J. (2013). Use of nitric oxide nanoparticulate platform for the treatment of skin and soft tissue infections. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Nanomedicine and Nanobiotechnology* 5 (5), 502-514.
- Lannitelli, A., Grande, R., Di Stefano, A., Di Giulio, M., Sozio, P., Bessa, L. J., Laserra, S., Paolini, C., Protasi, F. & Cellini, L. (2011). Potential antibacterial activity of carvacrol-loaded poly(DL-lactide-co-glycolide) (PLGA) nanoparticles against microbial biofilm. *International Journal of Molecular Sciences* 12 (8), 5039-5051.
- Liu, R. Q. & Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*. 514, 131-139.
- Luo, X. L., Pan, J. B., Pan, K. M., Yu, Y. Y., Zhong, A. N., Wei, S. S., Li, J., Shi, J. Y. & Li, X. C. (2015). An electrochemical sensor for hydrazine and nitrite based on graphene-cobalt hexacyanoferrate nanocomposite: toward environment and food detection. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 745, 80-87.
- Malheiros, P. S., Daroit, D. J. & Brandelli, A. (2010). Food applications of liposome- encapsulated antimicrobial peptides. *Trends in Food Science & Technology*. 21, 284-292.
- Martínez-Roldán, C. & Carbajal-Azcona, A. (2015). *Componentes bioactivos de los alimentos*. Pp. 31-36.
- Mateescu, A. L., Dimov, T. V., GRumezescu, A. M., Gestal, M. C. & Chifiriuc, M. C. (2015). Nanostructured bioactive polymers used in food-packaging. *Current Pharmaceutical Biotechnology* 16 (2), 121-127.
- Medeiros, E. S., Gregorio, R., Martinez, R. A. & Mattoso, L. H. C. (2009). A taste sensor array based on polyaniline nanofibers for orange juice quality assessment. *Sensor Letters*. 7, 24-30.

- Méndez-Bautista, J., Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., Mendoza-Cristino, R., Montes-Molina, J.A., Gutierrez-Miceli, F.A., Dendooven, L. (2009). Effect of pest controlling neem (*Azadirachta indica* A. Juss) and mata-raton (*Gliricidia sepium* Jacquin) leaf extracts on emission of green house gases and inorganic-N content in urea-amended soil. *Chemosphere*. 76, 293-299.
- Méndez-Bautista, J., Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., Mendoza-Cristino, R., Montes-Molina, J.A., Gutierrez-Miceli, F.A., Dendooven, L. (2010). Effect of pest controlling neem and mata-raton leaf extracts on greenhouse gas emission from urea-amended soil cultivation with beans: A greenhouse experiment. *Science of the Total Environment*. 408, 4961-4968.
- De Oliveira, J. L., Campos, E.V.R., Bakshi, M., Abhilash, P.C. & Fraceto, L. F. (2014). Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: Prospects and promises. *Biotechnology Advances*. 32(8), 1550-1561.
- Otles, S. & Yalcin, B. (2010). Nano-biosensors as a new tool for detection of food quality and safety. *LogForum*. 6, 67-69.
- Pereira, M. C., Hill, L. E., Zambiasi, R. C., Mertens-Talcott, S., Talcott, S. & Gomes, C. L. (2015). Nanoencapsulation of hydrophobic phytochemicals using poly (DL-lactide-co-glycolide) (PLGA) for antioxidant and antimicrobial delivery applications: Guabirota fruit (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg) study. *LWT-Food Science and Technology* 63 (1), 100-107.
- Pérez-de-Luque, A. & Rubailes, D. (2009). Nanotechnology for parasitic plant control. *Pest Management Science*. 65, 540-545.
- Periasamy, v. s., Athinarayanan, J., Al-Hadi, A. M., Al Juhaimi, F., Mahmoud, M. H. & Alshatwi, A. A. (2015). Identification of titanium dioxide nanoparticles in food products: induce intracellular oxidative stress mediated by TNF and CYP1A genes in human lung fibroblast cells. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 39 (1), 176-186.
- Sanchez-García, M. D., Lopez-Rubio, A. & Lagaron, J.M. (2010). Natural micro and nanobiocomposites with enhanced barrier properties and novel functionalities for food biopackaging applications. *Trends in Food Science & Technology*. 21, 528-536.
- Santiago, J. (2014). Nanotecnología y alimentos funcionales. *Revista de la Sociedad Química de Perú*. 80(3), 155.
- Servin, A., Elmer, W., Mukherjee, A., Torre-Roche, R., Hamdi, H., White, J. C., Bindraban, P. & Dimkpa, C. (2015). A review of the use of engineered nanoparticles to suppress plant disease and enhance crop yield. *Journal of Nanoparticles Research*. 17(2), 92.
- Sekhon, B. S. (2014). Nanotechnology in agri-food production: an overview. *Nanotechnology, Science and Applications*. 7, 31-53.
- Shafiee-Masouleh, S. S., Hatamzadeh, A., Samizadeh, H. & Rad-Moghadam, K. (2014). Enlarging bulblet by magnetic and chelating structures of nano-chitosan as supplementary fertilizer in *Lilium*. *Horticulture Environment and Biotechnology*. 55(6), 437-444.

- Smolkova, B., El Yamani, N., Collins, A. R., Gutleb, A. C. & Dusinska, M. (2015). Nanoparticles in food. Epigenetic changes induced by nanomaterials and possible impact on health. *Food and Chemical Toxicology*. 77, 64-73.
- Sozer, N. & Kokini, J. L. (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology*. 27, 82-89.
- Torres-Giner, S., Gimenez, E. & Lagarona, J. M. (2008). Characterization of the morphology and thermal properties of zein prolamine nanostructures obtained by electrospinning. *Food Hydrocolloids*. 22(4), 601-614.
- Wang, Y. X. & Chen, L. Y. (2014). Cellulose nanowhiskers and fiber alignment greatly improve mechanical properties of electrospun prolamin protein fibers. *ACS Applied Materials & Interfaces* 6 (3), 1709-1718.
- Yola, M. L., Uzun, L., Ozaltin, N. & Denizli, A. (2014). Development of molecular imprinted nanosensor for determination of tobramycin in pharmaceuticals and foods. *Talanta*. 120, 318-324.
- Yue, C. Y., Zhao, S. L. & Kuzma, J. (2015). Heterogeneous consumer preferences for nanotechnology and genetic-modification technology in food products. *Journal of Agricultural Economics* 66 (2), 308-328.
- Zhu, C. Z., Yang, G. H., Li, H., Du, D. & Lin, Y. H. (2015). Electrochemical sensors and biosensors based on nanomaterials and nanostructures. *Analytical Chemistry* 87 (1), 230-249.

Aplicación de la fermentación en estado sólido para el tratamiento de residuos agroindustriales

Application of Solid-State Fermentation on Agroindustrial Residues

*Guillermo Arzate-Martínez⁵¹

Resumen

⁵¹Universidad Politécnica de Guanajuato. Av. Universidad Norte S/N Loc. Juan Alonso, Cortázar, Guanajuato, México C.P. 3848. *Contacto: garzate@upgto.edu.mx

En este documento se hace una revisión de varios aspectos de la fermentación en estado sólido, Este tipo de fermentación se lleva a cabo con la presencia de cantidades limitadas de agua; lo cual le proporciona ventajas sobre la fermentación sumergida; como la posibilidad de obtener productos más concentrados y con mayores rendimientos. Los productos que se obtienen por esta vía son principalmente enzimas, ácidos orgánicos o bioetanol. Además, se discuten brevemente varios tipos de diseños de bioreactores usados y variables importantes a controlar para obtener mayores rendimientos. Finalmente, se presentan algunos modelos matemáticos para definir la cinética de crecimiento de biomasa y la transferencia de masa y calor para diferentes tipos de bioreactores.

Abstract

In this document, several aspects related to solid-state fermentation are reviewed; this type of fermentation is carried out with a limited amount of water; this fact provides several advantages over the submerged fermentation; for example, the possibility of the obtention of more concentrated products and higher yields. The main products obtained via solid-state fermentation are enzymes, organic acids and bioethanol. Besides, several types of bioreactor designs and the main yield affecting controllable variables are discussed. Finally, several mathematical models for microbial growth and heat and mass transfer for various types of reactors are presented.

Introducción

La fermentación en estado sólido es una técnica de fermentación, la cual se lleva a cabo utilizando un material en estado sólido, sobre el cual crecen diferentes tipos de microorganismos con la característica de que ésta se lleva a cabo con cantidades limitadas de medio líquido, ya que el material sólido, que también sirve de soporte a los microorganismos, se encuentra solamente recubierto con una cantidad limitada de agua, adicionada de manera suficiente, para permitir el crecimiento de microorganismos. (Pandey, A. 2003; Singhanía, R. R. et al. 2009; Barghav et al. 2008).

La fermentación en estado sólido es una alternativa a la fermentación sumergida, ya que en esta última el proceso de fermentación se hace en estado

líquido. Tradicionalmente, la fermentación sumergida ha tenido un mayor desarrollo, quizás debido a la producción de la penicilina en los años 40, la cual se llevó a cabo en este tipo de fermentación (Pandey, A. 2003). Sin embargo, en años recientes, la fermentación en estado sólido ha adquirido una mayor importancia debido a que tiene numerosas ventajas sobre la fermentación sumergida (Tabla 1). Muchos investigadores argumentan que el crecimiento de microorganismos en fermentación en estado sólido, además de ser más simple que aquel llevado a cabo en fermentación sumergida, asemeja más las condiciones bajo las cuales éstos crecen en la naturaleza, por lo que representa una menor inversión con respecto a materias primas y equipos. Además, de que en este tipo de fermentaciones se tiene un ahorro en el consumo de agua, y que por esta razón, son menos los microorganismos capaces de crecer en el medio de fermentación (limitado a algunas levaduras, hongos y bacterias), disminuyendo la probabilidad de contaminación (Prabhakar, A. et al. 2005); y finalmente, en este tipo de fermentaciones se ha reportado un mayor rendimiento en la obtención de enzimas y otros metabolitos secundarios. En la Tabla 1 se muestra un análisis de las ventajas y las desventajas de la fermentación en fase sólida y la fermentación sumergida.

Ventajas	Desventajas
Mayor productividad	Dificultades asociadas al escalamiento
Mejor circulación de oxígeno	Baja eficiencia de mezclado
Medios de cultivo con menor costo	Dificultad en el control de los parámetros del proceso (pH, calor, humedad, condiciones de nutrientes)
Los procesos subsecuentes de purificación usualmente son más simples (aunque no siempre menos costosos)	Problemas de transferencia de calor
Menores requerimientos de energía y costos	En ocasiones la recuperación de los productos es costosa
Tecnología simple	
Relativamente baja incidencia de problemas de operación	
Menor cantidad de agua consumida	

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de la Fermentación en Estado Sólido con respecto a la Fermentación Sumergida. (Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006; Raimbault M. et al. 1998)

Sustratos utilizados en la fermentación en estado sólido

La selección del tipo de residuos a utilizar en la FES, depende en gran medida de la aplicación para la cual se destine. De esta manera, se puede estar interesado en la obtención de productos útiles a partir de los residuos y adicionalmente en el tratamiento de residuos agroindustriales que en caso de no aprovecharse, constituirían un desecho.

La selección más común como sustrato para los microorganismos son residuos agroindustriales, tales como rastrojos, pajas, semillas, bagazos, fibras,

aserrines, salvados, cáscaras o tortas residuales de procesos de extracción de aceite (Barghav et al. 2008). Dentro de los residuos, son preferidos aquellos que tienen un menor contenido de cenizas, como por ejemplo los bagazos de caña y tapioca (Pandey, A. et. al 2000); también se ha reportado fermentación en estado sólido en desechos industriales tales como película de celulosa usadas para la cocción de embutidos (Shreenath H.K. y Koegel R.G. 2008)

La elección del sustrato depende entonces del producto que se desee producir y del microorganismo que se emplee para hacer la degradación.

Microorganismos

Las levaduras y los hongos filamentosos son los principales tipos de microorganismos usados en la fermentación; estos últimos debido a su capacidad de penetrar las superficies sólidas gracias a sus filamentos; a pesar de esto, también se han reportado trabajos en los cuales se utilizan cultivos de bacterias.

La tabla 2 muestra los grupos de microorganismos usados para diferentes tipos de procesos de fermentación.

Tabla 2 Microorganismos involucrados en la fermentación en estado sólido. (Raimbault M. et al. 1998)

Microflora	Proceso de fermentación en estado sólido
Bacterias	
<i>Bacillus sp.</i>	Composteo, producción de amilasa
<i>Pseudomonas sp. Serratia sp. Streptococcus sp.</i>	Composteo
<i>Lactobacillus sp. Clostridium sp.</i>	Ensilado, producción de aditivos alimentarios
Levaduras	
<i>Endomycopsis burtonii</i>	Fermentación de mandioca y arroz
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Producción de etanol y aditivos alimentarios
<i>Schwanniomyces Castellii</i>	Producción de etanol y amilasas
Hongos	
<i>Aspergillus oryzae</i>	En procesos de elaboración de miso japonés y salsa de soya. Al hongo se le conoce como koji en Japón. Producción de ácido cítrico
<i>Rhizopus oligosporus</i>	Producción de tempeh a partir de soya, producción de enzimas como lipasas y amilasas
<i>Aspergillus niger</i>	Producción de amilasas, ácido cítrico y proteínas

Principales aplicaciones de la fermentación en estado sólido

Son muchos los productos obtenidos por fermentación en estado sólido, entre los principales se encuentran las enzimas, ácidos orgánicos, bioetanol, compuestos de sabor y agentes de control biológico. (Pandey, A. 2003; Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006; Barghav et al. 2008; Ramos-Sánchez L.B., et al. 2015).

Enzimas

Mediante la utilización de la fermentación en estado sólido, se pueden producir una gran variedad de enzimas como las proteasas, celulasas, fitasas, pectinasas, xilanasas y lipasas.

Proteasas

Las proteasas son enzimas que encuentran muchas aplicaciones en la formulación de detergentes y en la manufactura de quesos y carne (Nout M.J.R. y Rombouts, F. M.1990). Se ha reportado la producción de proteasas a partir de residuos de molienda de arroz fermentados por *Aspergillus Niger* obteniéndose extractos enzimáticos de hasta 67.7 U/g (Paranthaman R. et al. 2009), otros ejemplos de producción de proteasas incluyen: Su producción a partir de desperdicios de Granada (*Punica Granatum*) (R. Santhi, 2014), donde se obtuvo un extracto con una actividad de 140 U/ml tras hacer una suplementación con sulfato de amonio; la producción a partir de una torta de soya sobrecalentada (Thakur, S.A., et al. 2015) usando *Aspergillus oryzae* y variando factores como el tamaño de partícula, la humedad de la torta, el tiempo de incubación y el pH, en este estudio se logró obtener una actividad de hasta 1387.6 U/g.

Celulasas, pectinasas y xilanasas

Las celulasas son enzimas que se utilizan para la hidrólisis de la celulosa. Aunque una aplicación clásica de las mismas es en el tratamiento de pulpas de papel, un nicho que se ha desarrollado mucho en la actualidad es su uso en la producción de bioetanol; las celulasas hidrolizan la celulosa para rendir glucosa, la cual se puede transformar en etanol por fermentación con alguna levadura, típicamente *Saccharomyces cerevisiae*. Algunos de los procesos en los cuales que se han usado para la producción de estas enzimas en fermentación en estado sólido, encontramos los siguientes: (Sartori, T., et. al 2015), en este trabajo se obtuvo un extracto con actividad celulolítica a partir de olotes inoculados con esporas de *Trichoderma viride* que después fue probado en varios sustratos obteniéndose una actividad de 10.146 U/g de extracto sobre aserrín de eucalipto. Las pectinasas se usan principalmente en la industria de los jugos vegetales, para la clarificación de los mismos; además se reporta su uso en la industria de los vinos (Cavalitto, S.F., et al. 1996). Ha sido posible la producción de pectinasas en fermentación en estado sólido inoculando pulpa de remolacha azucarera con *Aspergillus niger* y usando agua de desecho rica en nitrógeno proveniente de una empresa productora de glutamato monosódico, el resultado fue la obtención de un extracto con actividad de endo-poligalacturonasa (un tipo de pectinasa) que mostró ser un estimulante de las defensas de semillas de tomate y pepino inoculadas con diferentes agentes patógenos (Zhang, B. et, al. 2004). Las xilanasas consisten en un complejo enzimático compuesto principalmente por endo-1,4- β -xilanasas y β -xilosidasas. Este tipo de enzimas son responsables de la hidrólisis de los xilanos, un tipo de hemicelulosa consistente en un polímero lineal de unidades de β -D-xilopiranosilo unidas por enlaces glucosídicos 1-4. Estas enzimas son producidas por bacterias, hongos filamentosos, levaduras, crustáceos, algas, insectos, semillas, etc. (Motta, F.L., et al. 2013; Polizeli, M. L. et al. 2005). En fermentación en estado sólido se han producido a partir de agroresiduos como salvado de trigo, olotes de maíz, cascara de arroz, salvado de arroz y bagazo de caña usando *Bacillus licheniformis*,

a partir de estos residuos se obtuvieron hasta 48.12 U/g de actividad enzimática (Chaturvedi S., et al. 2015). En otro estudio reciente se obtuvo una xilanas termoresistente (incluso a 70° C) a partir de la inoculación de salvado de trigo con *Bacillus lparvinder st. lpu002*, una especie nueva de bacilo aislado de muestras de suelo (Kaur, A. et al. 2015).

Fitasas y lipasas

Las fitasas son enzimas utilizadas para defosforilar el ácido fítico presente en los cereales. El propósito de hacer esto es para aumentar la disponibilidad de fosfatos en la elaboración de dietas para animales monogástricos, ya que estos no pueden digerir el ácido fítico (Hídvégi M. y Lásztity, R., 2002). Se ha reportado la producción de fitasas por fermentación en estado sólido en salvado de arroz por una cepa de *Thermomyces lanoginosus*, la optimización de la producción de esta enzima se logró al experimentar con cuatro factores (temperatura, pH, área de aeración y madurez del cultivo) y se logró un máximo de actividad de 3.248 U/mL de extracto sobre fitato de sodio (Berikten, D. y Kivanc, M., 2014). Las lipasas son enzimas usadas para modificar glicéridos, su uso es muy promisorio en la preparación de glicéridos preparados con aplicaciones específicas, como por ejemplo, mezclas enriquecidas con mono- o diacilglicéridos (Fregolente, L. V., et al. 2006) o triacilglicéridos con una distribución específica de ésteres (Choi, J.H., et al. 2012). La producción de lipasas se ha podido llevar a cabo por medio de FES en sustratos tales como tortas residuales de extracción de aceite de babasú inoculando con *Penicillium restrictum*, el medio fue enriquecido con peptona, aceite de oliva y almidón, se obtuvo una actividad máxima de la lipasa de 30 U/g (Palma M.B., et al. 2000).

Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos se han utilizado en la industria de los alimentos como agentes conservadores (Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006) debido a su capacidad para funcionar como agentes quelantes (Barghav et al. 2008). El valor en el mercado para este tipo de ácidos en el 2004 era de alrededor de 14 mil millones de dólares, con una expectativa de crecimiento anual de 4.7% (Soccol, C.R., et al. 2008)

Ácido cítrico y ácido láctico

El ácido cítrico es junto con el ácido acético, el ácido orgánico más comercializado (Soccol, C.R., et al. 2008). La industria de los alimentos consume alrededor del 70% del mismo al utilizarlo como aditivo conservador y potenciador de sabores (Shah, D.N., et al. 1993). Existen reportes de su producción con FES, principalmente a partir de desechos de cítricos; por ejemplo; su producción a partir de cáscara de uva inoculada con *Aspergillus niger*; en este estudio se logra un extracto con una concentración del ácido de hasta 34.64 g/kg (Hariveeran-Goud, K., et al. 2012). El ácido láctico es un ácido orgánico usado como aditivo en alimentos para conferirles sabores ácidos, también se usa como regulador de pH (Bayiste, R., 2015) y como precursor en la preparación de ácido poliláctico, un polímero biodegradable con aplicaciones biomédicas (Pawar, R.P., et al. 2014). La producción de este ácido se suele llevar a cabo por fermentación

de azúcares con bacterias ácido lácticas en fermentación sumergida; sin embargo, es posible la producción directa de sustratos sólidos ricos en carbono mediante el uso de FES usando hongos como *Rizopus oryzae* o lactobacilos con actividad amilolítica tales como *Lactobacillus amylovorus* o *Lactobacillus amylophilus*, también se puede utilizar otro tipo de lactobacilos en combinación con enzimas degradadoras (Bayiste, R., 2015).

Bioetanol

La creciente necesidad de aumentar la producción de combustibles a partir de fuentes renovables hace que sea de particular interés la producción de bioetanol de forma económica. Usualmente, el bioetanol se produce en fermentación sumergida; sin embargo la necesidad de obtener mayores concentraciones del mismo y la posibilidad de acoplar la sacarificación y la fermentación con levaduras simultáneamente en un bioreactor de fermentación en estado sólido, hacen de ésta última, una opción muy atractiva (Barghav et al. 2008; Shreenath H.K. y Koegel R.G. 2008; Ban, J. et al. 2008).

Reactores usados en la fes

Existen básicamente cuatro tipos de bioreactores usados en FES. Los bioreactores de platos o charolas, los de lecho empacado, los de lecho fluidizado y los de tambor horizontal.

Los reactores de platos o charolas

Este tipo de reactores consisten en una serie de platos montados sobre unos soportes o anaqueles. El sustrato se coloca sobre los platos formando una cama no muy profunda sobre cada plato. El anaquel con los platos se encuentra dentro de una cámara por la que circula aire húmedo con la finalidad de mantener la oxigenación y el control de la temperatura (Figura 1). Tienen la ventaja de tener un diseño muy simple; sin embargo, presentan dificultades en su escalamiento debido a que para su instalación, se requiere un gran espacio (Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006).

Los reactores de lecho empacado y de lecho fluidizado

Los biorreactores de lecho empacado consisten en un tubo que puede ser de plástico o de vidrio, dentro del cual se introduce el sustrato sólido (Fig. 2a). Este tipo de reactores cuenta con dispositivos que permiten la entrada de aire; de manera que es posible suministrar oxígeno al interior del mismo (Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006). Además, también se puede colocar una chaqueta de enfriamiento; dentro de la cual circula agua para bajar la temperatura. Este tipo de bioreactores a pesar de ser muy utilizados, cuentan con el problema de que en su interior se generan temperaturas muy altas que afectan al proceso de fermentación, esto se debe a que usualmente los sustratos usados tienen muy baja conductividad, produciéndose una baja transferencia de calor. Una solución a lo anterior son los diseños alternativos, como los bioreactores de lecho fluidizado (Fig. 2b). En estos reactores el sustrato sólido se encuentra sumergido en líquido, con la finalidad de favorecer los procesos de transferencia de calor y masa (Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006). Por último, existe otra alternativa,

el biorreactor zymotis (Fig. 2c), (Roussos, S. et al. 1993) que cuenta con placas internas de enfriamiento, dentro de las cuales se permite la circulación de agua.

Reactores horizontales de tambor rotatorio

Este tipo de fermentadores consiste en un cilindro horizontal que se llena con el medio de fermentación. El cilindro gira a una baja velocidad y se encuentra provisto de baffles interiores, de esta forma se promueve el mezclado y la transferencia de calor (Fig. 3a). En otra configuración, los reactores se equipan con un eje rotatorio para mover impulsores que logran el mezclado (Fig. 3b). También se introducen corrientes de aire en el interior del mismo para lograr la oxigenación del cultivo. La desventaja de este tipo de biorreactores consiste en que para poder lograr un efecto óptimo de mezclado, se deben llenar cuando mucho hasta un 30% de su capacidad, lo cual imposibilita el tratamiento de lotes con una mayor cantidad de carga (Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006).

VARIABLES IMPORTANTES EN LA FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO

Existen diferentes variables cuyo control es crítico para obtener un mayor rendimiento de producto en la fermentación en estado sólido. Las principales variables que el experimentador puede controlar son: la humedad y el tamaño de partícula del sustrato, el pH, la temperatura y la composición del medio y el tiempo de fermentación.

Humedad del sustrato

La humedad en el sustrato sólido es de vital importancia, debido a que los microorganismos necesitan valores relativamente altos de humedad para poder desarrollarse. Valores de actividad de agua entre 0.96 hasta 0.99 son reportados en la literatura como aquellos óptimos en los cuales se desarrollan varias especies de hongos (Barghav et al. 2008). Asimismo, es importante considerar la pérdida de agua por la acción de la evaporación y el consumo de la misma por parte de los microorganismos (Borzani, W., et al. 1999).

El tamaño de partícula del sustrato

Existen estudios donde se muestra el efecto del tamaño de partícula sobre la eficiencia del proceso de fermentación (Zadrazil, F., y Puniya, A. K. 1995; Vastrad, B.M y Neelagund, S.E., 2011). Suministrar el sustrato en forma de partículas pequeñas puede resultar ventajoso porque se incrementa el área de contacto. Las partículas pequeñas pueden ser limitantes para la difusión de oxígeno, ya que los espacios entre las mismas serán menores (Zadrazil, F., y Puniya, A. K. 1995). Las partículas de mayor tamaño tienen la ventaja de mejorar la difusión de gases, sin embargo, estas partículas retienen menos agua, lo cual resulta en una desventaja para el desarrollo de hongos.

Temperatura del medio

La temperatura del medio de fermentación es uno de los factores más importantes, y quizás el más difícil de controlar en la fermentación en estado sólido. Debido a la baja conductividad térmica de los sustratos, la dispersión del calor hacia

los alrededores es reducida (Prabhakar, A. et al. 2005), formándose gradientes de temperatura por lo que es necesario equipar los reactores con chaquetas de enfriamiento enfriadas con agua o corrientes de aire alimentadas alternando las direcciones de flujo (Büek, A. et al. 2015) (Ver sección 5). Se han reportado que entre 20°C y 55°C es el intervalo de temperatura bajo las cuáles el crecimiento de los hongos es óptimo (Barghav et al. 2008).

PH del medio

El pH del medio de cultivo es un factor importante que muchos investigadores han estudiado en varios trabajos de fermentación en estado sólido (Rashmi A.M., et al. 2012). Convencionalmente se usa un pH ácido (de alrededor de 4), en sistemas donde no existe control de pH con la finalidad de evitar contaminación. Sin embargo, existen muchos microorganismos que crecen en pH neutro (Saucedo- Castañeda, G., et al. 1992).

Composición del medio de fermentación

Adicional a la fuente de carbono presente en los sustratos sólidos, es necesario añadir al medio de fermentación, diferentes nutrientes para lograr el crecimiento de los microorganismos. De esta manera, es necesario suplementar, fuentes de nitrógeno, y minerales. El nitrógeno es necesario para que los microorganismos produzcan proteínas, algunas de las fuentes de nitrógeno más comunes son los extractos de levadura, la urea, peptona, nitratos y nitritos (Kumar, A. y Singh-Kanwar S., 2012). También es común añadir micronutrientes tales como sales de calcio, magnesio, potasio y otros elementos (Subash N., et al 2013).

Tiempo de fermentación, productividad y concentración de biomasa

El tiempo óptimo de fermentación es aquel tiempo en el que se maximiza la productividad. La productividad puede establecerse en términos de la cantidad de producto producido por unidad de volumen de reactor por unidad de tiempo; o bien, puede ser el cociente entre la concentración de biomasa sobre el volumen del reactor y el tiempo de fermentación. Para establecer la productividad, es importante tener un mecanismo para medir la concentración de los productos o la biomasa a lo largo del proceso de fermentación. Esto se puede llevar a cabo con mediciones indirectas por medio de métodos bioquímicos, como por ejemplo los cambios en glucosamina, ergosterol y consumo de O₂ y CO₂ (Desgranges, C., et al. 1991; Krishna C., 2005).

Modelamiento matemático de la fermentación en fase sólida

El modelamiento matemático en la fermentación en fase sólida tiene una gran importancia para poder controlar y optimizar la operación de los bioreactores. Los modelos pueden describir los fenómenos desde un nivel macroscópico o un nivel microscópico. Los modelos a nivel macroscópico se basan en balances de masa para el O₂ y el agua dentro del sustrato y en el espacio de cabeza, además también se utilizan los balances de energía para poder predecir los perfiles de temperatura dentro de los reactores. Los modelos microscópicos describen la cinética de crecimiento de la biomasa (Mitchell, D.A., et al. 2003).

Modelos macroscópicos (transferencia de masa y calor)

Rajagopalan, S. y Modak J. M. (1994) han propuesto modelos para la transferencia de oxígeno, para biorreactores de charolas:

a) Modelo para la transferencia de oxígeno:

$$\frac{\partial C_{O_2}^\varepsilon}{\partial t} = D_{O_2}^b \frac{\partial^2 C_{O_2}}{\partial z^2} - K_a a_x (C_{O_2} - H C_{O_2}^f)$$

Donde se asume que

$$K_a a_x (C_{O_2} - H C_{O_2}^f) = r_{O_2}$$

Donde: C_{O_2} es la concentración de O_2 dentro de los poros, ε es la porosidad del sustrato, t es el tiempo, z es la coordenada en dirección a la profundidad de la cama, $D_{O_2}^b$ es la difusividad efectiva del oxígeno en el medio, K_a es el coeficiente de transferencia de masa para el O_2 , H es la constante de la ley de Henry, $C_{O_2}^f$ es la concentración de O_2 dentro de la biopelícula y r_{O_2} es la velocidad de consumo de O_2 , que puede considerarse de acuerdo a una cinética de Monod.

b) Modelos para la transferencia de agua: El modelo de transferencia es propuesto por Smits, J. P. et al. (1999)

$$\frac{\partial C_w}{\partial t} = r_{H_2O} - \left[\frac{\partial C_{VAP}}{\partial t} - D_{VAP}^* \frac{\partial^2 C_{VAP}}{\partial z^2} \right]$$

Donde C_w es la concentración de agua líquida por unidad de volumen de sustrato, r_{H_2O} es la velocidad de producción consumo de agua por los microorganismos, C_{VAP} es la concentración de vapor de agua por unidad de volumen de sustrato y D_{VAP}^* es la difusividad efectiva del vapor de agua dentro de la cama de sustrato. El primer término entre paréntesis representa la evaporación del agua y el segundo la difusión del agua en los espacios de la cama.

c) Modelos para la transferencia de calor

Smits propone como modelo para la transferencia de energía al siguiente:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = k_b \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + r_Q + \lambda D_{VAP}^* \frac{\partial^2 C_{VAP}}{\partial z^2}$$

Donde: H es la entalpía de la cama de sustrato, λ es el calor de vaporización del agua. El primer término del lado derecho es la transferencia de calor por conducción, el segundo la producción de calor debido al metabolismo de los microorganismos y el tercero, la dispersión de calor debido a la evaporación del agua.

Modelos microscópicos (cinéticas de crecimiento microbiano)

Este tipo de modelos describe el crecimiento cinético de los microorganismos en el interior del reactor. Se puede hacer el modelamiento en dos niveles, en el primero simplemente obteniendo modelos descritos por ecuaciones empíricas; y en el segundo nivel, tomando en cuenta factores ambientales que pueden afectar

el crecimiento de los microorganismos, tales como la difusión intraparticular de enzimas o la interacción de los microorganismos con productos de hidrólisis (Mitchell, D.A., et al. 2004).

Algunos modelos sencillos que se pueden utilizar para seguir la cinética de crecimiento de los microorganismos están incluidos en la tabla 3.

Lineal	Exponencial	Logística	De dos fases
$\frac{dX}{dt} = k$	$\frac{dX}{dt} = \mu X$	$\frac{dX}{dt} = \mu X \left(1 - \frac{X}{X_m}\right)$	$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad t < t_a$ $\frac{dX}{dt} = [\mu L e^{-k(t-t_a)}] X \quad t \geq t_a$

X es la cantidad de biomasa, t es el tiempo, K es la constante de crecimiento lineal, μ es la tasa de crecimiento específico, X_m es la cantidad máxima posible de biomasa, t_a es el tiempo a partir del cual comienza la etapa de desaceleración exponencial y L es el cociente entre la tasa de crecimiento específico justo antes de terminar la fase exponencial y la tasa de crecimiento específico de la fase exponencial. (Mitchell, D.A., et al. 2004).

Retos y perspectivas de la fermentación en estado sólido

A pesar de todas las ventajas de la fermentación en estado sólido, todavía se tienen muchos retos para que su utilización sea más generalizada. Los principales retos están centrados en aumentar el rendimiento de los productos, lograr temperaturas más homogéneas dentro de los bioreactores y encontrar mejores métodos para determinar la biomasa.

Bibliografía

- Ban, J., Yu, J., Zhang, X., Tan, T. (2008) Ethanol production from sweet sorghum residual. *Frontiers of Chemical Engineering in China*. 2(4) 452-455
- Barghav, S., Panda, B. P., Ali, M. y Javi, S. (2008) Solid-State Fermentation: An Overview. *Chem. Biochem. Eng. Q.* 22 (1), 49-70.
- Bayiste, R. (2015) Lactic acid production from biomass: Prospects for bioresidue utilization in Ghana: Technological Review. *International Journal of Applied Science and Technology*. 5 (1), 164-174
- Berikten D. y Kivanc, M. (2014) Optimization of solid-state fermentation for phytase production by *Thermomyces lanuginosus* using surface response methodology. *Preparative Biochemistry & Biotechnology* 44, 834-848.
- Borzani, W., Salomao, G.L., y Martins, J.C., (1999) A simple method to control the moisture content of the fermenting medium during laboratory-scale solid-state fermentation. *Braz. J. Chem. Eng.* 16(1) [versión electrónica]
- Bück, A., Casciatori, F. P., Thoméo, J.C. y Tostsas, E. (2015) Model-based control of enzyme yield in solid-state fermentation. *Procedia Engineering* 102, 362-371

- Cavalitto, S. F., Arcas, J. A., Hours, R. A. (1996) Pectinase production profile of *Aspergillus foetidus* in solid state cultures at different acidities. *Biotechnology Letters*.
- Chaturvedi, S., Kohli, K. U., Rajni, S., Khurana, S. M. P., (2015) Statistical optimization of medium composition for xylanases production by solid-state fermentation using agroresidues. *American Journal of Microbiological Research*. 3 (2) 85-92
- Choi, J. H., Kim, B. H., Hong, S.I., Kim, C.T., Kim, C. J., Kim, Y. y Kim I. H. (2011) Lipase-ctalysed production of triacylglycerols enriched in pinolenic acid at the sn-2 position from pine nut oil. *J. Sci. Food Agric*. 92 (4) 870-876
- Desgranges, C., Vergoinan, M., Georges, M. y Durand, A. (1991) Biomass estimation in solid state fermentation. *Appl. Microbiol. Biotechnol*. 35 (2), 200-205
- Fregolente, L. V., Batistella, C. V., Filho, R. M., Wolf Maciel, M. R., (2006) Optimization of distilled monoglycerides production. *Appl Biochem. Biotechnol*. 131 (1-3) 680-693.
- Hariveeran-Goud. K., Srilakshmi, A., Kumar, A.P., Narasimha, G., (2012) Citric acid production by *Aspergillus niger* through solid state fermentation using fruit wastes. *BTAJ* 6 (3), 2012 93-96
- Hidvegi, M. y Lázstity, R. (2002) Phytic acid content of cereals and legumes and interaction with proteins. *Periodica Polytechnica Ser. Chem. Eng* 48 (1-2) 59-64
- Kaur, A., Chopra C., Joshi, A., Sharma, N. J. (2015) Bioprocessing, biochemical characterization and optimization of solid state fermentation of a new thermostable xylanase producing strain belonging to *Bacillus* genus. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 7 (1) 266-276.
- Krishna, C. (2005) Solid-state fermentation systems- an overview. *Crit. Rev. Biotechnol*. 25(1-2), 1-30.
- Kumar, A. y Singh-Kanwar, S. (2012) Lipase production in solid-state fermentation (SSF): *Dymanic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology*. 6 Special Issue 1 13-27
- Mitchell, D.A., von Meien, O., Krieger, N. (2003) Recent Developments in modeling of solid state fermentation: heat and mass transfer in bioreactors. *Biochemical Engineering Journal* 13, 137-147.
- Mitchell, D.A., von Meien, O., Krieger, N. y Dalsenter, F.D.H. (2004) A review of recent developments in modeling of microbial growth kinetics and intraparticulate phenomena in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*. 17, 15-26.
- Motta, F.L, Andrade, C. C. P. Santana, M.H.A, A Review of Xylanase Production by the Fermentation of Xylan: Classification, Characterization and Applications. Artículo de Libro: Sustainable Degradation of Lignocellulosic Biomass-Techniques, Applications and Commercialization 2013. <http://www.intechopen.com/books/export/citation/EndNote/sustainable-degradation-of-lignocellulosic-biomass-techniques-applications-and-commercialization/a-review-of-xylanase-production-by-the-fermentation-of-xylan-classification-characterization-and-app>
- Nout, M. J. R. y Rombouts, F. M. (1990) Recent developments in tempe research. *J. Appl. Bacteriol*. 69(5) 609-633.

- Palma, M.B., Pinto, A.L., Gombert, A.K., Seitz, K.H., Kivatnitz, S.C., Castilho, L.R. y Freire D.M. (2000) Lipase production by penicillium restrictum using solid waste of of industrial babassu oil production as a substrate. *Appl Biochem. Biotechnol.* 84-86, 1137-1145
- Pandey, A., Soccol, C.R., Nigam, P., Soccol, V.T., Singh, D. (2000) Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: Sugarcane bagasse 74, 69
- Pandey, A. (2003) Solid-State Fermentation. *Biochem. Eng. J.* 13, 81-84
- Paranthaman, R., Alagusundaram, K. y Indhumanthi J. (2009) Production of Protease from Rice Mill Wates by *Aspergillus niger* in Solid-State Fermentation. *World J. Agric. Sci.* 5 (3) 308-319.
- Pawar, R.P., Tekale, S.U., Shisodia, S.U., Totre, J.T. y Domb, A.J. Biomedical applications of poly (lactic acid). *Recent Patents on Regenerative Medicine* 4, 40-51
- Polizeli, M.L., Rizzatti, A.C., Monti, R., Terenzi, H. F., Jorge, J. A., Amorim, D. S. (2005) Xylanases from fungi: Properties and industrial applications. *Appl Microbiol. Biotechnol.* 67 (5) 577-591.
- Prabhakar, A., Krishnaiah, K., Janaun, J. y Bono, A. (2005) An Overview of Engineering Aspects of Solid-State Fermentetion *Malaysian Journal of Biotechnology* 1 (2), 10-16
- Ramos-Sánchez, L.B., Cujilema-Quitio, M. C., Julián-Ricardo, M. C., Cordova, J. y Pickers, P. (2015) Fungal Lipase Production by Solid-State Fermentation *J. Bioprocess. Biotech.* 5 2-9
- Raimbault, M. (1998) General and Microbiological Aspects of Solid-Sustrate Fermentation [versión electrónica] *EJB Electronic Journal of Biotechnology* 1(3) disponible en www.ejb.org
- Rajagopalan, S. y Modak, J.M. (1994) Heat and mass transfer simulation studies for solid-state fermentation processes. *Chem. Eng. Sci.* 49, 2187-2193.
- Rashmi, A.M., Gopinath, S.M., Krishan, K. y Narasimha, M.T.P (2012) A new solid state fermentation for the production of L-glutaminase by *Aspergillus Flavus* (FGNAS-7) *IJLRST* 1(4) 304-307
- Rodríguez, C. S., y SanRomán, M.A. (2006) Application of Solid-State Fermentation to Food Industry – A review *J. Food Eng.* 76, 291-302
- Roussos, S., Raimbault, M., Prebois, J.P. y Lonsane, B.K. (1993) Zymotis, a large scale solid state fermenter design and evaluation. *Applied Biochemistry and Biotechnology.* 42 (1) 37-52.
- Santhi, R. (2014) Extracellular protease production by solid state fermentation using *Punica granatum* peel waste *IAJPR* 4(6) 2706-2712
- Sartori, T., Tibolla, H., Prigol, E., Colla, L.M., Vieira-Costa, J. A. y Bertolin, T.E. (2015), Enzymatic saccharification of lignocellulosic residues by cellulases obtained from solid-state fermentation using *Thichoderma viride*. *BioMed Res Int.* [versión electrónica] 1-9
- Saucedo-Castañeda, G., Lonsane, B.K., Navarro, J.M., Rossos, S. y Raimbault, M. (1992) Importance of medium pH in solid state fermentation for growth of *Schwanniomyces castelli*. *Letters in Applied Technology* 15(4) 164-167.
- Shah, D.N., Chattoo, B.B. y Kothari, R.M. (1993), Starch hydrolysis, an optimal and economical source of carbon for the secretion of citric acid by *Yarrowia lipolytica* (DS-1) *Starch-Stärke* 45 (3) 104-109

- Shreenath H.K. y Koegel R.G. (2008) Bioconversion of Spent Cellulose Sausage Casings. *Enzyme Microb. Technol.*
- Singhania, R. R., Patel, A. K., Soccol, C. R. y Pandey, A. (2009) Recent Advances in Solid-State Fermentation. *Biochem. Eng. J.* 44, 13-18
- Smits, J.P., van Sonsbeek, H.M., Tramper, J., Knol, W., Geelhoed, W., Peeters, M., Rinzema, A. (1999) Modelling fungal solid-state fermentation: the role of inactivation kinetics. *Bioprocess Eng.* 20 391-404.
- Soccol, C.R., Vandenberghe, L.P.S., Rodrigues C., Pedroni, M.A.B., Larroche, C., Pandey, A. (2008) Production of organic acids by solid-state fermentation. En Pandey, A. Soccol, C.R., Larroche C. *Current Developments in solid-state fermentation. Capítulo 10.* 205-229.
- Subash, N., Viji, J., Sasikumar, C., Meenakshisundaram, M. (2013) Isolation, media optimization and formulation of *Trichoderma harzianum* in agricultural soil. *J. Microbiol. Biotech. Res.* 3(1), 61-64.
- Takhur, S.A., Nemade, S.N. y Sharanappa, A. (2015) Solid-state fermentation of overheated soybean meal (waste) for production of protease using *Aspergillus oryzae*. *IJIRSET*, 4(1) 18456-18461
- Vastrad, B.M. y Neelagund, S.E. (2011) Optimization and Production of Neomycin from diferent agroindustrial wates in solid-state fermentation *IJPSDR* 3(2) 104-111.
- Zadrazil, F., y Puniya, A. K. (1995) Studies on the effect of particle size on solid-state fermentation of sugar cane bagasse into animal feed using White-rot fungi. *Biosource Biotechnology* 54, 85-87
- Zhang, B., Zhang, H. X., Qi, H.Y., Peng, X. W., Li, B.J. (2004) Pectinase production by *Aspergillus niger* using wastewater in solid state fermentation for eliciting plant disease resistance. *Bioresour. Technol.* 95(1) 49-52.

Producción biotecnológica de aditivos alimentarios

Biotechnology production of food additives

*Rodríguez Castillejos Guadalupe C.⁵²
Castillo Ruíz Octelina
Perales Torres Adriana L.

Resumen

⁵²Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán de la Universidad autónoma de Tamaulipas. *Contacto: grc_conny@hotmail.com

La sociedad demanda productos alimenticios de buena calidad y alto valor nutricional; esto sin perder la buena apariencia. Además de estas características, los alimentos deben tener un tiempo de vida amplio y durante dicho tiempo mantener todas sus propiedades. Esto se consigue actualmente utilizando aditivos alimentarios. Los aditivos pueden obtenerse por extracción a partir de plantas o microorganismos, por síntesis química y, muchos de ellos se producen utilizando microorganismos nativos o modificados genéticamente. A diferencia de los obtenidos por síntesis química, los aditivos producidos biotecnológicamente son seguros para la salud. Las fermentaciones industriales suelen ser procesos caros, sobre todo por el costo del medio de cultivo, ya que muchos microorganismos utilizados son exigentes en su crecimiento. Por ello, se están llevando a cabo estudios para evaluar el uso de materias primas agrícolas baratas o desechos agroindustriales como fuentes de carbono y nitrógeno para el crecimiento de estos microorganismos. Como resultado de estas fermentaciones se obtienen desechos con alto contenido proteico, que pueden ser utilizados en otras áreas. Esto hace que la producción biotecnológica sea un proceso más rentable y amigable con el medio ambiente. La disminución en los costos de producción de los aditivos permite su utilización en una gama más amplia de alimentos, que conlleva a mejorar la calidad y valor nutricional de los mismos. Entre los aditivos más usados, cuya producción se debe a procesos de fermentación, tenemos el ácido cítrico, ácido láctico, xilitol y transglutaminasa. Palabras clave: aditivos, alimentos, producción biotecnológica, fermentación

Abstract

Society demands food products of good quality and high nutritional value; this without losing the good looks. Besides these features, the food should have ample time during that time life and maintain all its properties. This is achieved currently used food additives. Additives can be obtained by extraction from plants or microorganisms, by chemical synthesis and currently, many of them are produced using native or genetically modified microorganisms. Unlike those obtained by chemical synthesis, additives produced biotechnologically are safe for health. Industrial fermentations often is expensive process, especially for the cost of the culture medium, as many microorganisms used are demanding in its growth. Therefore, they are conducting studies to evaluate the use of cheap

agricultural raw materials and agro-industrial waste as sources of carbon and nitrogen for the growth of these microorganisms. As a result of these fermentations waste with high protein content, is be used in other areas. This makes the biotechnological production is more cost-effective and friendly to the environment process. The decrease in production costs of the additive allows use in a wider range of food, leading to improving the quality and nutritional value thereof. Among the most commonly used additives, with production due to fermentation processes, we have the transglutaminase citric acid, lactic acid, and xylitol.

Introducción

El Codex Alimentarius define como aditivo “cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de producción, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características”. Actualmente los aditivos se utilizan para mejorar propiedades de color, textura y alargar el tiempo de vida útil de los alimentos. Sin embargo, también son útiles para obtener productos a partir de materias primas con alto valor nutritivo, pero que no se estiman adecuadas para consumo directo.

Contrario a su efecto benéfico sobre las propiedades de los alimentos, algunos aditivos han mostrado tener un efecto negativo sobre la salud; por ello se ha vuelto importante hacer cambios en la producción y obtención de los aditivos para asegurar su eficacia e inocuidad (Wilson & Bahna, 2005).

Clasificación de aditivos

Los aditivos pueden clasificarse de acuerdo a su origen o la función en el alimento. Por su origen pueden ser naturales, modificados, de síntesis o sintéticos. En cuanto a su uso, se clasifican en colorantes, conservadores, antioxidantes, reguladores de pH, agentes que actúan sobre la textura (estabilizantes, espesantes, gelificantes, emulsificantes), potenciadores de sabor, correctores de acidez y otros (Cubero et al., 2002; Gil, 2010).

La mayoría de los alimentos elaborados contiene aditivos, ya sea para cambiar o potenciar el color o sabor, mejorar la textura, evitar enranciamiento, prolongar su vida útil, etc. A gran parte de los aditivos se les ha asignado un número de serie controlado por la Comunidad Económica Europea (ECC), el cual va después de una letra E. Los aditivos entran en la siguientes categorías de acuerdo a la función en el alimento: antisépticos o conservadores, antioxidantes, colorantes, edulcorantes, acidulantes y reguladores del pH, potenciadores de sabor, modificadores de textura (emulgentes, espesantes, gelificantes, estabilizadores, y otros).

Los conservadores tienen la finalidad de evitar el crecimiento microbiano, son sustancias químicas que inhiben ciertas rutas metabólicas de

hongos y bacterias principalmente. Se añaden con la finalidad de alargar la vida útil de anaquel de los alimentos y bebidas (Cubero et al, 2002); además protegen del crecimiento de microorganismos patógenos que representan un riesgo para la salud del consumidor (Wilson & Bahna, 2005).

Los antioxidantes son sustancias que también prolongan la vida útil de los alimentos, pero evitando el deterioro causado por la oxidación de compuestos químicos, principalmente los ácidos grasos conocido como enranciamiento de grasas y aceites. Este proceso de oxidación puede provocar cambios de color, olor e incluso sabor en el alimento; además de la producción de compuestos que pudieran ser tóxicos (Wilson & Bahna, 2005; Gil, 2010).

Los colorantes son tintes o pigmentos que se añaden para hacerlos más atractivos a la vista del consumidor; en algunos ocasiones realzan el color natural de los alimentos y bebidas y en otros dan un color completamente diferente. Los colorantes permitidos son de origen natural o sintético. Los de origen natural son extraídos de plantas o insectos, o se induce a su producción en microorganismos (Wilson & Bahna, 2005; Cubero et al., 2002)

Los edulcorantes son también conocidos como dulcificantes son sustancias que se añaden para dar un sabor dulce a los alimentos o en edulcorantes de mesa. Se pueden dividir de acuerdo a su poder endulzante en dulcificantes intensos, donde se encuentran aquellos más dulces que la sacarosa y por lo tanto se utilizan en bajas cantidades; por otro lado están los dulcificantes por volumen, que tienen un dulzor similar a la sacarosa (Cubero et al., 2002).

Los acidulantes son sustancias que incrementan la acidez de un producto, le confieren sabor ácido, o ambos. También están los agentes de carga, los cuales incrementan el volumen de un producto sin contribuir significativamente a su valor energético. Los estabilizantes posibilitan el mantenimiento de un estado fisicoquímico de los alimentos; los emulgentes o emulsionantes son los encargados de mantener estables las mezclas agua-aceite o agua-grasa. Estos son algunos de los principales grupos de aditivos y su función en los alimentos (Wilson & Bahna, 2005; Cubero et al., 2002; Barros, 2009).

Efectos tóxicos de los aditivos

Los alimentos son una mezcla heterogénea de compuestos químicos. La mayoría de los alimentos que consumimos contienen compuestos químicos naturales, propios del alimento, y añadidos. La industria de los aditivos ha crecido aceleradamente debido a los consumidores exigentes (Hjalager & Corigliano, 2000; Troy & Kerry, 2010). Para efectos de legislación y regulación alimentaria, los aditivos no solo deben demostrar cubrir una necesidad tecnológica; además de esto, debe demostrarse su inocuidad (Metcalfé et al., 2011) Aunque tanto los aditivos sintéticos como los naturales han mostrado tener efectos tóxicos, esto es mayor en los de origen sintético. Por ejemplo dentro de los conservadores, los sulfitos se relacionan con asma, alergias y dermatitis (Pereira et al., 2005). En los últimos años se ha evaluado el efecto de péptidos producidos por bacterias probióticas, conocidos como bacteriocinas; los cuales tienen un efecto benéfico al eliminar bacterias patógenas y se ha evaluado su uso como conservadores de alimentos. Estas bacteriocinas al degradarse no producen compuestos tóxicos y tienen acción específica sobre ciertos microorganismos (Cotter et al., 2005).

Sasaki et al., (2002) determinaron la genotoxicidad de 39 aditivos alimentarios. Se dividieron en categorías de acuerdo a la función en el alimento (colorantes, fijadores de color y conservantes, conservantes, antioxidantes, fungicidas, y edulcorantes). El estudio se llevó a cabo en ratones machis ddY. De los colorantes evaluados los más tóxicos fueron el Amaranto, Rojo allura, Tartrazina, Eritrosina, Floxina y Rosa de bengala. Estos indujeron daño en el ADN de células estomacales, colón o vejiga. Además de estos, los antioxidantes BHA (hidroxianisol butilado) y BHT (hidroxitolueno butilado); tres conservadores con efecto fungicida (bifenilo, sodio, o-fenilfenol, y tiabendazol), y cuatro edulcorantes (ciclamato de sodio, sacarina, sacarina de sodio, y sucralosa) también indujeron daños en el ADN de células de órganos gastrointestinales.

Otros aditivos ampliamente utilizados son los nitratos y nitritos. Los nitritos se unen a la hemoglobina formando metahemoglobina, por lo que se deja de transportar oxígeno. Además los nitratos y nitritos inducen a la formación de nitrosaminas, compuestos con conocido efecto cancerígeno (Honikel, 2008).

Han surgido nuevos compuestos químicos en reemplazo a los aditivos con efecto tóxico comprobado. Aunado a esto la síntesis química de aditivos llega a la formación de subproductos que pudieran ser también tóxicos por lo que debe hacerse un proceso de purificación riguroso. Por ello, una de las alternativas a la producción química de aditivos, es la producción biotecnológica, utilizando microorganismos principalmente. La biotecnología es la ciencia que utiliza seres vivos o compuestos de los mismos en la producción de bienes o servicios, y es actualmente una herramienta útil en varios campos de la industria.

Producción biotecnológica de ácido cítrico

El ácido cítrico es uno de los conservadores más ampliamente utilizados, además del efecto acidulante y conservador (Cubero et al., 2002). Ha habido una creciente demanda por desarrollar alternativas a la síntesis química de éste y otros compuestos utilizados como aditivos alimentarios. En respuesta han surgido procesos de fermentación utilizando microorganismos a nivel industrial (Soccol et al., 2006). Diversos microorganismos han sido estudiados para la producción de ácido cítrico, dentro de estos se encuentran bacterias, como *Bacillus licheniformis* y *Corynebacterium* spp.; mohos como *Aspergillus niger*, *A. aculeatus*, *A. carbonarius*, *A. awamori*, *A. foetidus*, *A. fonsecaeus*, *A. phoenicis* y *Penicillium janthinellum*; y levaduras tales como *Candida tropicalis*, *C. oleophila*, *C. guilliermondii*, *C. citroformans*, *Hansenula anamola* y *Yarrowia lipolytica* (Andersen et al., 2011; Valerio et al., 2009) han sido empleados para la producción de ácido cítrico. Sin embargo, el moho *Aspergillus niger* ha sido el que ha dado mejores resultados en cuanto a productividad y rendimiento. La mejora de cepas productoras de ácido cítrico se ha llevado a cabo por mutagénesis y selección; la técnica más empleada ha sido mediante la inducción de mutaciones en las cepas parentales utilizando mutágenos (Andersen et al., 2011; Valerio et al., 2009). Además de esto se está innovando en los medios de cultivo; una de las nuevas puertas en la biotecnología es el uso de materias primas baratas como cultivos de bajo costo, que no pueden ser consumidos por humanos o animales debido a la presencia de compuestos tóxicos o bien desechos industriales, uno de ellos es el lactosuero. El lactosuero o suero de leche se ha convertido en el

principal producto de desecho de la industria láctea, a pesar de los continuos esfuerzos encaminados a encontrar una manera de usarlo. Diversos estudios han propuesto investigar la producción de ácido cítrico por fermentación sumergida utilizando mohos del género *Aspergillus* crecidos en un medio a base de lactosuero (Roth et al., 2009; Vandenberghe et al., 2000; El-Holi & Al-Delaimy, 2004). Esto tiene como ventajas la disminución del costo del medio de cultivo y reduce el impacto ambiental causado por la descarga de este subproducto en las fuentes de agua cercanos. La cepa de *Aspergillus niger* NRRL 3 ha mostrado ser la mejor productora de ácido cítrico en los medios de cultivo examinados, se alcanza una mayor concentración de ácido cítrico cuando el suero lleva un proceso de evaporación, desproteinizado e hidrolizado con lactosa β -galactosidasa. Sin embargo, aún se estudian más cepas productoras del mismo género de mohos (Roth et al., 2009).

Producción de transglutaminasa microbiana

Las transglutaminasas (TGAsas; EC 2.3.2.13) son una familia de enzimas clasificadas en el grupo dos; están presentes en la mayoría de tejidos y fluidos extracelulares de los vertebrados (Wilhelm et al., 1996); fueron identificadas por Clarke et al., (1959) como enzimas presentes en el hígado de cobayo que eran capaces de incorporar aminos dentro de las proteínas y están ampliamente distribuidas en la naturaleza. Las TGAsas catalizan una reacción de acil transferencia; los grupos γ -carboxamida de un péptido con residuos de glutamina son los donadores del grupo acilo y los residuos de lisina funcionan como aceptores. Esto da como resultado la formación de un enlace cruzado entre glutamina y lisina (ϵ - γ -glutamina). Las TGAsas también catalizan reacciones de desamidación e incorporación de aminos (Özrenk, 2006). A principios de 1980 se llevaron a cabo los primeros estudios para modificar el comportamiento de proteínas de la leche y soya utilizando transglutaminasa extraída de hígado de cobayo y de plasma bovino (Ikura et al., 1980). Los enlaces cruzados formados con esta enzima mejoraban algunas propiedades funcionales de las proteínas como la solubilidad, capacidad emulsionante y gelificación; pero el costo y la poca disponibilidad de enzimas limitaban el uso en la industria alimentaria (Motoki & Seguro, 1998). Durante varios años la única fuente de enzima comercial fue la de hígado de cobayo; hasta que se logró el aislamiento y purificación de una enzima secretada por *Streptomyces mobarensis* (Washizu et al., 1994; a esta enzima se le denominó transglutaminasa microbiana (mTGasa). La producción de mTGasa es un proceso caro por los componentes del medio de fermentación principalmente (Téllez-Luis et al., 2004; Rodríguez-Castillejos et al., 2014); diversos grupos han hecho estudios por encontrar la reducción de costos en el medio de crecimiento de la bacteria. Se han estudiado medios de cultivo utilizando fuentes de carbono baratas tales como melaza de caña de azúcar, paja de sorgo, papá, sorgo y maíz (Téllez-Luis et al., 2004; Portilla-Rivera et al., 2009). Portilla-Rivera et al., (2009) utilizaron melaza de caña de azúcar como fuente de carbono para el crecimiento de *S. ladakanum*; siendo la melaza un subproducto de la industria azucarera es una materia prima barata. La melaza contiene altas concentraciones de monosacáridos y disacáridos que no cristalizan durante el proceso de producción de azúcar comercial. También

se ha estudiado el uso de xilosa obtenida de hidrólisis ácida de paja de sorgo (Téllez-Luis et al., 2004), siendo la paja de sorgo un desecho agrícola resulta más económica la producción de la enzima; en este estudio se concluyó que la xilosa de paja de sorgo también es una alternativa para la producción de la enzima; sin embargo se busca aumentar la productividad. En este mismo sentido Rodríguez-Castillejos et al., (2014) evaluaron medios de cultivo a base de hidrolizados enzimáticos de sorgo rojo; el sorgo rojo tiene una composición similar al maíz; sin embargo, no puede ser consumido por el humano y algunos animales debido a la presencia de taninos, los cuales tienen un efecto tóxico. Por ello, el uso de esta materia prima le da un valor agregado y disminuye los costos de producción. Los resultados mostraron una mayor actividad enzimática comparada con los medios de melaza y paja de sorgo.

Producción biotecnológica de xilitol

El xilitol es un alcohol pentahidroxilado de gran importancia comercial; es utilizado como edulcorante pero además posee propiedades físico-químicas que permiten su utilización en la industria farmacéutica, cosmética y dental (Rubio et al., 2012). Al igual que el ácido cítrico y la transglutaminasa, se ha evaluado la producción utilizando diferentes materias primas tales como la cascarilla de arroz. Villalba-Cadavid et al., (2009) emplearon cascarilla de arroz como materia prima para la obtención de xilitol, previa hidrólisis durante 60 minutos con ácido sulfúrico al 4% p/v; a 121° C y 15 psig; utilizaron la levadura *Candida guilliermondii* para la transformación de xilosa en xilitol. Se estudió el efecto de las variables concentración inicial de xilosa, concentración de inóculo y relación volumen del medio/volumen del matraz, así como sus efectos combinados, sobre la producción de xilitol. Martínez et al., (2002) evaluaron la producción por *Candida guilliermondii* FTI 20037 en medios a base de hidrolizados hemicelulósicos de bagazo de caña de azúcar, eucalipto, paja de arroz y paja de trigo. Encontraron que todas las materias primas utilizadas en este trabajo fueron capaces de ser bioconvertidas en xilitol; los mejores resultados se encontraron con hidrolizados de bagazo de caña de azúcar y fueron disminuyendo en los hidrolizados de eucalipto, paja de arroz y trigo.

Conclusiones

Dado que los aditivos alimentarios son ampliamente utilizados y mejoran las propiedades físicas y químicas de los alimentos, es importante evaluar su potencial toxicidad y la producción por vías biotecnológicas utilizando materias primas baratas y nuevos microorganismos. Esto último permite dar un valor agregado a toda la cadena alimenticia, comercializar cultivos que no son apropiados para consumo humano y que puedan generar ganancias a los sectores más pobres del país. Además se deben procurar alternativas de tratamiento con la finalidad de obtener la mayor concentración de azúcares fermentecibles que puedan ser aprovechados en los medios de cultivo como fuente de carbono.

Bibliografía

- Andersen, M. R., Salazar, M. P., Schaap, P. J., van de Vondervoort, P. J., Culley, D., Thykaer, J. & Baker, S. E. (2011). Comparative genomics of citric-acid-producing *Aspergillus niger* ATCC 1015 versus enzyme-producing CBS 513.88. *Genome Research*, 21 (6), 885-897.
- Barros, C. (2009). *Los aditivos en la alimentación de los españoles y la legislación que regula su autorización y uso*. Editorial Visión Libros.
- Clarke, D. D., Mycek, M. J., Neidle, A., & Waelsch, H. (1959). The incorporation of amines into protein. *Archives of biochemistry and biophysics*, 79, 338-354.
- Codex Alimentario. Disponible en www.codexalimentarius.org. Consultado el 20 de Mayo del 2015.
- Cotter, P. D., Hill, C., & Ross, R. P. (2005). Bacteriocins: developing innate immunity for food. *Nature Reviews Microbiology*, 3 (10), 777-788.
- Cubero, N., Villalta, J., & Monferrer, A. (2002). *Aditivos alimentarios*. Mundi Prensa Libros SA.
- El-Holi, M. A., & Al-Delaimy, S. (2004). Citric acid production from whey with sugars and additives by *Aspergillus niger*. *African Journal of Biotechnology*, 2 (10), 356-359.
- Gil (2010). Tratado de Nutrición. Tomo II: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Madrid, España: Médica Panamericana
- Hjalager, A. M., & Corigliano, M. A. (2000). Food for tourists--determinants of an image. *The International Journal of Tourism Research*, 2 (4), 281.
- Honikel, K. O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat science*, 78(1), 68-76.
- Ikura, K., Kometani, T., Yoshikawa, M., Sasaki, R., & Chiba, H. (1980). Crosslinking of casein components by transglutaminase. *Agricultural and Biological Chemistry*, 44 (7), 1567-1573.
- Martínez, E. A., Villarreal, M. L. M., Almeida e Silva, J. B., Solenzal, A. I. N., Canilha, L., & Mussatto, S. I. (2002). Uso de diferentes materias primas para la producción biotecnológica de xilitol. *CYTA-Journal of Food*, 3 (5), 295-301.
- Metcalfe, D. D., Sampson, H. A., & Simon, R. A. (Eds.). (2011). *Food allergy: adverse reactions to foods and food additives*. John Wiley & Sons.
- Motoki, M., & Seguro, K. (1998). Transglutaminase and its use for food processing. *Trends in food science & technology*, 9 (5), 204-210.
- Özrenk, E. (2006). The use of transglutaminase in dairy products. *International Journal of Dairy Technology*, 59 (1), 1-7.
- Pereira, B., Venter, C., Grundy, J., Clayton, C. B., Arshad, S. H., & Dean, T. (2005). Prevalence of sensitization to food allergens, reported adverse reaction to foods, food avoidance, and food hypersensitivity among teenagers. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 116 (4), 884-892.
- Portilla-Rivera, O. M., Téllez-Luis, S. J., Ramírez de León, J. A., & Vázquez, M. (2009). Production of microbial transglutaminase on media made from sugar cane molasses and glycerol. *Food Technology and Biotechnology*, 47 (1), 19-26.

- Rodríguez-Castillejos, G. C., Tellez-Luis, S. J., Vázquez, M., Lois-Correa, J. A., & Ramírez, J. A. (2014). Evaluation of sorghum grain hydrolysates and dried distillers grains with solubles for the production of microbial transglutaminase. *CyTA-Journal of Food*, 12 (2), 115-120.
- Roth, R., Moodley, V., & van Zyl, P. (2009). Heterologous expression and optimized production of an *Aspergillus aculeatus* endo-1, 4- β -mannanase in *Yarrowia lipolytica*. *Molecular biotechnology*, 43 (2), 112-120.
- Rubio, C., Latina, C., & Navarro, A. (2012). Fermentation of corncob hydrolysate for xylitol production. *BioTecnología*, 16 (3), 48-63.
- Sasaki, Y. F., Kawaguchi, S., Kamaya, A., Ohshita, M., Kabasawa, K., Iwama, K.,... & Tsuda, S. (2002). The comet assay with 8 mouse organs: results with 39 currently used food additives. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 519 (1), 103-119.
- Soccol, C. R., Vandenberghe, L. P., Rodrigues, C., & Pandey, A. (2006). New perspectives for citric acid production and application. *Food Technology and Biotechnology*, 44 (2), 141.
- Téllez-Luis, S. J., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2004). Production of transglutaminase by *Streptoverticillium ladakanum* NRRL-3191 using glycerol as carbon source. *Food Technology and Biotechnology*, 42 (2), 75-81.
- Troy, D. J., & Kerry, J. P. (2010). Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat science*, 86 (1), 214-226.
- Valerio, F., Favilla, M., De Bellis, P., Sisto, A., de Candia, S., & Lavermicocca, P. (2009). Antifungal activity of strains of lactic acid bacteria isolated from a semolina ecosystem against *Penicillium roqueforti*, *Aspergillus niger* and *Endomyces fibuliger* contaminating bakery products. *Systematic and applied microbiology*, 32 (6), 438-448.
- Villalba Cadavid, M., Vélez Uribe, T., Arias Zabala, M., & Arrázola Paternina, G. (2009). Xylitol production from rice husk using *Candida guilliermondii*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 62 (1), 4897-4905.
- Washizu, K., Ando, K., Koikeda, S., Hirose, S., Matsuura, A., Takagi, H., ... & Takeuchi, K. (1994). Molecular cloning of the gene for microbial transglutaminase from *Streptoverticillium* and its expression in *Streptomyces lividans*. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 58 (1), 82-87.
- Wilhelm, B., Meinhardt, A., & Seitz, J. (1996). Transglutaminases: purification and activity assays. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 684 (1), 163-177.
- Wilson, B. G., & Bahna, S. L. (2005). Adverse reactions to food additives. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 95 (6), 499-507.

Aprovechamiento del bagazo de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L.Moench) para la obtención de productos de interés industrial

Use of Sorghum Bagasse (*Sorghum bicolor* L.Moench) for Obtaining Products of Industrial Interest

María Guadalupe Aguilar-Uscanga⁵³

Benigno Ortiz-Muñiz

Javier Gómez-Rodríguez

Noé Montes-García⁵⁴

Resumen

⁵³*Instituto Tecnológico de Veracruz*

⁵⁴*INIFAP Río Bravo*

El bagazo de sorgo dulce es un material rico en celulosa, hemicelulosa y lignina, el cual puede ser empleado como forraje animal, sin embargo, si es sometido a diferentes pre-tratamientos como físicos, químicos y biológicos es posible generar productos de alto valor agregado como alcoholes (etanol), ácidos orgánicos (ácido acético), polioles (xilitol), compuestos aromáticos (vainillina) y enzimas (celulasas) entre otros. Además el residuo sólido que queda después de estos tratamientos puede ser compactado para la obtención de pellets y briquetas, contribuyendo a la generación de energía térmica y eléctrica. La obtención de productos de interés a partir del bagazo de sorgo dulce representa una opción tecnológica y económicamente viable.

Abstract

Bagasse from sweet sorghum is a material rich in cellulose, hemicellulose and lignin, it can be used as animal feed, however, if it is subjected to different pre-treatments such as physical, chemical and biological is possible to generate products with high added value as alcohols (ethanol), organic acids (acetic acid), polyols (xylitol), aromatic compounds (vanillin) and enzymes (cellulases) among others. Besides the solid residue remaining after these treatments may be compacted to obtain pellets and briquettes, contributing to the generation of heat and electricity. Obtaining products of interest from sweet sorghum bagasse represents a technological and economically viable option

Introducción

México ocupa el segundo lugar en producción de sorgo en el mundo, produciendo 7.3 millones de toneladas métricas durante la cosecha 2014/2015 (Producción Mundial de Sorgo, 2015). En la actualidad, la mayoría de las aplicaciones han sido para la obtención forraje animal (para alimentos de pollos y ganado). El sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L. Moench) tiene un alto contenido de jugo, almidón y bagazo lo que lo hace un cultivo con grandes oportunidades para muchos usos

y aplicaciones. El 35% del peso fresco del sorgo dulce es bagazo, por lo que el aprovechamiento de esta biomasa resulta de interés.

Composición del bagazo de sorgo dulce

El bagazo de sorgo es el residuo que se obtiene después de extraer el jugo azucarado. Su composición es variable dependiente de la variedad, condiciones de cultivos y algunos otros factores agrícolas, sin embargo, se han reportado valores tales como: celulosa, hemicelulosa y lignina, de 34–44%, 25–27% y 18–20%, respectivamente (Kim & Day, 2011). A pesar que la composición del bagazo de sorgo es muy similar al bagazo de caña de azúcar, la estructura de las fibras puede ser diferente, por lo que los tratamientos aplicados al bagazo de caña no son aplicables al bagazo de sorgo y deben ser evaluados.

La celulosa constituye principalmente el bagazo de sorgo, aporta la funcionalidad de dar soporte estructural. La celulosa homopolimérica es un biopolímero de D-glucosa unidas mediante enlaces β -1,4 lo que le confiere una estructura lineal y larga. En estructuras vegetales se presentan biopolímeros entre 10 000 y 15 000 unidades. Las cadenas de celulosa se agrupan formando microfibrillas, que a su vez se vuelven a agrupar formando las fibras. Lo anterior, le confiere su estructura rígida relacionada en parte, a la presencia de enlaces covalentes, puentes de hidrógeno y fuerzas de van der Waals (Agbor, Cicek, Sparling, Berlin, & Levin, 2011).

La hemicelulosa es un heteropolímero, siendo el segundo más abundante en el bagazo de sorgo dulce. Su estructura es ramificada presentando grados de polimerización menores a la celulosa. La hemicelulosa está formada principalmente por azúcares de cinco carbonos (como la xilosa y la arabinosa), de seis carbonos (manosa, glucosa, galactosa) y encontrándose algunos azúcares acetilados. A pesar que los principales constituyentes de la hemicelulosa son azúcares, siendo la xilosa el monosacárido más abundante en ella, en menores cantidades es posible encontrar sus otros constituyentes como el ácido glucorónico, ácido acético, ácido ferúlico y ácido p-cumárico.

La lignina es un polímero amorfo y está formada por unidades de fenilpropano, siendo sus precursores compuestos aromáticos, como el ácido p-cumárico, coniferílico y sinapílico, por lo que sus derivados alcohol son los p-hidroxifenil, guaiacil y siringil, respectivamente. La lignina se une a la hemicelulosa a través de enlaces éster de ácido ferúlico. En las gramíneas está reconocido que los enlaces tipo álcali-lábil (que involucran la arabinosa) predominan sobre los enlaces álcali-estables (uniones bencil-eter y fenil glucosídicos) por lo que se reconoce que alrededor del 50% de los compuestos fenólicos pueden ser eliminados mediante la aplicación de un tratamiento alcalino a temperatura ambiente (Anvar & Mazza, 2008).

El bagazo de sorgo representa una fuente importante para la obtención de diferentes compuestos de los compuestos que lo constituyen, entre los que destacan de manera general los azúcares (principalmente glucosa y xilosa) y una gran variedad de compuestos aromáticos.

Se vuelve necesario aplicar diferentes tratamientos que permitan la degradación de sus principales constituyentes las unidades que lo forman para lograr el aprovechamiento de este material.

Tratamientos aplicables al bagazo de sorgo

Para que un tratamiento aplicado sea efectivo y de bajo costo, es necesario considerar algunos aspectos: a) se debe lograr una alta digestibilidad del sólido tratado; b) se debe minimizar la producción de compuestos tóxicos, tales como los compuestos fenólicos, el ácido acético, furfural, 5-hidroximetil-furfural, generalmente se realiza un proceso de detoxificación empleando CaO y/o carbón activado; c) no se debe reducir el tamaño de partícula innecesariamente, puesto que la reducción de tamaño es un proceso que consume una gran cantidad de energía y aumenta los costos del proceso; d) se debe contar con una estrategia de recuperación de la lignina, puesto que los compuestos fenólicos pueden ser convertidos a productos de interés comercial; y, e) se debe minimizar el consumo de calor y energía para disminuir los costos del proceso (Alvira, Pejón, Ballesteros, & Negro, 2010).

Los tratamientos que se pueden aplicar al bagazo de sorgo se pueden clasificar en físicos, físico-químicos, químicos y biológicos (ver Figura 1). Dentro de los tratamientos físicos se encuentra el tamizado y la molienda y la finalidad de éstos es aumentar la superficie específica y el tamaño de los poros en la estructura del bagazo de sorgo.

Los tratamientos fisicoquímicos se subdividen en hidrotermales, como el uso de agua líquida caliente (LHW, por sus siglas en inglés) y en la explosión de vapor; y aquellos que ocupan químicos, como la expansión de fibra por amonio (AFEX). Este tipo de tratamientos aumentan la superficie específica y el tamaño de poros; y permite la degradación parcial de la hemicelulosa y por tanto modificar la lignina, eliminando una parte de ella.

Los tratamientos de agua líquida caliente (LHW) consisten en poner en contacto agua líquida a una temperatura mayor a 100°C por un tiempo determinado, este proceso presenta la desventaja de que la infraestructura necesaria para realizarlo es costosa. El tratamiento LHW ha sido empleado en bagazo de sorgo, estudiando la cinética de degradación de la hemicelulosa en bagazo de sorgo dulce con LHW encontrando que a una temperatura de 184°C en 8-10 min fue posible recuperar el 90% de la xilosa (Yu, Zhuang, Wang, Qi, Tan, & Yuan, 2012). Además evaluaron este proceso en un reactor en continuo, encontrando que el proceso en continuo favorece el proceso de degradación debido a que los productos no son acumulados en el medio.

Los tratamientos de explosión de vapor consisten en elevar la presión del reactor que contiene el material lignocelulósico seguido de una descompresión rápida. Se ha reportado que empleando explosión de vapor con este método una extracción del 89 al 92% de celulosa, logrando un licor con glucosa, xilosa y arabinosa de 18, 23 y 5.5 gL⁻¹, respectivamente (Sipos, Réczey, Somorai, Kádár, Dienes, & Réczey, 2009).

La expansión de fibra por amonio (AFEX) es una tecnología importante que emplea una alta temperatura y presión, así como el empleo de amonio para lograr un tratamiento efectivo. Además de incrementar la superficie disponible para una posterior hidrólisis, esta tecnología promueve la de-cristalización de la celulosa y la degradación de la hemicelulosa, además de que reduce la lignina. Presenta la ventaja que el amonio empleado puede ser recuperado, el que no se logra recuperar, aporta nitrógeno para el crecimiento microbiano, por

lo que no es necesario realizar un lavado del residuo sólido para su posterior aprovechamiento (Balan, Bals, Chundawat, Marshall, & Dale, 2009).

Los tratamientos químicos se dividen en ácidos (diluidos y concentrados), alcalinos (ejemplo, con hidróxido de sodio), con agentes oxidantes (como el peróxido de hidrógeno y la ozonólisis) y con solventes (Organsolv y líquidos iónicos). De forma general se reconoce que estos tratamientos aumentan la porosidad y la superficie interna, disminuyendo el grado de polimerización y la cristalinidad, degradando la hemicelulosa y la remoción de la lignina.

Los tratamientos ácidos (diluidos o concentrados) se basan en la adición de una solución ácida al material lignocelulósico previamente molido. Los ácidos generalmente utilizados son: sulfúrico, clorhídrico, fosfórico y acético (Herrera, Téllez-Luis, Ramírez, & Vázquez, 2003). Una vez empapado todo el material con esta solución es sometido a un proceso térmico, con incremento de presión. Al finalizar el proceso la fracción líquida, rica en xilosa; y una fracción sólida, rica en celulosa y lignina; Generalmente, a esta fracción se le neutraliza el pH para realizar una segunda etapa, como una hidrólisis enzimática de la celulosa. Se ha reportado que empleando bagazo de sorgo y 80 gL^{-1} de ácido fosfórico 120° C , 80 min obteniendo 302 g kg^{-1} (azúcares reductores por kg de bagazo de sorgo) (Ban, Yu, Zhang, & Tan, 2008). Otro reporte indica que la hidrólisis del bagazo de sorgo dulce empleando ácido acético hidrolizaron entre el 80 y el 90% de la hemicelulosa presente, alcanzando hasta 55 gL^{-1} de azúcares totales (Yu, Zhang, Zhong, Zhang, & Tan, 2012).

El tratamiento alcalino más empleado es con hidróxido de sodio y tiene la finalidad de incrementar el área superficial debido al hinchamiento y a la disolución de la lignina. Sin embargo, tiene como desventaja que requiere la utilización de equipo resistente a la corrosión.

Los tratamientos con agentes oxidantes generalmente son combinaciones de un tratamiento alcalino-oxidante, como el caso del empleo de hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno, este proceso se da a temperaturas mayores a 100° C , donde los aniones hidroperóxido reaccionan con la lignina. En la ozonólisis, se producen una gran cantidad de radicales libres que permiten la degradación principalmente de la lignina, aunque también degrada la celulosa.

Otro de los tratamientos químicos más comunes emplean solventes, como el proceso Organsolv, donde se emplean temperaturas mayores a 150° C con solventes tales como: metanol, etanol, etilenglicol, con la finalidad de solubilizar la lignina y recuperarla con una alta pureza. Además se pueden adicionar catalizadores como el ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, oxálico y salicílico. Este proceso permite una alta degradación de la lignina, hasta un 70% y una baja degradación de la celulosa (2%). La principal limitante de este proceso son los costos inherentes al uso de los solventes y su recuperación. Una metodología de reciente desarrollo es el empleo de Líquidos Iónicos (LI) como solventes para el tratamiento de biomasa celulósica. Esta metodología tiene la ventaja que es posible disolver los carbohidratos y la lignina simultáneamente debido a la actividad aniónica por la formación de puentes de hidrógeno entre los iones no hidratados de los LI y los protones hidroxilo de los azúcares. Actualmente, sólo ha sido empleado en sistemas modelo (celulosa pura y cristalina) y sistemas modelo y en rastrojo de trigo, por lo que se debe continuar el estudio de esta

metodología con la finalidad de disminuir los costos inherentes al mismo debido a las sales empleadas, tales como el 1 butil, 3 metil imidazol o el 1 etil, 3 metil imidazol (Nochebuena, 2013).

Los tratamientos biológicos se pueden dividir en tratamientos empleando enzimas (celulasas, xilanasas y betaglucosidasas generalmente) y en aquellos donde la degradación del residuos lignocelulósico se lleva a cabo por acción de un microorganismo con actividad enzimática. En muchos casos se emplean tratamientos combinados, ya sea, un tratamiento físico, químico o físico-químico seguido de uno biológico con la finalidad de facilitar el desdoblamiento de la celulosa y/o hemicelulosa presente en el material lignocelulósico. La celulosa es hidrolizada mediante una acción conjunta de exo y endoglucanasas y generalmente se emplean cocteles enzimáticos que presentan un efecto sinérgico. Para los tratamientos biológicos se han empleado diferentes microorganismos tales como: *Trichoderma reesei*, *Neurospora crassa* y *Fusarium oxysporum*.

La combinación del tratamiento LHW, seguido de una hidrólisis enzimática en bagazo de sorgo dulce incrementa en un 15% la hidrólisis enzimática de la celulosa comparada con los resultados de cuando no se realizó el pretratamiento con LHW (Dogaris, Karapati, Mamma, Kalogeris, & Kekos, 2009). Con esta estrategia ha sido posible alcanzar concentraciones de celobiosa, glucosa y xilosa de 15, 89 y 9.8 gL⁻¹, respectivamente (Wang, y otros, 2010).

Productos a partir del bagazo de sorgo

La integración de procesos para la conversión del bagazo de sorgo para la producción de biocombustibles (como el bioetanol), energía y una gran variedad biomoléculas de interés entre los que se encuentran polioles (xilitol), ácidos orgánicos (acético, láctico, málico), enzimas (hidrolasas), alcoholes (etanol, butanol, butanodiol), por mencionar algunas (Figura 2).

Se han realizado diferentes trabajos para la producción de etanol con los hidrolizados de sorgo dulce, donde ha empleado a *K. marxianus* alcanzando 16.2 gL⁻¹ de etanol (Ballesteros, M, Negro, Manzanares, & Ballesteros, 2003). Posteriormente, se empleó *P. stipitis* alcanzando una producción de etanol de 38.7 gL⁻¹ (Kurian, Minu, Banerji, & Kishore, 2010). En un sistema por lote de sacarificación y fermentación simultánea con *S. cerevisiae* alcanzaron una producción de etanol 44.5 gL⁻¹ (Yu, Zhong, & Zhang, 2010). Empleando un método combinado de AFEX con hidrólisis por celulasas y xilanasas, seguida de una fermentación con *S. cerevisiae*, logrando alcanzar 42.3 gL⁻¹ de etanol (Li, Balan, Yuan, & Dale, 2010). El uso de bagazo de sorgo dulce pretratado con vapor y posterior sacarificación ha permitido producir hasta 22.3 gL⁻¹ de etanol (Liang, Tang, Siddaramu, Choudhary, & Umagiliyage, 2012). Finalmente, también ha sido evaluada la SHF y la SSF alcanzando una producción de etanol de 23.3 y 21.2 gL⁻¹, respectivamente (Shen, Hu, Zhong, Liu, Saddler, & Liu, 2012).

El bagazo de sorgo natural o pre-tratado puede ser densificado para formar pellets o briquetas que sean alimentados a calderas de biomasa que no producen humos como las antiguas chimeneas de leña, y sus emisiones son comparables a los sistemas modernos de gasóleo C y gas.

La densificación es un proceso que consiste en la compactación de la biomasa mediante la aplicación de presión constante para obtener productos

combustibles densificados con un alto poder calorífico, y homogéneos en propiedades y dimensiones. El bagazo de sorgo puede ser utilizado para la elaboración de elementos densificados como pellets y briquetas. Los pellets son elementos de forma cilíndrica, con un máximo de 10 mm de diámetro y longitudes entre 20 y 40 mm y, con un 10% de humedad. Las briquetas pueden ser de formas muy variadas, siendo la más común la cilíndrica con diámetros entre los 2 y 20 cm y longitudes entre los 15 y 50 cm. La humedad de la briqueta depende del proceso de producción y envasado de ésta, usualmente la materia prima utilizada tiene una humedad menor del 12% base húmeda y a la salida de la prensa la humedad de la briqueta resulta ser de un 8 a 10% (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2007).

Las ventajas de estos productos densificados son un mayor poder calorífico, mejor combustión y eficiencia, bajo costo de materia prima (usando residuos), factibilidad de almacenamiento (necesita menos espacio), y durante su uso prácticamente no se genera residuos, ya que no requiere de aditivos u otro tipo de sustancias; además pueden ser bombeados al silo y por tanto permiten la automatización de la caldera.

Los hidrolizados ácidos de bagazo de sorgo han se han empleado para la producción de xilitol, un edulcorante natural apto para diabéticos, mediante fermentación con *Candida tropicalis* ITV IEC 5, tanto en cultivo por lote, como en lote alimentado obteniendo rendimientos de 0.12 y 0.55 gg⁻¹ y productividades de 0.04 y 0.91 gL⁻¹h⁻¹, respectivamente (Infanzón-Rodríguez, 2015).

Los hidrolizados enzimáticos de bagazo de sorgo dulce en la producción de lípidos por *Cryptococcus curvatus* encontrando rendimientos de hasta 0.11 gg⁻¹ (g de lípidos por g de bagazo) (Liang, Tang, Siddaramu, Choudhary, & Umagiliyage, 2012).

Los hidrolizados de bagazo de sorgo dulce también han sido empleados para la producción de hidrógeno, previo tratamiento alcalino con NaOH, seguido de una hidrólisis enzimática, para finalmente realizar una fermentación con la bacteria termófila *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* alcanzando un rendimiento de hidrógeno de 2.6 mol (mol azúcares C6)⁻¹ y una productividad máxima de 10.6 mmolL⁻¹h⁻¹ (Panagiotopoulos, Bakker, de Vrije, Koukios, & Claassen, 2010).

Los residuos sólidos y los hidrolizados celulósicos y/o lignocelulósicos pueden emplearse para la producción de enzimas de interés, en estado sólido y líquido, respectivamente. La fermentación en estado sólido de estos residuos representa una opción altamente viable para la producción de una gran variedad de enzimas de interés biotecnológico como el celulasas, xilanasas, tanasas y otras.

Los compuestos aromáticos producidos de la degradación de la lignina pueden ser empleados para diferentes aplicaciones biotecnológicas, entre las que se encuentran el uso del ácido gálico presente en pequeñas cantidades en los hidrolizados alcalinos es un inductor de la síntesis de la tanin-acil-hidrolasa (EC 3.1.1-20) o comúnmente conocida como tanasa, que es una enzima ampliamente usada en diferentes industrias: alimentos, bebidas, farmacéutica y química. Esta enzima cataliza la reacción de hidrólisis de los enlaces éster presentes en los taninos hidrolizables y en esteres de ácido gálico. La producción industrial de tanasa se realiza a partir de vía microbiana en cultivo sumergido y en estado sólido. Otros compuestos fenólicos de interés presentes en los licores alcalinos,

producto de los tratamientos aplicados al bagazo, son el ácido ferúlico, el ácido cumárico y el ácido siríngico (Max, Salgado, Cortes, & Domínguez, 2010) que tienen aplicaciones para la biotransformación en compuestos de aroma de importancia alimentaria como la vainillina empleando una gran variedad de microorganismos (Salgado, Rodríguez, Cortés, & Domínguez, 2009).

Conclusiones

El bagazo de sorgo dulce tiene una amplia gama de usos debida a las moléculas que forman los biopolímeros presentes en su estructura. Para ello es necesario realizar pretratamientos tanto físicos, químicos y/o biológicos con el fin de hacer disponibles estas moléculas y transformarlas. Las posibilidades para realizar la explotación del bagazo de sorgo son muy amplias, resultando en una diversificación que permite generar productos de interés comercial como alcoholes, ácidos orgánicos, polioles y enzimas, aunado a la generación de energía, contribuyendo al desarrollo sustentable.

Bibliografía

- Agbor, V. B., Cicek, N., Sparling, R., Berlin, A., & Levin, D. B. (2011). Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. *Biotechnology Advances* (29), 675-685.
- Alvira, P., Pejó, T. E., Ballesteros, M., & Negro, M. J. (2010). Pretreatment technologies for an efficient ethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Bioresource Technology* (101), 4851-4861.
- Anvar, U., & Mazza, G. (2008). Lignin Straw of herbaceous crops. *Industrial Crops and Products* (28), 237-259.
- Balan, V., Bals, B., Chundawat, S. P., Marshall, D., & Dale, B. E. (2009). Lignocellulosic biomass pretreatment using AFEX. *Methods in Molecular Biology* (581), 61-77.
- Ballesteros, M., M, O. J., Negro, M. J., Manzanares, P., & Ballesteros, I. (2003). Ethanol from lignocellulosic materials by a simultaneous saccharification and fermentation process (SFS) with *Kluyveromyces marxianus* CECT 10875. *Process Biochemistry*, 39(12), 1843-1848.
- Ban, J., Yu, J., Zhang, X., & Tan, T. (2008). Ethanol production from sweet sorghum residual. *Frontiers of Chemical Engineering in China* (2), 452-455.
- Dogaris, I., Karapati, S., Mamma, D., Kalogeris, E., & Kekos, D. (2009). Hydrothermal processing and enzymatic hydrolysis of sorghum bagasse for fermentable carbohydrates production. *Bioresource Technology*, 100 (24), 6543-6549.
- Herrera, A., Téllez-Luis, S. J., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2003). Production of xylose from sorghum straw using hydrochloric acid. *Journal of Cereal Science* (37), 267-274.
- Infanzón-Rodríguez, M. I. (2015). Producción de xilitol en cultivo por lote alimentado a partir de *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica*. Veracruz, Ver., México: Instituto Tecnológico de Veracruz.

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (2007). *Energía de la Biomasa 2*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.
- Kim, M., & Day, D. (2011). Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 38 (7), 803-807.
- Kurian, J. K., Minu, A. K., Banerji, A., & Kishore, V. V. (2010). Bioconversion of hemicellulose hydrolysate of sweet sorghum bagasse to ethanol by using *Pichia stipitis* NCIM 3497 and *Debaryomyces hansenii* sp. *Bioresources*, 5 (4), 2404-2416.
- Li, B. Z., Balan, V., Yuan, Y. J., & Dale, B. E. (2010). Process optimization to convert forage and sweet sorghum bagasse to ethanol based on ammonia fiber expansion (AFEX) pretreatment. *Bioresource Technology*, 101 (4), 1285-1292.
- Liang, Y., Tang, T., Siddaramu, T., Choudhary, R., & Umagiliyage, A. L. (2012). Lipid production from sweet sorghum bagasse through yeast fermentation. *Renewable Energy* (40), 130-136.
- Max, B., Salgado, J. M., Cortes, S., & Domínguez, J. M. (2010). Extraction of phenolic acids by alkaline hydrolysis from the solid residue obtained after prehydrolysis of trimming vine shoots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (58), 1909-1917.
- Nochebuena, L. E. (2013). Estudio del efecto del tratamiento oxidativo y del tween 80 sobre la hidrólisis enzimática del bagazo de caña de azúcar. *Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química*. Orizaba, Veracruz, México: Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Panagiotopoulos, I. A., Bakker, R. R., de Vrije, T., Koukios, E. G., & Claassen, P. A. (2010). Pretreatment of sweet sorghum bagasse for hydrogen production by *Caldicellulosiruptor saccharolyticus*. *Int. J. Hydrogen Energy*, 35 (15), 7738-7747.
- Producción Mundial de Sorgo. (2015). Retrieved Mayo 13, 2015, from <https://www.produccionmundialsorgo.com/>
- Salgado, J. M., Rodríguez, N., Cortés, S., & Domínguez, J. M. (2009). Development of cost-effective media to increase the economic potential for larger-scale bioproduction of natural food additives by *Lactobacillus rhamnosus*, *Debaryomyces hansenii* and *Aspergillus niger*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (57), 10414-10428.
- Shen, F., Hu, J., Zhong, Y., Liu, M. L., Saddler, J. N., & Liu, R. (2012). Ethanol production from steam-pretreated sweet sorghum bagasse with high substrate consistency enzymatic hydrolysis. *Biomass and Bioenergy* (41), 157-164.
- Sipos, B., Réczey, J., Somorai, Z., Kádár, Z., Dienes, D., & Réczey, K. (2009). Sweet sorghum as feedstock for ethanol production: enzymatic hydrolysis of steam-pretreated bagasse. *Applied Biochemistry and Biotechnology* (153), 151-162.
- Wang, W., Zhuang, X., Yuan, Z., Yu, Q., Qi, W., Wang, Q., et al. (2010). High consistency enzymatic saccharification of sweet sorghum bagasse pretreated with liquid hot water. *Bioresource Technology* (108), 252-257.
- Yu, J., Zhang, T., Zhong, J., Zhang, X., & Tan, T. (2012). Biorefinery of sweet sorghum stem. *Biotechnology Advances*, 30(4), 811-816.

- Yu, J., Zhong, J., & Zhang, X. (2010). Ethanol production from H₂SO₃ steam pretreated fresh Sorghum stem by Simultaneous Saccharification and Fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology* (160), 401-409.
- Yu, Q., Zhuang, X., Wang, Q., Qi, W., Tan, X., & Yuan, Z. (2012). Hydrolysis of sweet sorghum bagasse and eucalyptus wood chips with liquid hot water. *Bioresource Technology* (116), 220-225.

Lista de Figuras

- Figura 1. Tratamientos aplicables al bagazo de sorgo dulce (Elaboración propia).
- Figura 2. Productos de interés industrial a partir del bagazo de sorgo dulce (Elaboración propia).

Aprovechamiento biotecnológico de la cáscara de naranja

Biotechnological use of orange peel

María Luisa Carrillo⁵⁵

Abigail Reyes

José Manuel Domínguez⁵⁶

*Óscar Manuel Portilla Rivera⁵⁷

Resumen

⁵⁵ *Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Unidad Académica Multidisciplinaria Región Huasteca. Romualdo del Campo No. 501 Fracc. Rafael Curiel, Ciudad Valles, S.L.P., México. C.P. 79060. Tel.: (52) 4813812348.*

⁵⁶ *Universidad de Vigo, Campus Ourense. As Lagoas Sin Número. Ourense, España. C. P. 32004. Teléfono (34) 988387047*

⁵⁷ *Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Coordinación Académica Región Huasteca Sur. Carretera Tamazunchale – San Martín Km 5. Tamazunchale, S. L. P., México. C. P. 79960. Teléfono (52) 4833624500.*

*Contacto: *manuelportillarivera@gmail.com*

La naranja tiene una gran importancia en el mercado. La cáscara representa entre el 35 y 55% del peso de la fruta, dependiendo de la variedad. La cáscara es utilizada en la alimentación para ganado, aunque la mayor parte es desechada, desaprovechando así el valor que tiene como fuente potencial de productos de valor agregado. Los avances en la biotecnología han demostrado el potencial que tiene la cáscara de naranja para ser aprovechada. En este capítulo se presenta una revisión de las principales áreas de aprovechamiento biotecnológico para la cáscara de naranja.

Abstract

Orange has a great importance in the market. Orange peel represent between 35 and 55% of the fruit weight, depending on the variety. Orange peel is used for cattle feeding, although most of it is discarded, thus wasting the potential value as a renewable source for value added products. Advances in biotechnology have demonstrated the potential that orange peel has to be revalorized. In this chapter a review of the main fields of biotechnological revalorization of orange peel is presented.

Introducción

En el mundo se cosecharon 7 462 504 hectáreas de cítricos en el año 2000, que ascendieron a 9 678 766.00 hectáreas en el 2013, y la producción se incrementó de 105 942 285 a 135761181.42 toneladas en el mismo periodo. En el año 2000, México contó con 492,054.00 hectáreas cosechadas de cítricos, y se incrementaron a 560,735.00 hacia el año 2008, manteniéndose sobre 550 000 desde 2008 hasta el 2013. El incremento en el área cosechada en este periodo, llevó a incrementar la producción de 6 085 597 a 7 613 105 toneladas. El rendimiento en el 2013 fue de 13 673.20 Kg/Ha (FAOSTAT, 2015).

La naranja es un cítrico que tiene una gran importancia en el mercado. La naranja producida en México se usa y exporta para la producción de jugos y otros productos. La industria procesadora de la naranja emplea grandes volúmenes de fruta para la extracción de jugo, y sus desechos incluyen cáscara, pulpa y semillas. Los autores se refieren a este residuo como bagazo, basura de

naranja o cáscara, aun cuando los estudios comprendan el residuo completo obtenido después de la extracción del jugo o a una fracción de éste (Ahmed y Mustafá, 2013; Attard et al., 2014; Feng y Guo, 2012). En la presente revisión se utiliza el término “*cáscara de naranja*” ya que es el dominante en la literatura. La cáscara representa entre el 35 y 55 % del peso de la fruta, dependiendo de la variedad. La cáscara es utilizada en la alimentación para ganado, aunque la mayor parte es desechada, desaprovechando así el valor que tiene como fuente potencial de productos de valor agregado.

Durante muchos años, el proceso de industrialización de la cáscara de naranja se ha dirigido a la obtención de pectina y aceites; ingredientes básicos en las industrias de perfumería, alimentos, agronómica y farmacéutica. Sin embargo, la cáscara es una fuente potencial de otros constituyentes que requieren ser estudiados, lo cual podría ampliar las alternativas de aprovechamiento para este residuo diversificando los productos obtenidos. Por ejemplo, se han realizado algunas investigaciones para el aprovechamiento destinado a obtener subproductos como aceites, ceras, resinas, productos pécticos, celulosa, alimento para ganado, fertilizantes, ácido acético, cítrico y láctico (Gutiérrez et al., 2002). Los avances actuales en la biotecnología han demostrado el potencial que tiene la cáscara de naranja de ser aprovechada. Por ejemplo, para consumo humano fortificada con vitaminas (Restrepo et al., 2011), obtención de aceites y pectinas (Cerón y Cardona, 2011; Acevedo y Ramírez, 2011), elaboración de salchichas (Hernández et al., 2013), bioadsorbente para atrapar iones Cr^{3+} (Pinzón y Cardona, 2008) entre otros, lo cual representa el potencial de aprovechamiento en distintas áreas. En este capítulo se presenta una revisión de las principales áreas de aprovechamiento biotecnológico de la cáscara de naranja.

Producción de biomoléculas

Un aspecto importante es el estudio de la producción de exo-poligalacturonasa por la cepa *Aspergillus sojae*. Se observó que la concentración de enzima producida, medida en U/mL, fue de hasta 200 U/mL, indicando que al incrementar la concentración de cáscara en un rango de 5 a 40 g/L en el medio de fermentación, se incrementa la actividad enzimática obtenida. Una situación que limita el incremento de concentración de bagazo es la viscosidad generada en el medio de fermentación, por lo que es conveniente fijarla, de tal manera que la actividad enzimática sea medible y el sistema pueda operar. Con esta estrategia, Buyukkileci et al. (2015) demostraron la factibilidad técnica del uso de cáscara de naranja en la producción de exo-poligalacturonasa con la posibilidad de incrementar la producción de enzimas en un sistema de fermentación alimentado, en el que se obtienen hasta 250 U/mL de actividad enzimática. En este mismo sentido, Li et al. (2014) realizaron un diseño de experimentos para optimizar la producción de endo y exopectinasas utilizando como sustrato la cáscara de naranja. Para realizar el estudio utilizaron una cepa de *Penicillium oxalicum* PJ02. Las condiciones óptimas que encontraron fueron: 36.5° C y 1.12 g/L de cloruro de amonio. De esta manera, el uso del bagazo de naranja puede contribuir a la obtención de pectinasas con fines alimentarios. Además, Bicu y Mostata, (2011) lograron obtener celulosa a partir de cáscaras de naranja utilizando sulfito de sodio.

Uno de los elementos clave en el aprovechamiento de residuos agroindustriales es el estudio de la composición del material para lograr una diversificación de productos, como en el caso de producción de oligosacáridos para evaluación de su efecto prebiótico. Mediante tratamientos hidrotérmicos, Gómez et al. (2014), lograron obtener de cáscaras de naranja oligosacáridos pécticos compuestos de diferentes oligosacáridos de arabinosa, galactosa, con grados de polimerización entre 2 y 21, y diferente grado de metilación. Al aplicar inóculos probióticos humanos encontraron resultados interesantes, ya que la microbiota logró utilizar toda la fuente de carbono presente. De manera particular se observó que los oligosacáridos de la cáscara de naranja favorecieron más el crecimiento de bifidobacterias.

Los aceites esenciales son de los principales componentes de la cáscara de naranja, ya que pueden ser utilizados en la industria de la perfumería, por lo cual al momento de aplicar tratamientos para su producción, es necesario considerar las etapas del proceso. Por ejemplo en un aparato de hidrodestilación se separan los aceites aprovechando sus diferentes puntos de ebullición, para evitar los elevados puntos de ebullición de los compuestos no volátiles. Para evitar la descomposición de los ácidos grasos es necesario una segunda etapa de enfriamiento en el proceso, incrementando el rendimiento y disminuyendo la transformación de los principales compuestos del aceite: d-limoneno, β -mirceno, β -pineno, γ -terpineno, α -pineno (Chen et al., 2014). También se ha estudiado la producción de compuestos aromáticos mediante estrategias de fermentación en estado sólido utilizando cáscaras de naranja como sustrato. Los compuestos generados son compuestos de aromas frutales, y correspondieron con acetato isoamílico, etildecanoato, decanoato, octanoato y feniletil acetato después de 72 horas de fermentación (Mantzouridou et al., 2015). Además, también se han producido sabores de naturaleza biotecnológica utilizando como sustrato cáscaras de naranja mediante fermentaciones con *Saccharomyces cerevisiae* en las que las cáscaras de naranja fueron hidrolizadas con soluciones diluidas de ácido. Como la producción se realizó en un medio con levaduras inmovilizadas, el sistema de producción fue activo hasta por seis ciclos consecutivos por un periodo de 240 horas (Lalou et al., 2013).

Chen et al. (2012) lograron obtener compuestos bioactivos, capaces de reducir el estrés oxidativo en estudios llevados a cabo con células HepG2 cells. De los extractos obtenidos se han aislado compuestos como la hesperdina, hespertina, nobiletina y la tangeretina. Además, la obtención de polifenoles ha sido estudiada a partir de cascara de naranja utilizando campos eléctricos, una tecnología que permite obtener favorablemente este tipo de compuestos (Luengo et al., 2013).

Cuando se refiere a la producción de biomoléculas, uno de los principales problemas de atender es la evaluación técnico económica del proceso de producción. Dávila et al. (2015) evaluaron la producción de *p*-cimeno y pectina. En este trabajo se presenta un estudio de caso para incrementar el valor agregado de aceites esenciales y de la pectina. Además de la evaluación técnica, se realizó una evaluación del impacto ambiental. Los resultados demuestran la factibilidad técnica de la producción de estas moléculas, ya que la cáscara de naranja es un desecho de fácil adquisición y muy barato.

Aplicaciones ambientales

Las principales aplicaciones consisten en la evaluación de metales pesados así como la remoción de colorantes como sistemas modelo. Jha et al. (2015) proponen el uso de las cáscaras de naranja cargada con Zirconio (IV), para remover el flúor del agua para beber. Además describen las condiciones más adecuadas para llevar a cabo la adsorción del flúor en el sistema. Los resultados mostraron que la remoción de iones de flúor se lleva a cabo en un amplio rango de pH (3.0 a 8.0). Además, los resultados muestran que aún en el octavo ciclo la capacidad de eliminación fue del 83 %. Estudios de desorción mostraron que los iones de flúor se pueden desorber fácilmente con una solución 0.1 N de NaOH. Con todas estas características, además de la gran capacidad de trabajo a temperaturas normales, el sistema de remoción de iones de flúor podría hacer de las cáscaras de naranja un material ideal para la eliminación de iones de flúor del agua para beber.

La técnica utilizada para la eliminación de contaminantes es la adsorción, y uno de los materiales utilizados para llevar a cabo la adsorción es el carbón activo, el cual tiene un precio elevado y representa un problema de aplicación, por lo que resulta interesante encontrar alternativas de producción. La cáscara de naranja al ser barata puede ser utilizada para este fin. Hashemian et al. (2014) probaron la obtención de carbón activo utilizando temperaturas de carbonización entre 200 y 1200° C en atmósfera de nitrógeno durante una hora. Estudiaron la eliminación de 2-picoleno, como agente modelo en concentraciones de 1000 mg/L. Las mejores condiciones de eliminación fueron a 120 minutos de tiempo de contacto y pH por encima de 5, demostrando que el carbón activo producido representa una alternativa barata y amigable con el ambiente.

Al probar la eliminación de los colorantes representativos azul de metileno y rodamina B, se observó que el carbón activado generado por la activación con ácido fosfórico es capaz de eliminar los colorantes en soluciones simples y binarias, mostrando un área específica de 1090 m²/g y un carácter ácido. También mostró buena capacidad de eliminación tanto en sistema por lote y continuo (Fernandez et al., 2014).

La aplicación de las cáscaras no se limita sólo a la producción de carbón activado sino que también se incluye la generación de nanopartículas de plata. En esta área es necesario reducir el tiempo de síntesis y la eliminación de reactivos tóxicos. Kahrilas et al. (2014) idearon una estrategia para sintetizar nanopartículas de plata asistida con microondas para disminuir el tiempo de reacción y cáscaras de naranja como agentes reductores. Encontraron que los compuestos de naturaleza aldehídica son los causantes de la formación de las nanopartículas.

López et al. (2011), encontraron un biocompuesto que acopla la capacidad reductora de nanopartículas de hierro con la capacidad de adsorción de celulosa presente en la cascara de naranja para eliminar cromo hexavalente de las aguas residuales industriales.

Producción de energía

La producción de energía renovable es una tendencia en investigaciones energéticas. En este campo de investigación se han encontrado reportes en los que se utiliza la cáscara de naranja como materia prima. Al carbonizar la cáscara de naranja entre 600 y 900° C con rampas de temperatura de 5° C por minuto,

y mantenerla en una atmósfera de nitrógeno durante 2.5 horas, se obtiene un producto de carbonización para la preparación de nanohojas que a su vez son utilizadas como sustrato para hacer nanocompositos con dióxido de manganeso, los cuales funcionan como materiales para el almacenamiento de energía útil para dispositivos portátiles, además de que pueden ser utilizados en motores híbridos (Sun et al., 2015). Esto es sin duda una aproximación sustentable para la producción de materiales electrónicos para aplicaciones a larga escala.

Un sistema de producción de energía renovable es la producción de hidrógeno. En sistemas celulares se necesita que el hidrógeno producido no sea oxidado por lo cual es esencial la inhibición de las enzimas que catalizan esta reacción. Danial y Abdel – Basset (2015) estudiaron un sistema en el que algunas bacterias no sulfurosas que crecieron en cáscaras de naranja produjeron más hidrógeno y la oxidación fue desfavorecida por la inhibición de la hidrogenasa. Este sistema es novedoso ya que a pesar de los pocos trabajos que hay en relación al uso de la cáscara de naranja como fuente nutritiva, cuando se aplican bacterias no sulfurosas, se sobrepasa la expectativa de la nutrición bacteriana, porque además el sustrato es capaz de inhibir la hidrogenasa. Los componentes presentes en la cáscara de naranja son el D-limoneno, flavonoides polimetoxilados, vitaminas, pigmentos carotenoides, alcaloides, pectinas entre otros. Sin embargo, es necesario encontrar cuál de esos componentes es el causante la inhibición de la hidrogenasa, además de que se deben probar las condiciones para maximizar la producción de hidrógeno.

El bagazo de naranja se puede utilizar para la producción de biogás. Sin embargo, el limoneno presente puede disminuir la producción por lo que es conveniente eliminarlo. Para alcanzar este fin, Wikandari et al. (2015) idearon un proceso en el que usaron hexano. La mayor producción de biogás se alcanzó cuando las cáscaras se trataron con hexano en una relación de 12:1 cáscara/hexano durante 10 minutos. Además, reportaron que la presencia de hexano residual puede disminuir la producción del biogás.

Las cáscaras de naranja también se han utilizado en la producción de etanol. Al aplicar la técnica de explosión de vapor catalizada por ácidos, seguida de sacarificación enzimática y por último una fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* F15, Santi et al. (2015) lograron incrementar la concentración de azúcares disueltos incrementando la carga de cáscaras de naranja de 160 a 480 g/L. Al combinar la alta carga de cáscara de naranja durante la hidrólisis y la sacarificación, se obtuvieron 2.5 veces más azúcares fermentables y la producción de etanol fue más alta, sin embargo la concentración de inhibidores disminuyó la capacidad total de producción de etanol. En este mismo sentido Tejeda et al. (2010) obtuvo bioetanol utilizando una mezcla de cáscaras de naranja y cáscaras de piña aplicando hidrólisis con ácido sulfúrico.

Alimento para aves

Después de haber sido extraído el jugo y restos de pulpa, la cáscara de naranja, representa ventajas nutricionales para pollos. Debido a que los pollos de granja tienden a presentar problemas de estrés oxidativo por calentamiento debido a la exposición a altas temperaturas es necesario encontrar alternativas nutricionales que puedan favorecer la tolerancia a las altas temperaturas. En este sentido, y

debido a que la cáscara de naranja posee compuestos con naturaleza antioxidante y antiinflamatoria Akbarian et al. (2015) probaron el efecto de la dieta suplementada con cáscaras de naranja y cáscaras de limón además de extractos de *Curcuma xanthorrhiza*. Este estudio presenta evidencia del efecto positivo que los extractos con contenidos fenólicos tienen sobre la actividad antioxidante y las funciones metabólicas para impedir algunos cambios metabólicos que suceden en los pollos a altas temperaturas. Sin embargo, los resultados esperados para las pruebas con cáscaras de naranja fueron menos favorables que los extractos de *Curcuma xanthorrhiza*. Se requiere más investigación utilizando controles negativos para conocer el efecto por separado de los componentes de la cáscara de naranja. Se desarrolló un experimento en el que se probaron diferentes concentraciones de extracto de cáscara de naranja sobre la respuesta del sistema inmune humoral, para evaluar la capacidad que tienen los extractos de cáscara de naranja de incrementar la resistencia de pollos de granja a enfermedades. Los extractos fueron suministrados en el agua para beber. Después de ser vacunados contra las principales enfermedades, los pollos mostraron una mejoría en la respuesta inmune y una resistencia a enfermedades, indicando que los extractos obtenidos de cáscara de naranja son útiles en la suplementación de la alimentación de pollos de granja (Pourhossein et al., 2015). Además, cuando se realizaron estudios con codornices japonesas con extractos que contiene aceites esenciales para evaluar los efectos del estrés térmico en órganos como el hígado, el bazo y el corazón, se observó que la peroxidación de lípidos puede ser prevenida, por lo que los extractos que contienen aceites esenciales de la cáscara de naranja pueden usarse como antioxidantes naturales (Dalkiliç et al., 2015).

Ebrahimi et al. (2014) estudiaron diferentes niveles de cáscara de naranja dulce sobre el crecimiento de pollos, encontrando que una proporción de 1.5 % de cáscara seca puede constituir un aditivo útil en la alimentación de los pollos especialmente durante la etapa de inicio. Sin embargo, se deben realizar más investigaciones para mejorar la el uso de la cáscara como alimento.

Conclusiones

La cáscara de naranja es un residuo obtenido de la producción de jugo con un gran potencial para aplicaciones biotecnológicas que incluyen tanto su aprovechamiento como material residual, como transformaciones biotecnológicas en aplicaciones industriales, alimentarias, ambientales, así como en la obtención de alimentos para aves. Muchos son los compuestos que forman parte del bagazo de naranja, y aún se requiere realizar más investigaciones para conocer el efecto benéfico que cada uno de ellos tiene las aplicaciones específicas que se traten.

Bibliografía

- Acevedo, D. V., & Ramírez, D. (2011). Análisis técnico y económico de la pectina, a partir de la cáscara de la naranja (*Citrus sinensis*). Santiago de Cali: Universidad de San Buenaventura Cali.
- Ahmed, S. A., & Mostafa, F. A. (2013). Utilization of orange bagasse and molokhia stalk for production of pectinase enzyme. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30 (3), 449-456.
- Akbarian, A., Golian, A., Kermanshahi, H., De Smet, S., & Michiels, J. (2015). Antioxidant enzyme activities, plasma hormone levels and serum metabolites of finishing broiler chickens reared under high ambient temperature and fed lemon and orange peel extracts and curcuma xanthorrhiza essential oil. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99 (1), 150-162.
- Attard, T. M., Watterson, B., Budarin, V. L., Clark, J. H., & Hunt, A. J. (2014). Microwave assisted extraction as an important technology for valorising orange waste. *New Journal of Chemistry*, 38 (6), 2278-2283.
- Bicu, I., & Mustata, F. (2011). Cellulose extraction from orange peel using sulfite digestion reagents. *Bioresource Technology*, Vol. 102, 10013-10019.
- Buyukileci, A. O., Lahore, M. F., & Tari, C. (2015). Utilization of orange peel, a food industrial waste, in the production of exo-polygalacturonase by pellet forming aspergillussojae. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 38 (4), 749-760.
- Cerón, S., & Cardona, A. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y ciencia*, Vol. 7(13), 65-86.
- Chen, Y., Wu, J., Xu, Y., Fu, M., & Xiao, G. (2014). Effect of second cooling on the chemical components of essential oils from orange peel (*Citrus sinensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62 (35), 8786-8790.
- Chen, Z. -, Chu, H. -, Chyau, C. -, Chu, C. -, & Duh, P. -. (2012). Protective effects of sweet orange (*Citrus sinensis*) peel and their bioactive compounds on oxidative stress. *Food Chemistry*, 135 (4), 2119-2127.
- Dalkılıç, B., Özçelik, M., Şimşek, Ü. G., & Çiftçi, M. (2015). Effect of orange peel essential oil and thermotolerance acquisition on oxidative stress parameters of liver, heart and spleen in heat stressed Japanese quails. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 21 (3), 413-416.
- Danial, A. W., & Abdel-Basset, R. (2015). Orange peel inhibited hup and enhanced hydrogen evolution in some purple non-sulfur bacteria. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40 (2), 941-947.
- Dávila, J. A., Rosenberg, M., & Cardona, C. A. (2015). Techno-economic and environmental assessment of p-cymene and pectin production from orange peel. *Waste and Biomass Valorization*, 6 (2), 253-261.
- Ebrahimi, A., Qotbi, A. A. A., Seidavi, A., Laudadio, V., & Tufarelli, V. (2014). Effect of different levels of dried sweet orange (*Citrus sinensis*) peel on broiler chickens growth performance. *Archiv Tierzucht*, 56 (1), 11-17.
- FAOSTAT (2015). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. <http://faostat3.fao.org/home/E> (Fecha de consulta: 12 de junio de 2015).

- Feng, N. -, & Guo, X. -. (2012). Characterization of adsorptive capacity and mechanisms on adsorption of copper, lead and zinc by modified orange peel. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 22 (5), 1224-1231.
- Fernandez, M. E., Nunell, G. V., Bonelli, P. R., & Cukierman, A. L. (2014). Activated carbon developed from orange peels: Batch and dynamic competitive adsorption of basic dyes. *Industrial Crops and Products*, 62, 437-445.
- Gómez, B., Gullón, B., Remoroza, C., Schols, H. A., Parajó, J. C., & Alonso, J. L. (2014). Purification, characterization, and prebiotic properties of pectic oligosaccharides from orange peel wastes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62 (40), 9769-9782.
- Gutiérrez, E.L., Medina, G.B., Román, M. y Flores, O. (2002). Obtención y cuantificación de fibra dietaria a partir de residuos de algunas frutas comunes en Colombia. *VITAE*, 9, 5-14.
- Hashemian, S., Salari, K., & Yazdi, Z. A. (2014). Preparation of activated carbon from agricultural wastes (almond shell and orange peel) for adsorption of 2-pic from aqueous solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20 (4), 1892-1900.
- Hernández, C. J., Castillejos, C., & Carmona, E. (2013). Evaluación sensorial de salchichas con harina de cáscara de naranja y/o penca de maguey. *Nacameh*, Vol. 7 (1), 23- 40.
- Jha, R., Jha, U., Dey, R. K., Mishra, S., & Swain, S. K. (2015). Fluoride sorption by zirconium (IV) loaded carboxylated orange peel. *Desalination and Water Treatment*, 53 (8), 2144-2157.
- Kahrilas, G. A., Wally, L. M., Fredrick, S. J., Hiskey, M., Prieto, A. L., & Owens, J. E. (2014). Microwave-assisted green synthesis of silver nanoparticles using orange peel extract. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2 (3), 367-376.
- Lalou, S., Mantzouridou, F., Paraskevopoulou, A., Bugarski, B., Levic, S., & Nedovic, V. (2013). Bioflavour production from orange peel hydrolysate using immobilized *saccharomyces cerevisiae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(21), 9397-9407.
- Li, P. -, Xia, J. -, Shan, Y., Nie, Z. -, Su, D. -, Gao, Q. -, . . . Ma, Y. -. (2014). Optimizing production of pectinase from orange peel by *penicilliumoxalicum* PJ02 using response surface methodology. *Waste and Biomass Valorization*, 6(1), 13-22.
- López, G., Barrera, D., Balderas, H., & Roa, M. (2011). Removal of hexavalent chromium in aquatic solutions by iron nanoparticles embedded in orange peel pith. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 173 (11), 480-485.
- Luengo, E., Álvarez, I., & J.K., R. (2013). Improving the pressing extraction of polyphenols of orange peel by pulsed electric fields. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Vol. 17 (4), 79-84.
- Mantzouridou, F. T., Paraskevopoulou, A., & Lalou, S. (2015). Yeast flavour production by solid state fermentation of orange peel waste. *Biochemical Engineering Journal*, 101, 1-8.
- Pinzón, B., & Cardona, B. (2008). Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioabsorbente. *BISTUA*, Vol. 6 (1), 1-23.

- Pourhossein, Z., Qotbi, A. A. A., Seidavi, A., Laudadio, V., Centoducati, G., & Tufarelli, V. (2015). Effect of different levels of dietary sweet orange (*Citrus sinensis*) peel extract on humoral immune system responses in broiler chickens. *Animal Science Journal*, 86 (1), 105-110.
- Restrepo, D., Rodríguez, S., & Manjarres, P. K. (2011). Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor agregado a partir de residuos agroindustriales. *Producción más limpia*, Vol. 6 (2), 47-57.
- Santi, G., Jasiulewicz, J., Crognale, S., D'Annibale, A., Petruccioli, M., & Moresi, M. (2015). High solid loading in dilute acid hydrolysis of orange peel waste improves ethanol production. In press. *Bioenergy Research*. DOI: 10.1007/s12155-015-9591-4.
- Sun, K., Wang, H., Peng, H., Wu, Y., Ma, G., & Lei, Z. (2015). Manganese oxide nanorods supported on orange peel-based carbon nanosheets for high performance supercapacitors. *International Journal of Electrochemical Science*, 10 (3), 2000-2013.
- Tejeda, P., Tejeda, C. A., Alvear, M., Castillo, R., & Henao, L. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Educación en ingeniería*, Vol. 4 (10), 120-125.
- Wikandari, R., Nguyen, H., Millati, R., Niklasson, C., & Taherzadeh, M. J. (2015). Improvement of biogas production from orange peel waste by leaching of limonene. *BioMed Research International*. 494182.

Potencial de bacterias ácido lácticas como método de biocontrol contra microorganismos patógenos

Potential of lactic acid bacteria as biocontrol method against pathogenic microorganisms

Francisco Javier Yépez Ramírez⁵⁸

Lorenzo Jarquín Enríquez

Gabriela Medina Ramos

María Dolores Saavedra Leos⁵⁹

*Óscar Manuel Portilla Rivera

Resumen

⁵⁸Universidad Politécnica de Guanajuato. Avenida Universidad Norte Sin Número, Sin Colonia. Localidad Juan Alonso, Cortazar, Guanajuato, México. C. P. 38483. Tel:4614414305

⁵⁹Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Coordinación Académica Región Huasteca Sur. Carretera Tamazunchale – San Martín Km 5. Tamazunchale, S. L. P., México. C. P. 79960. Teléfono 01 4833624500.

*Contacto: manuelportillarivera@gmail.com

Los microorganismos muestran una gran variedad de mecanismos que facilitan la colonización y la prevalencia en distintos nichos. Especies de bacterias ácido lácticas han sido estudiados principalmente para la obtención de roductos biotecnológicos como ácido láctico, bisurfactantes, bacteriocinas, antibióticos, así como también por sus efectos probióticos. En este capítulo se presenta una revisión de la bibliografía que muestra el potencial de las bacterias ácido lácticas contra microorganismos patógenos que pueden afectar a los alimentos mínimamente procesados, alimentos procesados, así como plantas con interés alimentario. Los resultados de las investigaciones en este campo muestran el potencial de las bacterias ácido lácticas para ser utilizadas en estrategias de biocontrol contra microorganismos patógenos de alimentos.

Abstract

Microorganisms show a wide variety of mechanisms facilitating the colonization and prevalence in different niches. Species of lactic acid bacteria have been studied mainly for obtaining biotechnological products like lactic acid, biosurfactants, bacteriocins, antibiotics, as well as for their probiotic effects. In this chapter a review showing the potential of lactic acid bacteria against pathogenic microorganisms that can affect minimally processed food, processed food, as well as food plants. Results show the potential of lactic acid bacteria to be used in biocontrol strategies against food pathogenic microorganisms.

Introducción

Los microorganismos muestran una gran variedad de mecanismos que facilitan la colonización y la prevalencia en distintos nichos. Entre las propiedades que pueden facilitar estos fenómenos están la adherencia, la competencia por nutrientes existentes y la producción de metabolitos tóxicos para otros microorganismos. Conocer estos conceptos favorece al aprovechamiento de

microorganismos como agentes de biocontrol dirigido hacia la producción de alimentos con la ventaja de que constituyen tratamientos de origen natural y son amigables con el ambiente y se prefieren sobre tratamientos químicos (Gálvez et al., 2010).

Las bacterias ácido lácticas son un grupo que comprende los géneros del orden Lactobacillales, el cual incluye *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactococcus* y *Streptococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* y *Weissella*. Especies de estos géneros han sido estudiados principalmente para la obtención de productos biotecnológicos como ácido láctico, bisurfactantes, bacteriocinas como nisina, antibióticos como reuteriicina y reuterina, así como también por sus efectos probióticos (De Muynck et al., 2004). Debido a la naturaleza de las bacterias lácticas y a la producción de metabolitos antimicrobianos en distintos sustratos, se puede generar un ambiente desfavorable para bacterias patógenas (Asurmendi et al., 2015). El uso de las bacterias lácticas o sus extractos está dirigido al sector agroalimentario en lo relativo a mejorar atributos de alimentos, generalmente para extender la vida de anaquel ya sea de productos mínimamente procesados o de productos procesados, y a lograr mejoras en la producción primaria de alimentos de origen vegetal, aprovechando sus cualidades tanto de promotoras del crecimiento vegetal, como de inhibidoras del crecimiento de microorganismos patógenos de plantas con interés alimentario. En este capítulo se presenta una revisión de la bibliografía que muestra el potencial de las bacterias ácido lácticas como agentes de biocontrol contra microorganismos patógenos que pueden afectar a los alimentos mínimamente procesados, alimentos procesados y plantas con interés alimentario.

Bacterias ácido lácticas contra patógenos en alimentos mínimamente procesados

Las frutas frescas y los vegetales son componentes esenciales de la dieta y existe evidencia considerable sobre sus beneficios a la salud. Sin embargo, estos alimentos pueden ser vehículo para la transmisión de bacterias patógenas. Los productos frescos tienen un alto contenido de bacterias de forma natural, entre ellas, bacterias ácido lácticas (Abadías et al., 2008). Es necesario eliminar agentes patógenos que deterioren el alimento o que inclusive puedan ser perjudiciales para el humano. Gosh et al. (2015) aislaron los microorganismos que son los causantes de la pudrición de la Yaca. Encontraron que el principal causante fue el *Rhizopus stolonifer*, y observaron que la descomposición de la fruta se debió a la capacidad del hongo para generar pectinasas que contribuían a incrementar la concentración de azúcares reductores. El hongo no fue inhibido por los fungicidas *Mancozeb*® y *Bavistin*®, pero sí fue inhibido por la aplicación de dos cepas de bacterias rizosféricas y de tres diferentes cepas de *Lactococcus lactis*, mostrando un rompimiento del micelio del patógeno. Al aplicar tratamientos con las bacterias a las plantas infectadas, la enfermedad se redujo o previno, y en tratamientos postcosecha, la infección se retrasó o se redujo la incidencia.

Una estrategia interesante de aplicación de las bacterias lácticas es la propuesta por Trías et al. (2008a) en la que se aíslan bacterias lácticas de frutas y vegetales y se prueba su efectividad contra bacterias y hongos patógenos:

Xanthomonas campestris, *Erwinia carotovora*, *Penicillium expansum*, *Monilinia laxa*, y *Botrytis cinerea*. En pruebas *in vitro* se encontró la habilidad de 496 bacterias ácido lácticas para inhibir el crecimiento de estos patógenos, excepto *Penicillium expansum*. Además, en pruebas *in vivo* para contrarrestar la descomposición de manzanas *Golden Delicious*, 4 cepas de las 496 aisladas lograron reducir hasta en un 20% el diámetro de la descomposición donde los agentes causales de la inhibición parecían ser los ácidos orgánicos y peróxido de hidrógeno.

Considerando la aplicación de extractos de bacterias lácticas en la conservación de alimentos postcosecha, Emerenini et al., (2014) realizaron un estudio en el que aislaron bacterias ácido lácticas de vegetales frescos y probaron la efectividad de los extractos sobre la inhibición de los patógenos *Xanthomonas campestris*, *Erwinia carotovora*, y *Pseudomonas syringae*, obteniendo halos de inhibición de hasta 15 mm. Con estos estudios se logró probar la viabilidad de la aplicación de extractos provenientes de bacterias ácido lácticas en la conservación postcosecha de tomates.

Al Azkari et al. (2012) mostraron que bacterias ácidos lácticas aisladas de frutas secas mostraron actividad antimicrobiana contra los patógenos *Streptococcus* spp, *Streptococcus sanguinis*, *Staphylococcus epidermis*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus mirabilis*, *Hafnia alveie* y *Yersinia* spp, encontrando que las bacterias ácido lácticas probadas ejercen un efecto mayor sobre bacterias Gram positivas que sobre las Gram negativas. Una razón aparente de la disminución del crecimiento de bacterias patógenas es el efecto de las bacteriocinas, como se describe por Savadogo et al. (2004) en un estudio en el que aisló 8 bacterias ácido lácticas de leche fermentada y probó el efecto de las bacteriocinas producidas contra *Enterococcus faecalis* 103907 CIP, *Bacillus cereus* 13569 LMG, *Staphylococcus aureus* ATCC 25293, *Escherichia coli* 105182 CIP. Aunque se demostró que después de tratamientos proteolíticos mediante el uso de enzimas el efecto inhibitorio de los extractos desaparece, es preciso realizar pruebas de caracterización para esclarecer el efecto de inhibición. En este mismo sentido, Dalirsaber Jalali et al. (2012) llevaron a cabo un estudio en el que aislaron bacterias ácido lácticas de rábanos, lechugas, tomates, zanahorias y soya, encontrándose que las bacterias ácido lácticas se distribuyen más en superficies que han sufrido un daño mecánico. Las bacterias aisladas fueron probadas contra *Xanthomonas campestris* PTCC 1473. La bacteria *Lactobacillus plantarum* mostró un efecto inhibitorio mayor.

Reina et al., 2005 utilizó el pepinillo como un modelo de alimento mínimamente procesado para evaluar el biocontrol sobre *Listeria monocytogenes*. Las bacterias lácticas fueron probadas por su efecto inhibitorio del crecimiento de patógenos dada su capacidad para producir bacteriocinas. Se obtuvieron 118 aislados y dentro de los aislados se encontraron especies de *Lactococcus* y *Lactobacillus* entre otros. De los aislados 7 especies de *Lactococcus* mostraron inhibición contra otras bacterias probadas. Por su parte, la especie *Lactobacillus curvatus* mostró características deseables como agente de biocontrol por exclusión competitiva e incrementó la inocuidad de los pepinillos no acidificados.

Trías et al. (2008b), obtuvieron 700 muestras de alimentos listos para el consumo tales como frutas, vegetales, ensaladas empacadas, carne, yogures y queso de donde se aislaron 496 bacterias ácido lácticas. Se probaron además cepas obtenidas de la American Type Culture Collection (ATCC), sumando un

total de 523 cepas. Todas las cepas fueron probadas contra los patógenos *E. coli* ATCC 11775, *L. monocytogenes* ATCC 15313, *P. aeruginosa*, *S. typhimurium* LT2 ATCC 15277 y *S. aureus* ATCC 9144. Las 18 cepas que mostraron la mejor capacidad antagonica contra las bacterias patógenas se probaron en lechugas y frutos de manzana, y fueron capaces de inhibir, en diferentes niveles, a *Salmonella spp.* Y *Listeria spp.*; lo cual muestra que las bacterias ácido lácticas puede coadyuvar en la conservación postcosecha. La perspectiva consiste en estudiar el efecto de las bacterias ácido lácticas sobre el incremento en la vida de anaquel de los alimentos y el efecto resultante de tratamientos en los que se combinen extractos de bacterias ácido lácticas con tratamientos habituales.

Bacterias ácido lácticas contra patógenos en el procesado de alimentos

Las bacterias ácido lácticas han sido utilizadas en la producción de algunos alimentos como el queso y yogures. En estos productos intervienen las bacterias ácido lácticas *Lactobacillus casei*, *L. bulgaris*, *L. lactis*, *Streptococcus cremoris*, *S. lactis* y *S. thermophilus*. Aunque también existe una gran diversidad de productos alimenticios fermentados que tradicionalmente se han consumido, tales como productos que contienen arroz, harina de trigo, cebada, mantequilla, leche de cabra, no existe, en la mayoría de los casos, conocimiento de su composición microbiológica (Kumar et al., 2013). Sin embargo, debido a que los metabolitos producidos durante la fermentación con bacterias lácticas pueden ser antimicrobianos, la aplicación de las bacterias ácido lácticas no se limita a la producción de alimentos fermentados, sino que también se considera el aprovechamiento alimentario en la prolongación de la estabilidad de distintos alimentos evitando el crecimiento de microorganismos patógenos. De Muynck et al. (2004), evaluaron la actividad antibacteriana de diecisiete especies de bacterias ácido lácticas contra *Bacillus subtilis*, y los microorganismos fúngicos causantes del deterioro de alimentos *Aspergillus flavus* MUCL 19945, *Endomyces fibuliger* MUCL 11443, *Eurotium repens* MUCL 15977, *Penicillium paneum* MUCL 40611, *P. roqueforti* MUCL 40617 y *Rhizopus oryzae* MUCL 20145, obteniendo radios de inhibición hasta 1.6 cm, destacando 5 de las especies de bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus acidophilus*, *L. amylovorus*, *L. brevis*, *L. coriniformis subsp. Coriniformis*, *L. plantarum*). Los resultados obtenidos de estas investigaciones se explican debido al pH.

En el 2005 Gutiérrez et al., probaron extractos producidos por *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus brevis* que mostraron un efecto antimicrobiano sobre *Salmonella sp.*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli*, obteniendo mayores diámetros de halos de inhibición cuando se emplearon extractos de *Lactobacillus plantarum* (hasta 10 mm), dicha inhibición presentada por los extractos, es atribuida a la presencia de péptidos que fueron encontrados por cromatografía de capa fina.

Larrea et al., evaluaron la actividad antimicrobiana de seis BAL sobre *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis* y *Shigella dysenteriae* en el 2007, determinando que las BAL estudiadas presentaron acción antimicrobiana sobre las bacterias entéricas, destacando *Lactobacillus fermentum* (Concentración mínima inhibitoria de 4 µL/mL), por la acción bactericida, dicha actividad fue relacionada por la producción de productos proteicos como las bacteriocinas, secretadas por las especies lácticas.

Dal Bello (2007), examinó la capacidad antifúngica de *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 para retardar el crecimiento de *Fusarium culmorum* y *Fusarium graminearum* presentes en la producción de masa ácida de trigo, además de identificar metabolitos antifúngicos en los sobrenadantes libres de células, entre los que se encuentran el ácido láctico, ácido feniláctico y dos dipéptidos cíclicos (Ciclo L-Leu-L-Pro y Ciclo L-Phe-L-Pro), sustancias relacionadas a la inhibición de la producción de aflatoxinas por algunas especies de hongos microscópicos, a un lado de la producción de ácidos orgánicos como el ácido láctico y ácido difeniláctico, este último produce un retardo en el crecimiento fúngico.

Jaramillo et al., (2010) utilizaron un grupo de BAL aisladas del ensilaje (*Lactobacillus plantarum*, *L. pentosus*, *L. helveticus*), para evaluar su capacidad antimicrobiana frente a *Bacillus sphaericus*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas saeruginosa* y *Pseudomonas sputida*, obteniendo resultados de actividad antimicrobiana prometedora principalmente contra *pseudomonas*, sus resultados de actividad bactericida son destacados por la presencia de agentes proteicos como la nisina, que fueron capaces de mantener estable el crecimiento de *Pseudomonas spp.*, durante la fase estacionaria.

Oranusi et al. (2012) reportaron que BAL aisladas de *Ricinus communis* (Ogiri), *Pentaclethra macrophylla* (Ugba) y yogur presentaron actividad antifúngica frente a *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Aspergillus nidulans* presentando halos de inhibición desde 2 hasta 15 mm, actividad antimicrobiana como resultado de la producción de ácido láctico, por la degradación de carbohidratos por parte de las bacterias lácticas.

Al trabajar con distintos productos obtenidos de la fermentación de la yuca, Anyogu et al., 2014 realizaron un estudio en el que obtuvieron 71 aislados de los cuales el 41 % fueron bacterias ácido lácticas, lo cual indica la predominancia de las bacterias ácido lácticas en los productos de fermentación natural. El papel de estos microorganismos es relevante ya que participan en la fermentación así como también en la inhibición de microorganismos patógenos que deterioran los productos fermentados. Las bacterias indicadoras probadas fueron: *Escherichia coli*, *Salmonella entéricas erotype Typhimurium* (*S. Typhimurium*), *Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus* mediante la prueba de difusión en agar. Sólo los extractos sobrenadantes libres de células fueron capaces de inhibir las bacterias patógenas, y el efecto de inhibición fue atribuido principalmente a la producción de ácido por las bacterias ácido lácticas.

Bacterias ácido lácticas contra patógenos de plantas de interés alimentario

Las enfermedades fitosanitarias se vuelven condicionantes en la producción de hortalizas. En muchas partes del mundo, los problemas se vuelven incontrolables cuando no se utilizan cultivares resistentes (Gómez et al., 2011). Por ejemplo, el tomate es una de las hortalizas que durante su desarrollo presenta alta susceptibilidad a problemas fitosanitarios, estos problemas constituyen un factor limitante en la producción. Las enfermedades por patógenos pueden presentarse en la semilla, en plántula, en follaje, en tallos y en frutos (Álvarez, J. 2012).

Como una alternativa al uso de agentes químicos, una estrategia para abatir estos problemas es el biocontrol mediante el uso de microorganismos

de la rizosfera, los cuales se pueden clasificar en tres grandes grupos: fijadores de nitrógeno, hongos micorrízicos y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*). Los PGPR desempeñan un papel clave en la toma de nutrientes, la tolerancia a estrés ambiental y al mantenimiento de la salud radicular, favoreciendo el rendimiento de los cultivos (Rives et al., 2007). Este grupo comprende a los géneros *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, *Erwinia*, *Serratia*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter* y *Flavobacterium* (Rodríguez y Fraga, 1999), que ejercen distintos mecanismos tales como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfato, la producción de quelantes de hierro, producción de fitohormonas y sustancias de actividad antimicrobiana, etc. Por esta razón, el estudio de las PGRP es considerado como una alternativa de control de microorganismos patógenos en suelo (Rico, 2009).

La aplicación de este grupo de microorganismos como agentes de biocontrol está basada, en la mayoría de los casos, en su habilidad de producir metabolitos secundarios, cuya variedad estructural y funcional es muy amplia (antifúngicos, toxinas, surfactantes y hormonas vegetales). Usualmente la producción de metabolitos secundarios no es constitutiva, pero está regulada por “señales” ambientales o de procesos celulares intrínsecos. La elucidación de los mecanismos regulatorios es muy importante para entender el funcionamiento de un organismo en su ambiente natural y necesario para la aplicación de dicho organismo, por ejemplo, como inoculantes y agentes de biocontrol, en la agricultura y horticultura (Bloemberg et al., 2005).

En los últimos años un género de bacterias estudiadas en este tipo de acciones de biocontrol fueron las bacterias ácido lácticas (Shrestha et al., 2014). Entre las sustancias inhibitorias producidas por estos microorganismos podemos encontrar, además de las mencionadas anteriormente, ácido acético, alcoholes (incluyendo etanol) y dióxido de carbono, peróxido de hidrógeno y benzoatos (Concha, 2008). Se han realizado investigaciones para evaluar el efecto de las bacterias ácido lácticas contra bacterias fitopatógenas. En pruebas *in vitro* Ronel et al., (1986) probaron extractos de bacterias ácido lácticas contra *Xantomonas campestris*, *Erwinia carotovora* y *Pseudomonas syringae*, mostrando actividad inhibitoria en el crecimiento de estos patógenos; mientras que en las pruebas con una inoculación previa de las especies de *Lactobacillus plantarum* en plantas de frijol, disminuyeron la incidencia de la enfermedad causada por *P. syringae* del 20 % al 16.1 %. Shrestha et al., (2009) evaluaron la actividad antagónica de una especie de *Lactobacillus sp.*, contra las bacterias *Ralstonia solanacearum*, *Xantomonas axonopodis*, *Xantomonas campestris*, *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* en pruebas *in vitro*, mientras que en las pruebas *in planta*, fue reducida la severidad de la enfermedad producida por *Ralstonia solanacearum* hasta en un 71 %, comparada con las plantas control.

En estudios con cebada, Mauch et al., (2010) estudiaron la actividad antifúngica de 129 BAL contra especies de *Fusarium spp.*, obteniendo una actividad antifúngica originada por la especie *Lactobacillus brevis*. Los resultados fueron alentadores, obtenido hasta un 43% de inhibición. En pruebas con chile El-Marbrok et al., (2012) reportaron la efectividad del uso de bacterias ácido lácticas y sus sobrenadantes como control biológico contra la enfermedad

causada por el hongo *Colletotrichum capsici*, mostrando una fuerte inhibición del hongo in vitro. Además, las semillas a las cuales se les inoculó bacterias lácticas, mostraron un porcentaje de germinación de hasta el 80 %.

Peter et al., (2012) estudiaron 294 BAL que fueron aisladas de las raíces de maíz, centeno, zanahoria, suelo de jardín y composta, y fue probado su efecto antagónico contra *Pythiumultimum*. El 75 % de las BAL, mostraron efecto inhibitorio, así como la capacidad de protección hacia la planta frente a este patógeno, además de estos hechos, la germinación de semillas de pepino se vio favorecida por estas bacterias, obteniendo hasta un 60% de semillas germinadas, demostrando que el suelo es una novedosa fuente para el aislado de bacterias lácticas para el control de patógenos presentes en él, suprimiendo la incidencia de enfermedades, además de favorecer el desarrollo vegetativo del pepino. En 2012, Narasimha et al., estudiaron a *Lactobacillus para casei subsp. tolerans* y *Lactobacillus paracasei subsp. paracasei*, que mostraron un efecto antagónico sobre el crecimiento de *Ralstonia solanacearum*, (in vitro halos de inhibición de 22 a 25 mm) aunado al haber presentado actividad promotora del crecimiento reduciendo la incidencia del patógeno en un 63%, se incrementó el porcentaje de germinación a 79.1 % (semillas de tomate infectadas ≈35 % de germinación), estos resultados revelan la capacidad de las bacterias ácido lácticas de actuar como bacterias promotoras del crecimiento, atribuido a la competencia en la rizosfera (antagonismo), por mecanismos de inhibición como enzimas líticas, enzimas de defensa.

Shrestha et al., 2014 llevaron a cabo un estudio en el que probaron la efectividad de un aislado de bacteria láctica para probar su efectividad contra *Salmonella sp.* Como control positivo y varias cepas patógenas, encontrando que el aislado mostró una fuerte inhibición contra la cepa control así como también contra *Xanthomonas axonopodis pv. citri* (cáncer de cítricos). Una inhibición menos severa se mostró contra *Ralstonia solanacearum* (marchitez bacteriana), *Xanthomonas pv. vesicatoria* (mancha bacteriana), *Eriwinapyri foliae* (tizón tardío), *E. carotovora subsp. Carotovora* (costra de la papa) y *Bacillus licheniformis*. Además, emplearon tres BAL como control biológico in vitro contra *Xanthomonas campestris*, además de ser probadas ante las enfermedades bacterianas por *Ralstoniasolanacearum*, *Pectobacterium carotovorum*, obteniendo una reducción del 57 % hasta 86.7 % de la severidad en las pruebas realizadas bajo condiciones de invernadero.

Conclusión

Existe una diversidad de microorganismos patógenos que pueden afectar alimentos mínimamente procesados, procesados y a plantas con interés alimentario. En todos los casos una alternativa de control amigable con el medio ambiente es el biocontrol. Los resultados de las investigaciones en este campo muestran el potencial de las bacterias ácido lácticas para ser utilizadas en tratamientos contra microorganismos patógenos de alimentos. No obstante, queda aún por aclarar los mecanismos de inhibición subyacentes.

Bibliografía

- Abadias M, Usalla J, Angueraa M, Solsonaa C, Viñas I. (2008). *Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables, and sprouts from retail establishments*. International Journal of Food Microbiology. 123, 1–2, 121–129.
- Al-Askari G, Kahouadji A, Khedid K, RédaCharof R y Mennane Z. (2012). *Screenings of Lactic Acid Bacteria Isolated from Dried Fruits and Study of Their Antibacterial Activity*. Middle-East Journal of Scientific Research 11 (2): 209-215.
- Álvarez, J. (2012). *Comportamiento agonomico e incidencia de enfermedades en plantas de tomate (solanumlycopersicum L.) injertadas*. Acta agronómica. 61 (2). 117 – 125.
- Anyogu A, Awamaria B, Sutherl JP y Ouoba LII. (2014). *Molecular characterisation and antimicrobial activity of bacteria associated with submerged lactic acid cassava fermentation*. Food Control, 39, 119 – 127.
- Asurmendi P, García MJ, Pascual L, Barberis L. (2015). *Biocontrol of Listeria monocytogenes by lactic acid bacteria isolated from brewer's grains used as feedstuff in Argentina*. Journal of Stored Products Research. 61, 27-31.
- Bloemberg G.V., Girard G., van Rij T, Dubern F, van den Broeck D., Chin-A-Woeng T, Mulders I., Kamilova F, Validov S., de Weert S. and Lugtenberg B.J.J. (2005). *Regulatory mechanisms of secondary metabolite production in beneficial plants associated Pseudomonas sp. In: Biology of plant-microbe interactions*. Vol. 5. Pag.346-351.
- Concha, A. (2008). *Evaluación de una biopelícula con bacterias ácido lácticas y nisina para la inhibición de Listeria monocytogenes en salmón ahumado*. Tesis. Universidad Austral de Chile. Chile. p 66.
- Dal Bello, F. Clarke, C., Ryan, L., Ulmer, H., Schober, T., Ström, K., Sjögren, J., VanSinderen, D., Schnürer, J., & Arendt, E. (2007). *Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain Lactobacillus plantarum FST 1.7*. Journal of cereal science.Irlanda. 45. 309 – 318.
- De Mynck, C., Leroy, A., De Maeseneire, S., Arnaut, F., Soetaert, W. & Vandamme, E. (2004). *Potential of selected lactic acid bacteria to produce food compatible antifungal metabolites*. Microbiological Research.Bélgica. 159. pp 339 – 346.
- El-Mabrok, A., Hassan, Z., Mokhtar, A., Hussain, K., & Kahar, F. (2012). *Screening of lactic acid bacteria as biocontrol against (Colletotrichumcapsici) on chilli* Bangi. Research Journal of Applied Sciences.Malasia. 7. 466–473.
- Emerenini, E. C. Afolabi, O. R. Okolie, P. I. and Akintokun, A. K. (2014). *In vitro Studies on Antimicrobial Activities of Lactic Acid Bacteria Isolated from Fresh Vegetables for Biocontrol of Tomato Pathogens*. British Microbiology Research Journal. 4(3): 351-359.
- Gálvez A, Abriouel H, Benomar N, Lucas R. (2010). *Microbial antagonists to food-borne pathogens and biocontrol*. Current Opinion in Biotechnology. 21(2), 142–148.
- Ghosh R, Barman S, Mukhopadhyay A, Mandal NC. (2015). *Biological control of fruit-rot of jackfruit by rhizobacteria and food grade lactic acid bacteria*. Biological Control. 83, 29-36.

- Gómez R., Hernández L., Cossio, L., López J., Sanchez, R. (2011). *Enfermedades fungosas y bacterianas del cultivo de tomate en el estado de Nayarit*. INIFAP, CIRPAC. Folleto técnico. 19. 85.
- Gutiérrez, L., Montoya, O., Ruiz, O. (2005). *Evaluación del potencial bactericida de los extractos de bacterias ácido lácticas sobre el crecimiento in vitro de E. coli, Salmonella sp. y Listeria monocytogenes*. Revista CENIC Ciencias Biológicas. Cuba. 36. p 6.
- Jalali MD, Khosro I, Ghasemi MF, Khameneh SS. (2012). *Antagonism of Lactobacillus Species against Xanthomonas Campestris Isolated from Different Plants*. Applied Environmental and Biological Sciences. 2(9)480-484.
- Jaramillo, D., Meléndez, A. & Sánchez, O. (2010). *Evaluación de la producción de bacteriocinas a partir de Lactobacilos y Bifidobacterias*. Revista venezolana de ciencia y tecnología de alimentos. Venezuela. 1 (2). 193 – 209.
- Kumar RS, Kanmani P, Yvaraj N, Paari KA, Pattukumar V y Arul V. (2013). *Traditional Indian fermented foods: a rich source of lactic acid bacteria*. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 64(4): 415–428.
- Larrea, H., Flores, M. & Huapaya, J. (2007). *Evaluación de la actividad antimicrobiana de bacterias ácido lácticas. Parte I*. Revista Horizonte Medico. Perú. 7 (1). p 7.
- Mauch, A., Dal Bello, F., Coffey, A. & Arendt, E. (2010). *The use of Lactobacillus brevis PS1 to in vitro inhibit the outgrowth of Fusarium culmorum and other common Fusarium species found on barley*. International Journal of Food Microbiology. Irlanda. 141. 116 – 121.
- Narasimha, K., Malini, M., Savitha, J. & Srinivas, C. (2012). *Lactic acid bacteria (LAB) as plant growth promoting bacteria (PGPB) for the control of wilt of tomato caused by Ralstonia solanacearum*. Pest Management in horticultural ecosystems. India. 18 (1). pp 60 – 65.
- Oranusi, S., Braide, W. & Oguoma, O. I. (2013). *Antifungal properties of the lactic acid bacteria (LAB) isolated from Ricinus communis, Pentaclethra macrophylla and yogurts*. Global Advanced Research Journal of Food Science and Technology. Nigeria. 20 (1). p 6.
- Peter, M., Michel, V., Martínez, V. (2012). *Lactic acid bacteria as biocontrol of soil-borne pathogens*. Biological Control of Fungal and Bacterial Plant Pathogens. Suiza. 78. pp 285 288.
- Reina LD, Breidt F, Fleming HP, Kathariou S. (2005). *Isolation and Selection of Lactic Acid Bacteria as Biocontrol Agents for Nonacidified, Refrigerated Pickles*. Journal of Food Science, 70, 1, M7 – M11.
- Rico, M. (2009). *Capacidad promotora de crecimiento vegetal por bacterias del genero Azotobacter y Actinomicetos aislados de cultivos de Solanum tuberosum Linnaeus, 1753 (papa) cultivados en zonas alto andinas del Perú*. Tesis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú. p 152.
- Rives, N., Acebo, Y. & Hernández, A. (2007). *Reseña bibliográfica: Bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo del arroz (Oryza sativa). Perspectivas de su uso en Cuba*. Cultivos tropicales. Cuba. 28 (2). pp 29 – 38.
- Rodríguez, H. & Fraga R. (1999). *Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion*. Biotechnology advances. Cuba. 17. pp 319 – 339.
- Ronél, V., Wilhelm, H. Holzappel, J., Benzuiden thout Johannes, K. (1986). *Antagonism of Lactic Acid Bacteria against Phytopathogenic Bacteria*. Applied and Environmental Microbiology. Sudaáfrica- 52 (3). pp 552 – 555.

- Savadogo A, Cheik AT, Imael HN, Bassole, Traore A. (2004). *Antimicrobial Activities of Lactic Acid Bacteria Strains Isolated from Burkina Faso Fermented Milk*. Pakistan Journal of Nutrition 3 (3): 174-179.
- Shrestha, A. Seok, B. & Hwan, D. (2014). *Biological control of bacterial spot disease and plant growth-promoting effects of lactic acid bacteria on pepper*. *Biocontrol Science and technology*. República de Corea. 24 (7).p 763 – 779.
- Shrestha, A., Choi, K., Lim, C., Hur, J. & Cho, S. (2009). *Antagonistic effect of Lactobacillus sp. strain KLF01 against plant pathogenic bacteria Ralstonia solanacearum*. The Korean Journal of Pesticide Science. Corea. 13 (1). pp 45 – 53.
- Trias R, Bañeras L, Montesinos E, Badosa E. (2008a). *Lactic acid bacteria from fresh fruit and vegetables as biocontrol agents of phytopathogenic bacteria and fungi*. International Microbiology. 11(4):231-6.
- Trias R, Bañeras L, Badosa E, Montesinos E. (2008b). *Bioprotection of Golden Delicious apples and Iceberg lettuce against foodborne bacterial pathogens by lactic acid bacteria*. International Journal of Food Microbiology 123, 50–60.

Levaduras productoras de etanol: Aislamiento, selección y evaluación

Ethanol producing yeasts: Isolation, selection and evaluation

González L. Adrián⁶⁰

Del Ángel J. A.

González C. José L.

Hernández M. Plácido

*Bustos V. Guadalupe

Resumen

⁶⁰Unidad Académica Multidisciplinaria Mante- Centro, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Blvd. E. C. González 1201 Col. Jardín Cd. Mante Tamaulipas. CP. 89840.

*Contacto: gbustos@gmail.com

La importancia de las levaduras es subrayada por nuestro consumo con frecuencia diario de pan y bebidas fermentadas. Los recientes avances en biotecnología han incrementado nuestra dependencia a ellas para la industria farmacéutica y de productos bioquímicos en grandes cantidades, tales como el etanol. Esto ha provocado la búsqueda de nuevas alternativas para su producción dentro de lo que depende la actividad microbiana, particularmente las levaduras. Existen diversas metodologías que buscan hallar microorganismos con metabolismos extremos, adaptarlos a nuevas condiciones o brindarles genéticamente nuevas propiedades. En general una metodología para hallar microorganismos de interés industrial consta de 3 aspectos: Aislamiento, selección y evaluación. El aislamiento y selección son actividades que se ejecutan en forma complementarias, no se puede hablar de aislamiento sin pensar en poner las pruebas de selección, así un criterio de selección es que las colonias estén puras (sin contaminación de otro microorganismo), que desarrollen en forma “típica” en los medios de aislamiento, y que sobre todo produzcan el metabolito de interés, en este caso el etanol. Y la evaluación permite recrear las condiciones de fermentación que una levadura tendría a nivel industrial y cómo respondería ante estas.

Abstract

The importance of yeasts is underscored by our daily consumption rate of bread and fermented beverages. Recent advances in biotechnology have increased our dependence on them for pharmaceutical and biochemical products in large quantities, such as ethanol. This has prompted the search for new alternatives for production within which depends microbial activity, particularly yeasts; Therefore, there are various methodologies that microorganisms find ends metabolisms, adapt to new conditions or genetically provide new properties. In general methodology to find microorganisms of industrial interest has 3 aspects: Isolation, selection and evaluation. Isolation and selection are running activities in complementary way, you can not talk without thinking insulation put the selection tests and selection criteria it is that the colonies are pure

(no other microorganism contamination), which developed in how “typical” media isolation, and above all produce the metabolite of interest, in this case ethanol. And evaluation can recreate the conditions that a yeast fermentation at industrial level and would like respond to these.

Introducción

La importancia de las levaduras es subrayada por nuestro consumo, con frecuencia diario, de pan y bebidas fermentadas. Los recientes avances en biotecnología han incrementado nuestra dependencia a ellas para la industria farmacéutica y de productos bioquímicos en grandes cantidades, tales como el etanol (Kurtzma, Fell, & Boekhout, 2011). La gran aplicabilidad del etanol en procesos tradicionales y el actual interés que presenta como combustible líquido, lo convierten en uno de los compuestos de mayor importancia para la industria en especial para la química, por ello se ha buscado nuevas alternativas para su producción dentro de lo que depende la actividad microbiana, particularmente las levaduras. Existen diversas metodologías que buscan hallar microorganismos con metabolismos extremos, adaptarlos a nuevas condiciones o brindarles genéticamente nuevas propiedades (Stanbury, Hall, & Whitaker, 1995), (Madigan, Martinko, & Parker, 2003).

La obtención de levaduras productoras de etanol es una práctica que viene ejecutando el hombre desde hace varios miles de años, con el objeto de producir alcohol, bebidas alcohólicas, bebidas destiladas, pan, y alimentos fermentados. Como sabemos los medios de aislamiento y evaluación de la capacidad fermentativa juegan un rol importantísimo en la obtención de levaduras productoras de etanol. El aislamiento y selección son actividades que se ejecutan en forma complementarias, no se puede hablar de aislamiento sin pensar en poner las pruebas de selección, así un criterio de selección (Screening) es que las colonias estén puras (sin contaminación de otro microorganismo), que desarrollen en forma “típica” en los medios de aislamiento, y que sobre todo produzcan el metabolito de interés, en este caso el etanol. Sabemos también que las muestras pueden tener una serie de microorganismos acompañantes, por lo que las técnicas de aislamiento tienen que ser efectivas para lograr aislar cultivos puros de levaduras (Robles, Miranda, & Lora, 2012). La estructura de un proceso de obtención de microorganismos para su aplicación a escala industrial puede seguir distintos lineamientos, pero un esquema general se muestra en la Figura 1.

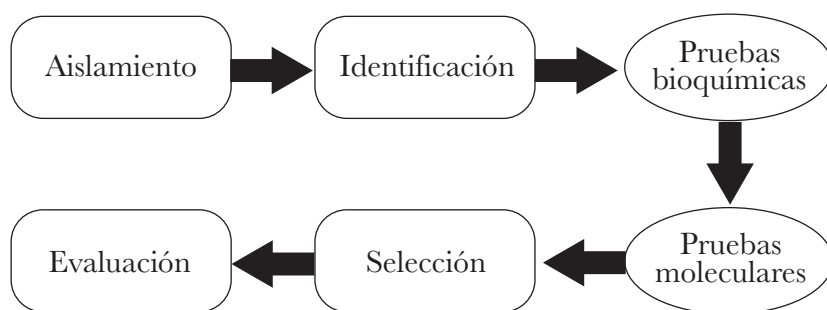


Figura 1. Proceso general de obtención de microorganismos para la aplicación industrial (fuente: Elaboración propia).

Dado que la identificación de los microorganismos mediante pruebas bioquímicas o moleculares rebasa el interés del tema y por ser un aspecto del proceso demasiado amplio no se tratará aquí. Tampoco se hace referencia a una levadura en específico ya que el interés del tema es general.

Aislamiento

Las levaduras se aíslan de una amplia gama de habitats como el acuático, marino, atmosférico y terrestre. Están ampliamente distribuidos en la naturaleza, sus habitats puede ser no solo las capas superiores del suelo, sino también muchas materias orgánicas, sobre todo las de origen vegetal que contienen hidratos de carbono, también se pueden aislar del suelo de viñedos y huertos, superficies de frutas dulces como uvas, manzanas, limón, etc., de las hojas y otras partes de la planta, asimismo, se puede aislar de las frutas y verduras, en los que se producen la fermentación del azúcar con desprendimiento de CO₂ y liberación de etanol (Mossel, Moreno, & Struijk, 2006). Muchas se reproducen ampliamente, mientras algunas otras parecen limitarse a habitats específicos, rara vez se encuentran en ausencia de mohos o bacterias las que lo hacen son conocidas como levaduras *killer*, éstas generan compuestos que son tóxicos para otros microorganismos provocando su muerte. En consecuencia, las técnicas de aislamiento se utilizan a menudo para la recuperación de levaduras, empleando medios de cultivo que permiten que las levaduras crezcan, y a su vez provoquen la supresión de los mohos y bacterias. Estos medios de cultivo explotan el hecho de que las levaduras son generalmente capaces de desarrollarse a niveles de pH y actividades de agua (AW) que reducen o inhiben el crecimiento de bacterias. Estos medios también pueden incluir antibióticos o agentes fungistáticos para la represión de los mohos (Kurtzman, y *col.*, 2011).

Los dos medios de cultivo más utilizados para aislar, seleccionar y evaluar levaduras son el YPD, este es un medio es muy usado en procesos de microbiología molecular para el mantenimiento y propagación de levaduras. Contiene peptona como una fuente de carbono, nitrógeno, vitaminas y minerales, el extracto de levadura suple de vitaminas del complejo B que estimulan el crecimiento microbiano, la dextrosa que es la fuente de carbohidratos y agar como agente solidificante. Las levaduras crecen bien en un medio mínimo que contenga solo dextrosa y sales. La adición de proteína y extracto de células de levaduras hidrolizadas aportan todos los aminoácidos necesarios para permitir un rápido crecimiento durante la fase exponencial, las células se dividen cada 90 minutos (DIFCO & BBL, 2009; Anubrata & Rajendra, 2015). La composición típica de YPD caldo es extracto de levadura 1% (p/v), peptona 2% (p/v), y dextrosa 2% (p/v) y agar 2% (p/v) para el YPD agar (Skowrya & Doering, 2012). Y el agar papa dextrosa (APD) es usado para el mismo fin (Murray, y *col.*, 2007), es un medio de propósito general para levaduras y mohos que pueden ser suplementado con ácido o antibióticos para inhibir el crecimiento bacteriano. Se utiliza en los métodos de recuento de placa al probar alimentos (Tournas, y *col.*, 2001), productos lácteos (Wehr & Frank, 2004), y cosméticos (Hitchins, Tran, & McCarron, 2001). La USP (2009) enlista al Agar Papa Dextrosa como uno de los medios recomendados para uso en los tests de enumeración microbiana al probar los productos farmacéuticos no estériles. Cualquier sustrato que se

pretenda fermentar debe asemejarse a los dos mencionados anteriormente, en combinación con algunas técnicas de aislamiento. Las técnicas más utilizadas para el aislamiento de levaduras son la de siembra por extensión en superficie y la de siembra por estrías.

Los medios de cultivo son solo uno de los aspectos a considerar para el aislamiento de levaduras, existen diversos factores que se deben tomar en cuenta al querer aislar cualquier microorganismo como ya se mencionó, pH, actividad de agua (AW), temperatura y presión osmótica. Se sabe que es más efectivo el uso de cultivos autóctonos de levaduras que ya que se encuentran adaptadas a las condiciones climáticas de la zona y a la materia prima a fermentar.

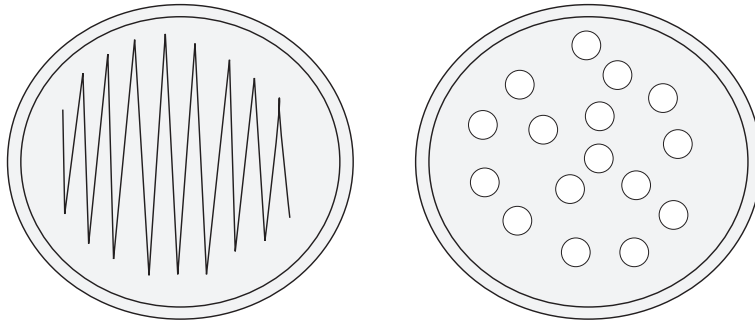


Figura 2. Técnicas de siembra en placas por estrías y extensión en superficie, (Fuente: elaboración propia).

Selección

La selección de levaduras ha traído consigo la utilización de levaduras autóctonas con excelentes resultados en muchos países, obteniéndose productos finales de calidad que los que comúnmente se producen. A pesar de que existen levaduras comerciales para realizar fermentaciones, ha resultado más efectivo el uso de levaduras aisladas de diferentes materiales, presentando mejores características que son ideales para la producción de etanol (Torija Martínez, 2002).

El éxito de cualquier modificación está limitado por el comportamiento del microorganismo seleccionado. Es por esto que es esencial considerar aquel microorganismo que muestre de mejor manera las características deseadas, bajo condiciones ambientales específicas. Debido a esto, el éxito o fracaso de un proceso fermentativo depende del tipo de levadura y dentro de su selección se debe considerar algunos requisitos generales como: (Mariscal, 2011):

- El tipo de cepa a implementar debe ser genéticamente estable.
- Alta velocidad de crecimiento.
- Debe estar libre de contaminantes.
- Sus requerimientos nutricionales deben ser satisfechos con medios de cultivo económicos.
- Fácil conservación por periodos de tiempo elevados, preservando sus características metabólicas y fisiológicas.
- Debe llevar a cabo el proceso de fermentación completo en periodos cortos de tiempo.
- Debe generar alto rendimiento del producto y este debe ser fácilmente separable del medio de fermentación.
- Debe satisfacer características particulares según el tipo de producto.

Todas estas características hacen ideales a las levaduras reflejando la complejidad de los procesos fermentativos y aún más, los problemas de encontrar microorganismos adecuados por rutas de mejoramiento y selección, aunque al final, estos procedimientos suelen generar grandes beneficios. La selección de la cepa adecuada para cada tipo de fermentación es una estrategia muy importante para garantizar una fermentación con rendimientos aceptables que la hagan una cepa competitiva a nivel industrial.

Si las cepas seleccionadas tienen un interés comercial, quedan 2 últimos pasos para terminar el ciclo que es su evaluación a escala piloto o industrial y la deshidratación. No todas las cepas resisten bien ni mantienen sus características tras el secado y la posterior rehidratación y por tanto, aunque se trate de una cepa de características extraordinarias, si no se puede deshidratar, no será una buena levadura para su uso industrial.

Seleccionar microorganismos adecuados para la fermentación, cuyas características metabólicas se ajusten con el tipo de sustrato, las condiciones de operación y otros requerimientos particulares, permite maximizar la productividad de etanol y tener un mejor control y conocimiento del proceso desarrollado (Balat & Balat, 2009). Debido a que la fermentación alcohólica es un proceso complejo y dado la cantidad de variables que intervienen, los procedimientos de selección de microorganismos no son realizados con frecuencia en las industrias productoras de bioetanol. Esto se debe principalmente a los elevados costos de experimentación, a los altos requerimientos de tiempo y de personal especializado además de la carencia de estudios que generen criterios y presenten herramientas claras para la valoración y selección de microorganismos, especialmente aquellos enfocados a la utilización de materias primas azucaradas (Mariscal, 2011). Muchos investigadores recomiendan que los esfuerzos deberían estar dirigidos hacia la identificación de cepas termoestables y etanol resistentes con un amplio espectro de la utilización del sustrato y una capacidad de producir cantidades sustanciales de etanol a temperaturas que son óptimas para la sacarificación (Babiker, y otros, 2010).

Evaluación

Una gran cantidad de microorganismos se reportan en la literatura para la producción de etanol a escala de laboratorio, pero muy pocos de éstos tienen aplicación actualmente a nivel industrial. Cepas silvestres de diferentes microorganismos, por sus características bioquímicas, asimilan diferentes compuestos transformándolos en etanol, pero sus bajos rendimientos, su difícil propagación, la generación de subproductos, el estrecho abanico de sustratos asimilables, su baja tolerancia a distintas sustancias y condiciones, entre otras características, hacen que solo unas pocas tengan actual y exitosa aplicación a escala piloto o industrial (Mariscal, 2011).

Las cepas de levaduras convencionales y no convencionales poseen la capacidad de producir etanol bajo distintas condiciones operativas y nutricionales durante la fermentación, mostrando distintos rendimientos en la producción de biomasa y etanol (Pérez, y col., 2013). Además de etanol y CO₂, diversos subproductos también se producen durante la fermentación de etanol. Uno de ellos es el glicerol; se produce a un nivel de aproximadamente 1,0% (p/v) para

la mayoría de las fermentaciones alcohólicas. Un pH superior, aumento de la presión osmótica, menor flujo de piruvato debido a la utilización de productos glicolíticos intermedios posteriores a la etapa en la ruta produciendo NAD reducido para biosíntesis todos estos elementos pueden estimular la conversión de dihidroxiacetona fosfato a glicerol (Ingledeew, 1999).

Otros subproductos tales como ácidos orgánicos y alcoholes superiores se producen a niveles mucho más bajos. La producción de éstos, así como el crecimiento de las células de levaduras, disminuyen el rendimiento de etanol en cierta medida. En la industria, la producción de etanol que se calcula en base a la alimentación total de azúcar en el sistema de fermentación sin deducción del azúcar residual puede ser tan alta como 90 a 93% del valor teórico (Ingledeew, 1999). El azúcar residual debe ser controlado a un nivel muy bajo. Por ejemplo, en el la producción de etanol a partir de materiales de almidón el azúcar reductor residual y el azúcar total residual no debe sobrepasar de 2 g/L y 5 g/L respectivamente. Cualquier investigación sobre fermentación alcohólica que se espera que sea práctica tiene que soportar estos criterios.

Durante la fermentación alcohólica, las levaduras sufren diversas tensiones. Algunas son la ambiental, deficiencia de nutrientes, altas temperaturas y contaminación, mientras que las otras afectan el metabolismo de las levaduras como la acumulación de etanol y su inhibición correspondiente en el crecimiento de éstas y la producción de etanol (Figura 2). Muchos de esos factores de tensión actúan en sinergia, afectando a las células con mayor severidad que uno solo, lo que lleva a reducción de la viabilidad de la levadura y vigor, así como un menor rendimiento de etanol (Bai, Anderson, & Moo-Young, 2008). Durante la producción de etanol y otros procesos industriales, las células de levadura usualmente no encuentran el medio ambiente óptimo y son expuestas simultánea y secuencialmente a una serie de condiciones de estrés (Zuzuarregui & del Olmo, 2004).

Todos estos aspectos deben ser considerados en una correcta evaluación de las levaduras, ya que de eso depende que los costos a nivel industrial sean mínimos. Los microorganismos seleccionados deben ser probados en condiciones de planta piloto para evaluar el rendimiento real del producto y el comportamiento del microorganismo, antes de ser escalado. El diseño experimental planteado es una buena herramienta para la evaluación y predicción del comportamiento de un microorganismo, para comparar microorganismos y para seleccionar condiciones de operación que maximicen la productividad del proceso, incluyendo nuevas alternativas de operación. (Mariscal, 2011).

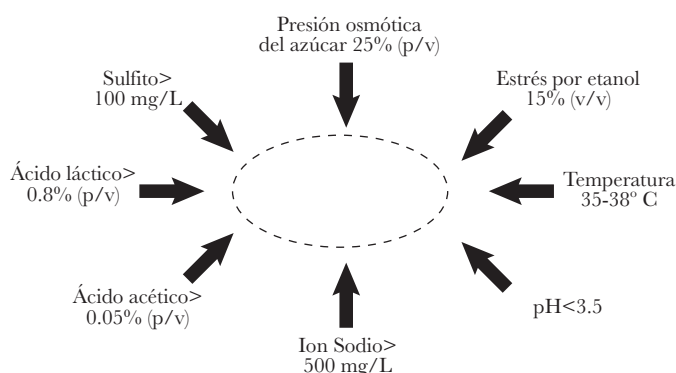


Figura 3. Tensiones de las levaduras durante la fermentación alcohólica (Ingledeew, 1999).

A nivel planta piloto o a escala industrial, la asepsia no es la misma que a nivel laboratorio. Esto ha generado múltiples inconvenientes en relación con la contaminación y la presencia de levaduras que no pertenecen a la cepa inicialmente sembrada, conocidas como levaduras salvajes, las cuales ocasionan mayores contaminantes denominados bastoncelos o bacillus. Dichos contaminantes ocasionan pérdidas de materias primas (Zuluaga, 2011). Por eso, debe evaluarse la capacidad *Killer* de la levadura productora de etanol que se pretende utilizar a nivel industrial ya que si esta es demasiado susceptible a contaminación, provocara problemas graves en la industria.

La evaluación de la levadura de interés debe hacerse en última instancia en el sustrato que fermentaría a nivel industrial y tratando de asemejar las condiciones que tendría la fermentación a ese nivel. No es la misma cantidad de energía que genera un medio de cultivo en un matraz, o en un contenedor de 100 litros, que en un reactor de 10 000 litros. La levadura debe generar tal energía que no provoque un sobrecalentamiento en el reactor, ya que el proceso además de acelerarse a un nivel no deseado podría significar la pérdida del lote. Una correcta evaluación de la cepa de interés debe asemejar todas y cada una de las condiciones que tendría estando en la industria, tales como pH, temperatura, concentración de sustrato, agitación, etc. Los diseños experimentales consisten en ir probando uno o 2 factores a la vez, que generan resultados imprecisos y mínimos. Un buen diseño experimental, tal vez uno factorial en el que se evalúe la interacción de distintos factores, podría significar resultados en masa y dar una perspectiva clara de cuál sería en comportamiento de la levadura a un nivel comercial.

Conclusión

La mayor importancia de las levaduras recae sobre la producción de etanol y es el aspecto más valorado a nivel industrial, existe una gran cantidad de levaduras que producen etanol, unas conocidas y otras no, aunque, cada día que pasa se conocen nuevas especies con diversas características de interés industrial y no. Un buen proceso que busque nuevas levaduras con propiedades alcohólicas deberá ser bien establecido y seguido al pie de la letra para evitar llevar levaduras de “no interés” hasta la última etapa del proceso que es la evacuación, y que solo traería resultados no significativos, trabajo y tiempo desperdiciado, así como pérdidas económicas. Un correcto aislamiento traerá consigo mucho material para trabajar, una buena selección permitirá crear un filtro para las levaduras que no tienen la capacidad de trabajar a un nivel industrial y una correcta evaluación permitirá saber la reacción que tendrán ante ciertas condiciones favorables y no favorables. Los aspectos son muy claros, el tomarlos a consideración traerá consigo resultados favorables en la búsqueda de levaduras que presenten buenos rendimientos de etanol y otros aspectos importantes dependiendo del objetivo.

Bibliografía

- Anubrata, P., & Rajendra, D. (2015). Characterization of Protein Involved in Nitrogen Fixation and Estimation of Co-Factor. *International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology*, 2(1), 89-97. Recuperado el 08 de 06 de 2015, de <http://ijcrbp.com/vol-2-1/Anubrata%20Paul%20and%20Rajendra%20Dubey.pdf>
- Babiker, M., Abdel-Banat, Hoshida, H., Ano, A., Nonklang, S., & Akada, R. (2010). High-temperature fermentation: how can processes for ethanol production at high temperatures become superior to the traditional process using mesophilic yeast? *Appl Microbiol Biotechnol*, 85, 861–867. doi:10.1007/s00253-009-2248-5
- Bai, F.W., Anderson, W.A., & Moo-Young, M. (2008). Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. *Biotechnology Advances*, 26, 89-105.
- Balat, M., & Balat, H. (2009). Recent trends in global production and utilization of bioethanol fuel. *Applied Energy*, 86 (11), 2273-2282. Recuperado el 15 de 06 de 2015
- DIFCO, & BBL. (2009). *Manual of microbiological culture media* (Segunda ed.). (M. J. Zimbro, D. A. Power, S. M. Miller, G. E. Wilson, & J. A. Johnson, Edits.) Spark, Maryland, USA: Becton, Dickinson and Company. Recuperado el 05 de 06 de 2015, de https://www.bd.com/ds/technicalCenter/misc/difcoblmanual_2nded_lowres.pdf
- Hitchins, A. D., Tran, T. T., & McCarron, J. E. (2001). Microbiological Methods for Cosmetics. En F. a. Administration, & FDA (Ed.), *Bacteriological Analytical Manual* (OCTAVA ed.). Silver Spring, USA. Recuperado el 08 de 06 de 2015, de <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm073598.htm>
- Ingledeu, W. M. (1999). Alcohol production by *Saccharomyces cerevisiae*: a yeast primer, in the alcohol textbook. *Nottingham University Press*.
- Kurtzma, C. P., Fell, J. W., & Boekhout, T. (2011). *The yeasts, a taxonomic study* (Quinta ed., Vol. 1). (ELSEVIER, Ed.) Nueva York, USA. Recuperado el 01/06/2015
- Kurtzman, C. P., Fell, J. W., Boekhout, T., & Robert, V. (2011). Methods for Isolation, Phenotypic Characterization and Maintenance of Yeasts. En C. P. Kurtzman, J. W. Fell, T. Boekhout, & Elsevier (Ed.), *The Yeasts, a Taxonomic Study* (Quinta ed., Vol. 1, págs. 87- 110). Nueva York, USA. Recuperado el 06/ 08/2015
- Madigan, M., Martinko, J., & Parker, J. (2003). *Biología de los microorganismos*. Madrid: Pearson Educación.
- Mariscal, J. (2011). Evaluación y selección de microorganismos para la producción de etanol a nivel industrial. *TESIS de Magister en Ingeniería Química*. Manizales, Colombia.
- Mossel, D., Moreno, B., & Struijk, C. (2006). *Microbiología de los alimentos* (Segunda ed.). España: Acribia.
- Murray, P. R., Baron, E., Jorgensen, J., Landry, M., & Pfaller, M. (2007). *Manual of Clinical Microbiology* (Novena ed., Vol. 1). Nashville, Tennessee, USA: American Society for Microbiology (ASM). Recuperado el 08 de 06 de 2015, de <http://cid.oxfordjournals.org/content/46/1/153.1.full>

- Pérez, E., González-Hernández, J., Chávez-Parga, M., & Cortés-Penagos, C. (Diciembre de 2013). CARACTERIZACIÓN FERMENTATIVA DE LEVADURAS PRODUCTORAS DE ETANOL A PARTIR DE JUGO DE Agave cupreata EN LA ELABORACIÓN DE MEZCAL. (U. A. Iztapalapa, Ed.) *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12 (3), 451-461. Recuperado el 15 de 06 de 2015, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62029966008>
- Robles, H., Miranda, H., & Lora, C. (2012). Aislamiento de levaduras productoras de etanol a partir de chicha de jora del Mercado “Mayorista” de Trujillo (Perú). (U. N. Perú, Ed.) *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, 32 (2), 48-55. Recuperado el 15 de 06 de 2015
- Skowrya, M. L., & Doering, T. L. (2012). RNA Interference in *Cryptococcus neoformans*. *Methods Mol Biol*, 845, 165–186. doi:10.1007/978-1-61779-539-8_11
- Stanbury, P., Hall, S., & Whitaker, A. (1995). Principles of fermentation technology. *Elsevier Science*.
- Torija Martínez, M. (2002). ECOLOGÍA DE LEVADURAS: SELECCIÓN Y ADAPTACIÓN A FERMENTACIONES VÍNICAS. *Memoria de grado de Doctora en Bioquímica*. Tarragona.
- Tournas, V., Stack, M. E., Mislivec, P. B., Koch, H. A., & Bandler, R. (2001). Yeasts, Molds and Mycotoxins. En F. a. Administration, & FDA (Ed.), *Bacteriological Analytical Manual* (Octava ed.). Silver Spring, USA. Recuperado el 08 de 06 de 2015, de <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm071435.htm>
- United States Pharmacopeia, USP. (2009). MICROBIOLOGICAL EXAMINATION OF NONSTERILE PRODUCTS: MICROBIAL ENUMERATION TESTS. En U. United States Pharmacopeia, *Microbiological Tests*. Rockville (Maryland), USA. Recuperado el 08 de 06 de 2015, de http://www.usp.org/sites/default/files/usp_pdf/EN/USPNF/generalChapter61.pdf
- Wehr, H. M., & Frank, J. F. (2004). *Standard Methods for the Examination of Dairy Products* (Diecisiete ed.). Washington, D.C.: American Public Health Association. Recuperado el 08 de 06 de 2015, de <http://ajph.aphapublications.org/doi/book/10.2105/9780875530024>
- Zuluaga, J. P. (2011). Técnicas Microbiológicas para el Apoyo en el Proceso de Fermentación. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*.
- Zuzuarregui, A., & del Olmo, M. (2004). Analyses of stress resistance under laboratory conditions constitute a suitable criterion for wine yeast selection. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 84 (2), 271-280.

La Biotecnología y las tecnologías limpias

Biotechnology and clean technology

*J. Alfredo del Ángel del Ángel⁶¹
Nubia R. Rodríguez Durán
Ma. Guadalupe Bustos Vázquez
Adrian González L.
Nadia A. Rodríguez Durán

Resumen

⁶¹Unidad Académica Multi-disciplinaria Mante, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Blvd. E. C. González 1201 Col. Jardín Cd. Mante Tamaulipas. CP. 89840. *Contacto: a_delangel@hotmail.com

Los avances actuales de la ciencia y tecnología son notorios en las diversas regiones del mundo. Tales avances cambian y pueden mejorar el entorno y el estilo de vida. La educación, las comunicaciones, la salud de la población, la alimentación, la producción de energía y el desarrollo de productos son algunos aspectos impactados por el desarrollo tecnológico. Sin embargo, este mismo desarrollo alcanzado en aras de mejorar el entorno ha provocado un fuerte impacto en el medio ambiente, esto podría llegar a ser irreversible y ha aumentado los esfuerzos para evitar o minimizar los daños. Las tecnologías limpias se han impulsado en los últimos años sustentadas en la biotecnología y los avances de los años recientes para apoyar la producción de alimentos, la obtención de fuentes de energías, la remediación y el cuidado del medioambiente. Este trabajo busca analizar algunos de los avances en investigación e implementación de tecnologías limpias en el presente y el futuro inmediato.

Abstract

Current advancement of science and technology has been perceived in the various regions of the world. Such advances can change and improve the environment and lifestyle. Education, communications, population health, food, energy production and product development are some of the aspects that impacted technological development. Yet this same development has been achieved in order to improve the environment has had an impact on the environment which could become irreversible, because this has increased the effort to avoid or minimize such impact. Clean technologies have promoted in recent years. Biotechnology and advance of recent years have become a tool for clean technologies either in food production, obtaining energy sources, remediation and environmental care. This paper analyzes some of the advances in research and implementation of clean technologies in present and immediate future.

Introducción

Día a día, el ser humano avanza en el mundo de la ciencia, los nuevos descubrimientos desmitifican las imposibilidades de tiempos pasados y aceleran la carrera hacia el futuro. La raza humana avanza de manera inteligente más allá

de la imaginación de los científicos de las décadas anteriores (Hove, 2012). En los últimos años el avance de la ciencia y tecnología ha impactado alrededor del mundo incluso en regiones como el África subsahariana; que presenta problemas de pobreza, salud pública y conflictos civiles. Ahí se detecta un desarrollo que impacta en indicadores como el aumento de esperanza de vida, disminución de tasa de mortalidad infantil y el acceso a servicios como el agua potable; el avance en computación ha permitido un progreso espectacular en muchos aspectos de la sociedad. Los teléfonos celulares y computadoras baratas permiten el uso de Internet, incluso en las zonas rurales de los países en desarrollo, con importantes implicaciones para la educación. Además la ingeniería genética y la biotecnología experimentan el desarrollo más revolucionario en la segunda mitad del siglo pasado (UNESCO, 2014) El desfile de las nuevas tecnologías y los avances científicos es implacable y se desarrolla en muchos frentes. Sin embargo, algunas tecnologías tienen el potencial de alterar el statu quo, alteran la manera de vivir y trabajar ante la producción de materiales con cualidades increíbles, tecnología de almacenamiento de energía que incluye baterías y otros sistemas que almacenan energía para su uso posterior, la capacidad de extraer las reservas de petróleo y gas no convencionales de las formaciones de esquisto una revolución de la tecnología que cobra fuerza en las últimas décadas. (Manyika, Chui, Bughin, Dobbs, Bisson, & Marrs, 2015). El desarrollo tecnológico actual ha producido un alto impacto ambiental sobre todo por concentrarse el desarrollo en ciertas áreas geográficas.

Tecnologías limpias

Tecnología limpia (*cleantech*), o tecnología verde es un término relativamente nuevo en el léxico emprendedor mexicano. Hace tan sólo algunos años, la noción de *cleantech* era prácticamente inexistente; hasta el cambio climático fue que se convirtió en foco de atención. La tecnología limpia dio origen a una nueva cultura de innovación sustentable, México presenta grandes oportunidades en distintas áreas, incluyendo eficiencia energética, generación de energía, manejo de residuos y tecnología agua. se ha evolucionado en generación de energía (solar, eólica), se han desarrollado sistemas de ahorro de recursos hídricos y un manejo de residuos evolucionados y ahora se incluye la producción de gas y diesel sintético, así como también el aprovechamiento de todo tipo de residuo, orgánico e inorgánico (Aguirre, 2013). Las cuestiones ambientales actuales han desencadenado una fuerte conciencia ambiental entre consumidores, comunidades y gobiernos que ha influido sustancialmente en la empresa en lo que respecta a la selección de la tecnología verde (Xia, Chen, & Zheng, 2014).

Algunos sectores como construcción, transporte y agricultura han evolucionado aplicando la práctica de tecnología limpia, incluyendo calentadores solares, reciclado *in-situ* de residuos, captación de agua pluvial, e incorporación de materiales y procesos innovadores y certificablemente sustentables. El transporte ha tenido cambios en sistemas de combustión (más eficientes, sistemas híbridos y, vehículos eléctricos). La agricultura ha cambiado también, incluyendo avances en agricultura orgánica, sino también en términos de plaguicidas, fertilizantes y sistemas eficientes de riego, siembra y recolección. (Aguirre, 2013) Las empresas generalmente forman su plan estratégico para el desarrollo y aplicación de la

tecnología verde en cooperación con sus principales grupos de interés, éstos desempeñan un papel importante en este proceso de toma de decisiones. (Xia, Chen, & Zheng, 2014).

Fermentación de productos de interés

Jicamao nabo Mexicano (*Pachyrhizuserosus L*) es una planta nativa que crece bien en regiones tropicales y subtropicales; en suelos pobres y ácidos a los que se ha agregado materia orgánica. Muchos subproductos se pueden recuperar después del tratamiento de la raíz tuberosa de jícama. Enzimas amilolíticas son usadas para liberar glucosas que se usan como materia prima en la industria para su transformación biotecnológica a diversos productos de interés (Bettín & Quintero, 2010) por lo que el almidón podría ser utilizado como sustrato por enzimas amilolíticas para producir jarabes ricos en glucosa. El almidón de jícama también ha sido considerado como un sustrato para la producción de ácido cítrico de quitina y quitosano así como vino de jícama; además se le considera un medio de cultivo barato. Otro producto de gran interés es la producción de etanol biocombustible incluso se plantea un proceso basado en la economía circular, utilizando *P. erosus* como materia prima para producir combustible. (Ramos-de-la-Peña, Renard, Wicker, & Contreras-Esquivel, 2013)

Actualmente se produce etanol como biocombustible a partir de materiales con alto contenido en mono y disacáridos: sacarosa, glucosa, fructosa y maltosa; caña de azúcar y remolacha, principalmente y fuentes amiláceas como cereales (maíz, soya, etc), papa y yuca. Para esto se utiliza la levadura *Saccharomyces cerevisiae* para llevar a cabo el proceso de fermentación (Carreón R., Ramos L., Centeno L., Leal R., Martínez J., & Fernández S., 2009; Cardona, Montoya, & Quintero, 2004) El bioetanol es un biocombustible muy atractivo para la industria del automóvil ya que es miscible con la gasolina de petróleo y se puede utilizar en mezclas. El uso de materiales de desecho lignocelulósicos como una fuente de glucosa para la fermentación microbiana en bioetanol es de mucho interés (Field, y otros, 2015)

Varios países promueven políticas para la producción de bioenergía, en especial biocombustibles. Si éstas se desarrollan de forma ambiental, social y económicamente sostenible, serán una oportunidad estratégica para el desarrollo y la diversificación de las matrices energéticas. Los biocombustibles son de gran interés al presentarse como una oportunidad de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. (FAO, 2015) En México la producción de energía primaria está altamente concentrada en los hidrocarburos. Del total de la energía producida, más del 90% está basada en los hidrocarburos: petróleo crudo 72%; gas asociado 11.5%; gas no asociado 5.5%; condensados 1.7% (Enríquez Poy, 2013). En México, sólo 9.5% de la oferta total de energía es renovable, mientras que en Brasil 38.7% de su energía es de fuentes renovables. Además, habría que aclarar que la poca energía renovable que se produce en México, a diferencia de Brasil, es fundamentalmente hidráulica, solar y eólica, y no se utilizan hasta el momento la producción comercial de biocombustibles a partir de cultivos agrícolas o forestales. (Becerra Pérez, 2009)

En México el proceso de fermentación es usado principalmente en fabricación de bebidas, como solvente y material de curación utilizando azúcares

provenientes de melazas, de ingenios azucareros, de azúcares obtenidos del agave y de granos en general. (Carreón R., Ramos L., Centeno L., Leal R., Martínez J., & Fernández S., 2009) (Carreón et al., 2009). El bioetanol es un biocombustible muy atractivo para la industria del automóvil ya que es miscible con la gasolina de petróleo y se puede utilizar en mezclas. El uso de materiales de desecho lignocelulósicos como una fuente de glucosa para la fermentación microbiana en bioetanol es de gran interés (Field, y otros, 2015).

Los modelos de desarrollo modernos presentes en las diferentes regiones durante el siglo pasado han producido un alto impacto social y ambiental.

Biotecnología y Energía

Biogás: El metano de origen fósil se utiliza cada vez más como combustible para vehículos en todo el mundo, es un desarrollo impulsado por los beneficios ambientales como la reducción de la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero de la zona, en comparación con la gasolina y el diesel. El metano producido a partir de biomasa a través de la digestión anaeróbica, o biogás, también se utiliza cada vez más como combustible para vehículos, pero las cantidades son todavía marginal. La producción actual de biogás es con residuos orgánicos y subproductos, pero la gran demanda se ha traducido en la necesidad de desarrollar nuevos sistemas de biogás a base de otras materias primas, como ciertos cultivos, ya que la cantidad de residuos y subproductos disponibles es limitada. (Börjesson, Prade, Lantz, & Björnsson, 2015). Un aumento de la oferta de biocombustibles basada en la agricultura de materia prima incluirá diversos cultivos y residuos, que todos dan diferentes rendimientos de energía por hectárea, pero también tienen diferente comportamiento medioambiental y económico. Esto complica la cuestión de qué cultivos son preferibles para la producción de combustible sostenible, renovable y hace hincapié en la necesidad de desarrollos actualizados y más en las evaluaciones del ciclo de vida (Börjesson, Prade, Lantz, & Björnsson, 2015).

En las plantas de biogás los residuos agrícolas y cultivos energéticos se convierten en metano; por comunidades microbianas complejas, para la producción de energía renovable. Se han llevado a cabo investigaciones de la composición microbiana en una planta de biogás por medio de análisis metaproteómico.

Las diferencias de los perfiles de proteínas permite la discriminación entre mesófilos y termófilos en plantas de biogás (Heyer, y otros, 2013). Nuevas cepas aisladas capaces de degradar los hidrocarburos y la producción de surfactantes. En particular, obtuvieron una colección cepas, adaptadas a crecer en un medio mínimo suplementado con aceite crudo, de los sedimentos y el agua de mar contaminados (Mahjoubi, y otros, 2013).

Biotecnología ambiental

La alta tecnología de plantas de tratamiento de aguas residuales implica grandes inversiones de capital y costos operativos; por razones económicas tales sistemas no son aplicables para el tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades y explotaciones ganaderas en las zonas rurales, los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales han ido ganando importancia

como una alternativa de bajo costo y eficaz para el tratamiento de aguas en zonas rurales (Chen, Luo, Sato, Wakatsuki, & Masunaga, 2009).

Los disolventes se utilizan a diario en numerosos procesos industriales. Se estima que comprenden casi el 60% de todas las emisiones industriales y el 30% de todas las emisiones de compuestos orgánicos volátiles mundial. Ya en 1991 se abordó la necesidad de reducción de disolventes nocivos, y hoy en día este concepto ha superado los círculos académicos y se legisla al respecto donde se busca la reducción de disolventes peligrosos en la industria (Bubalo, Vidović, Redovniković, & Jokić, 2015).

Ecología microbiana y la biotecnología ambiental están intrínsecamente ligados entre sí: la ecología microbiana proporciona la base científica para los procesos utilizados para lograr los objetivos prácticos de la biotecnología ambiental, y los procesos de la biotecnología ambiental proporcionan los ecosistemas interesantes a los ecólogos microbianos para estudiar y avanzar en sus conceptos y métodos. En última instancia, los biotecnólogos ambientales aplican conceptos y herramientas de ecología microbiana para gestionar sus procesos. La prestación de servicios con las comunidades microbianas de biotecnología ambiental son autos sostenibles. Estos proporcionan una amplia gama de servicios como: detoxificación de aguas contaminadas, aguas residuales, lodos, sedimentos o suelos; captura de los recursos renovables, especialmente la energía y el agua; detección de contaminantes o patógenos en el medio ambiente. (Rittmann, 2006). La ecología microbiana tiene como objetivo comprender las comunidades microbianas y cómo las comunidades interactúan con su entorno los estudios buscan conocer la estructura de la comunidad microbiana; el potencial fenotípico de la comunidad; la función de la comunidad; y las interrelaciones entre los miembros de la comunidad y con su entorno (Rittmann, 2006).

Biocidas se pueden dividir en desinfectantes, conservantes, control de plagas y otros productos biocidas; incluyendo aproximadamente 955 sustancias y 372 sustancias notificadas. Entre los biocidas obtenidos de plantas aparecen aceites esenciales de plantas usadas como pesticidas verdes, extractos de plantas y sus derivados, formulación antimicrobiana compuesta, péptidos antimicrobianos, enzimas y compuestos orgánicos volátiles de bacterias. Los biocidas se pueden añadir a otros materiales para protegerlos contra la infestación y el crecimiento biológico. Como la innovación tecnológica, la Revolución Verde sustituye “una forma de vida con otro en un corto espacio de dos décadas”. Esta visión alternativa de la introducción de los cambios tecnológicos en la agricultura como una orientación rector es que la tecnología es sólo una parte de una estructura agrícola integrada. Los biocidas son de suma importancia, por ejemplo para controlar la formación de limo en las fábricas de papel (Ashraf, Ullah, Ahmad, Qureshi, Balkhair, & Rehman, 2014).

Bibliografía

- Aguirre, L. (07 de 08 de 2013). *Forbes México*. Recuperado el 07 de 07 de 2015, de <http://www.forbes.com.mx/tecnologia-limpia-la-nueva-clave-para-la-vida-cotidiana/>
- Ashraf, M., Ullah, S., Ahmad, I., Qureshi, A., Balkhair, K., & Rehman, M. (2014). Green biocides, a promising technology: current and future applications to industry and industrial processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* (94), 388–403.
- Becerra Pérez, L. A. (2009). La industria del etanol en México. *ECONOMÍAunam*, 6 (16), 82-98.
- Bettín, L. A., & Quintero, J. C. (2010). Estudio de la producción de jarabes glucosados a partir de maltodextrinas empleando dos enzimas comerciales. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 17(2), 165-172.
- Börjesson, P., Prade, T., Lantz, M., & Björnsson, L. (2015). Energy Crop-Based Biogas as Vehicle Fuel—The Impact of Crop Selection on Energy Efficiency and Greenhouse Gas Performance. *Energies* (8), 6033-6058.
- Bubalo, M., Vidović, S., Redovniković, I., & Jokić, S. (2015). Green solvents for green technologies. *J Chem Technol Biotechnol*.
- Cardona, A., Montoya, R., & Quintero, S. (2004). Selección de tecnologías apropiadas para la producción de etanol carburante. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 1 (2), 48-55.
- Carreón R., O., Ramos L., A., Centeno L., S., Leal R., L., Martínez J., A., & Fernández S., M. (2009). Etanol Carburante. *BioTecnología*, 13 (3 79).
- Chen, X., Luo, A., Sato, K., Wakatsuki, T., & Masunaga, T. (2009). An introduction of a multi-soil-layering system: a novel green technology for wastewater treatment in rural areas. *Water and Environment Journal* (23), 255-262.
- Enríquez Poy, M. (25 de 02 de 2013). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 13 de 10 de 2014, de Comisión nacional para el uso eficiente de la energía: <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3714/2/artmanuelenriquez.pdf>
- FAO. (1 de 1 de 2015). *La Bioenergía en América Latina y el Caribe* (1 ed.). Santiago, La Bioenergía en América Latina y El Caribe: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Field, S., Ryden, P., Wilson, D., James, S., Roberts, I., Richardson, D., y otros. (2015). Identification of furfural resistant strains of *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces paradoxus* from a collection of environmental and industrial isolates. *Biotechnology for Biofuels* (8).
- González, C. (enero de 2011). Empresas Socialmente Responsables. *Economía Informa* (366), 59-78.
- Heyer, R., Kohrs, F., Benndorf, D., Rapp, E., Kausmann, R., Heiermann, M., y otros. (2013). Metaproteome analysis of the microbial communities in agricultural biogas plants. *New Biotechnology*, 30(6), 614-622.
- Hove, M. (2012). Society 2.0: The challenges and consequences for science. *Wageningen Journal of Life Sciences* (59), 11-12.

- Huang, C., Miao, M., Jiang, B., Cui, S., Jia, X., & Zhang, T. (2015). Polysaccharides modification through green technology: Role of ultrasonication towards improving physicochemical properties of (1-3)(1-6)- α -D-glucans. *Food Hydrocolloids*, 50, 166-173.
- Mahjoubi, M., Jaouani, A., Guesmi, A., Ben, A., Jouini, A., Cherif, H., y otros. (2013). Hydrocarbonoclastic bacteria isolated from petroleum contaminated sites in Tunisia: isolation, identification and characterization of the biotechnological potential. *New Biotechnology*, 30(6), 723-733.
- Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A. (2015). *McKinsey Global Institute*. Recuperado el 8 de 6 de 2015, de McKinsey Global Institute: http://www.mckinsey.com/insights/business_technology/disruptive_technologies
- Ramos-de-la-Peña, A., Renard, C., Wicker, L., & Contreras-Esquivel, J. (2013). Advances and perspectives of *Pachyrhizus* spp. in food science and biotechnology. *Trends in Food Science & Technology* (29), 44-54.
- Rittmann, B. (2006). Microbial ecology to manage processes in environmental biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 24(6), 261-266.
- Simão, C., Reparaz, J., Wagner, M., Graczykowski, B., Kreuzer, M., Ruiz-Blanco, Y., y otros. (2015). Optical and mechanical properties of nanofibrillated cellulose: Toward a robust platform for next-generation green technologies. *Carbohydrate Polymers* (126), 40-46.
- UNESCO. (01 de 01 de 2014). Press Kit. *Science for the Twenty-First Century*. Recuperado el 07 de 07 de 2015, de <http://www.unesco.org/bpi/science/content/press/anglo/6.htm>
- Xia, D., Chen, B., & Zheng, Z. (2014). Relationships among circumstance pressure, green technology selection and firm performance. *Journal of Cleaner Production*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.081>.

Posibilidades de los biosurfactantes como ingredientes en formulaciones cosméticas

Prospect of biosurfactants as ingredient in cosmetic formulations

*Vecino, X.⁶² y ⁶³

Moldes, A.B.⁶³

Rodrigues, L.R.⁶²

Resumen

⁶²*CEB-Centro de Ingeniería Biológica, Universidad de Minho, Campus de Gualtar 4710-057 Braga, Portugal. *Contacto: xanel.vecino@ceb.uminho.pt; xanel.vecino@uvigo.es*

⁶³*Departamento de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Industrial (EEI), Universidad de Vigo, Campus As Lagoas-Marcosende 36310 Vigo-Pontevedra, España.*

En este capítulo se discute el gran potencial de los biosurfactantes en el sector de la industria cosmética y de productos relacionados con el cuidado personal. Los productos cosméticos entre los que se incluyen: champús, cremas, geles y maquillajes empleados en nuestra higiene cotidiana, tienen en muchos casos una composición química compleja, pudiendo inducir reacciones irritativas o incluso reacciones alérgicas, derivadas de la inclusión de determinados compuestos, como los detergentes sintéticos, en su formulación. Debido a esto existe hoy en día, por parte del consumidor, una tendencia a la búsqueda de productos cosméticos naturales o que tengan ingredientes de base natural como biosurfactantes, antioxidantes y/o vitaminas. Con estos compuestos naturales el consumidor espera obtener un producto de mejor calidad que repercuta positivamente en su calidad de vida. Los biosurfactantes son detergentes naturales sintetizados por microorganismos, entre los que se incluyen las bacterias lácticas, con gran potencial en la formulación de productos cosméticos dado su carácter saludable y biodegradable; de hecho mucho de estos biosurfactantes podrían tener carácter “prebiótico”. Así entre las ventajas principales de los biosurfactantes, en comparación con los tensoactivos sintéticos, destaca su bajo efecto irritante, mejores propiedades hidratantes, mejor compatibilidad con la piel, así como sus propiedades antimicrobianas, antitumorales y anti irritativas.

Abstract

This chapter discusses the huge potential of biosurfactants in the field of cosmetic industry and products related with personal care. Cosmetic products among which include: shampoos, creams, gels and makeup, used in our daily hygiene, have in many cases a complex chemical composition and may induce irritant reactions or even allergic reactions, resulting from the inclusion of certain compounds, such as synthetic detergents in their formulation. For this reason nowadays exist, by the consumer, a tendency to search for natural cosmetic products or having natural base ingredients as biosurfactants, antioxidants and / or vitamins. With these natural compounds the consumer expects to get a better quality product that has a positive impact on their life quality. In this sense, the biosurfactants are natural detergents synthesized by microorganisms, among lactic acid bacteria are included, with great potential in the formulation

of cosmetic products as its healthy and biodegradability; in fact much these biosurfactants could have “prebiotic” character. Therefore the main advantages of biosurfactants, compared with synthetic surfactants, highlights low irritant effect, better moisturizing properties, better compatibility with the skin and its antimicrobial, antitumor and anti irritant properties.

Introducción

La belleza y la piel perfecta a lo largo de la vida son indicadores importantes de la calidad de vida de muchas personas, por ello se prevé que la industria mundial de productos para el cuidado personal alcance aproximadamente 630 billones de dólares en el 2017. Durante 2006-2011, América del Norte fue la región de mayor crecimiento, siendo Europa la que dominó la industria cosmética con la mayor participación de mercado. Sin embargo, en los estudios actuales de mercado se pronostica que sea Asia Pacífico la que presencie el mayor crecimiento en este sector durante 2012-2017 (Global personal care products industry 2012-2017: Trend, Profit, and Forecast Analysis).

Los productos cosméticos engloban desde productos de higiene cotidiana tales como jabón, champú, desodorante o pasta de dientes hasta artículos de belleza de lujo que incluyen perfumes y maquillaje. Según la Comisión Europea en el Reglamento (CE) N° 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de noviembre de 2009, los productos cosméticos se definen como “toda sustancia o mezcla destinada a ser puesta en contacto con las partes superficiales del cuerpo humano (epidermis, sistema piloso y capilar, uñas, labios y órganos genitales externos) o con los dientes y las mucosas bucales, con el fin exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, modificar su aspecto, protegerlos, mantenerlos en buen estado o corregir los olores corporales”.

Los productos cosméticos están regulados a nivel europeo para garantizar la seguridad de los consumidores especificándose como mínimo: composición cuantitativa y cualitativa del producto cosmético; características fisicoquímicas y estabilidad del producto cosmético; calidad microbiológica; impurezas, trazas e información sobre el material de embalaje; uso normal y razonablemente previsible; exposición al producto cosmético; exposición a determinadas sustancias; perfil toxicológico de las sustancias; efectos no deseados y/o efectos graves no deseados, así como información sobre el producto cosmético (Reglamento (CE) N° 1223/2009).

La legislación de cosméticos a nivel de la Unión Europea (UE) también requiere que todos los productos que se comercializan en la UE deben estar registrados en el Portal de Notificación de Productos Cosméticos (CPNP) antes de ser puestos en el mercado. Por tanto en algunos casos se requiere que algunos productos cosméticos sean objeto de especial atención por parte de los reguladores por su complejidad científica o por un mayor riesgo para la salud de los mismos. La legislación Europea prohíbe la experimentación con animales para fines cosméticos, y hace que los países de la UE sean responsables de la vigilancia del mercado a nivel nacional.

El Portal Europeo de Notificación de Productos Cosméticos denominado CPNP, de sus siglas en inglés Cosmetic Products Notification

Portal, es un sistema en línea creado para la aplicación del Reglamento (CE) N° 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre los productos cosméticos, cuya finalidad es facilitar que la industria cosmética presente a la Comisión Europea información sobre los productos que pone en el mercado europeo. Esta información es crucial tanto para los centros de toxicología, ya que así podrán tratar rápidamente las eventuales intoxicaciones, como para las autoridades nacionales, que podrán realizar un mejor control del mercado.

Cabe destacar que el hecho de que un cosmético se haya notificado debidamente en el CPNP no implica necesariamente que cumpla todos los requisitos del Reglamento (CE) N° 1223/2009.

La Comisión Europea (2006/257/CE) establece un inventario y una nomenclatura común de ingredientes empleados en los productos cosméticos para homogeneizar, a nivel internacional, la nomenclatura de los productos empleados en cosmética. La Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos o INCI, por sus siglas en inglés International Nomenclature of Cosmetic Ingredients, es una lista de nombres ordenados alfabéticamente para aceites, ceras, colorantes, químicos y otros ingredientes de jabones, cosméticos, entre otros, basados en nombres científicos y otros lenguajes, como el latín e inglés. Los nombres INCI a menudo difieren de los nombres sistemáticos IUPAC o de referencias comunes. En España, la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios, en su página web recoge la lista de nombres INCI. Además, la Comisión Europea tiene una base de datos denominada CosIng que contiene información sobre cosméticos y sus ingredientes.

Importancia de los detergentes en la industria cosmética

Los surfactantes, detergentes o tensioactivos son ampliamente utilizados en cosmética ya que rebajan la tensión superficial de los cosméticos y ayuda a una mejor distribución del producto cuando se aplica (Comisión Europea 2006/257/CE).

La acción solubilizante, humidificante, espumante, dispersante son algunas de las funciones que presentan los surfactantes, siendo la función emulsionante probablemente la más importante para la formulación de cosméticos.

En la Tabla 1 se muestran, a modo de resumen, algunos ejemplos de surfactantes como ingredientes en diferentes formulaciones marco del CPNP.

Las cremas con mayor contenido de surfactantes (25%) en su formulación son las cremas con mucho contenido de agentes de carga y con mucho contenido de perfume, mientras que las relacionadas con mucho contenido de siliconas tienen menor porcentaje de detergentes (5%).

Así se observa que algunos jabones están constituidos hasta por un 40% de agentes tensoactivos, un porcentaje bastante elevado cuando se tratan de detergente sintéticos.

También contienen un porcentaje bastante elevado de detergentes (hasta un 30%) las espumas limpiadoras con mucho contenido en aceites o humectantes, así como los exfoliantes naturales a base de geles y cremas. También llama la atención que algunos rímeles están formulados hasta con un 50% de surfactantes.

Aplicación	Formulación marco	Tipo de surfactante	% máximo (peso/peso)
Cuidado de la piel	Crema, loción, gel (1.1-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
	Crema, loción, gel con mucho contenido de siliconas (1.2-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
	Crema, loción, gel con mucho contenido de humectantes (1.3-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	10
	Crema, loción, gel con mucho contenido de agentes de carga (1.4-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	25
	Crema, loción, gel con mucho contenido de compuestos grasos (1.5-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	15
	Crema, loción, gel con mucho contenido de filtros ultravioleta (1.6-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	15
	Crema, loción, gel con mucho contenido de perfume (1.7-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	25
	Crema a base de óxido de zinc (1.8-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	12
	Gel con base hidroalcohólica (1.9-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	6
	Aceite para la piel (1.10-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	10
	Agua tónica (1.12-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
	Exfoliante químico (1.13-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	25
Limpieza de la piel	Espuma limpiadora (2.1-2013)	Aniónico/Anfótero, No iónico	40/20
	Espuma limpiadora con mucho contenido de aceites o humectantes (2.2-2013)	Aniónico/Anfótero, No iónico	30/20
	Desmaquillantes-productos sin espuma(incluidos los productos de dos fases) (2.3-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	15
	Desmaquillantes-aceites de limpieza sin espuma (2.4-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	10
	Gel de limpieza suave (2.5-2013)	Aniónico/Anfótero, No iónico	20/15
	Crema, loción, producto para frotar, gel (2.6-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	25
	Exfoliante corporal (gel o crema) (2.7-2013)	Aniónico/Anfótero, No iónico	30/20

Tabla 1. Aplicaciones de surfactantes en formulaciones cosméticas marco (elaboración propia).

Uno de los surfactantes químicos más empleado e investigado en la formulación de productos cosméticos es el docedilsulfato sódico (SDS o NaDS), también conocido como laurilsulfato sódico (SLS). Sin embargo este tensioactivo aniónico causa problemas en la piel (Marrakchi y Maibach, 2006), por eso hoy en día se tiende a buscar surfactantes naturales como los biosurfactantes producidos por bacterias lácticas que no causen este tipo de irritaciones.

Aplicación	Formulación marco	Tipo de surfactante	% máximo (peso/peso)
	Jabón de baño (2.8-2013)	Anfótero/Aniónico	5
	Jabón líquido (2.9-2013)	Aniónico, Anfótero/No iónico	40/40
	Gel, crema, leche, pasta de ducha y baño (2.10-2013)	Aniónico/No iónico, Anfótero	25/20
	Crema, leche de ducha ligeramente espumante (2.11-2013)	Aniónico/No iónico, Anfótero	10/10
	Sales de baño / Cubos efervescentes (2.12-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	1
	Aceites de ducha y baño (incluidas las perlas de baño) (2.13-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	15
	Baños de pies (2.14-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	20
Depilación	Depilación física-cera a base de resina (3.2-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	10
Afeitado	Crema de afeitar (6.1-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
	Gel de afeitar (6.3-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	3
	Gel de afeitar (que se convierte en espuma) (6.4-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	10
	Espuma de afeitar en aerosol (6.5-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	15
	Jabón de afeitar en barra (6.6-2013)	No iónico	5
	Bálsamo para después del afeitado (6.7-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
Maquillaje	Base y color (líquido, crema, espuma) (7.1-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
	Polvos faciales (7.6-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	3
	Lápiz de ojos (7.18-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
	Rímel (polvo prensado) (7.24-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	50
	Brillo corporal (7.25-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	0.5
Perfumes	Aceite corporal perfumado (8.4-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
Autobronceadores	Crema o loción autobronceadoras (9.6-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	20

Aplicación	Formulación marco	Tipo de surfactante	% máximo (peso/peso)
Cuidado del cabello y del cuero cabelludo	Champú (líquido, crema, pasta) (10.1-2013)	Aniónico/ Anfótero/No iónico/Catiónico	30/20/15/5
	Champú con acondicionador (10.3-2013)	Aniónico/ Anfótero/No iónico/ Catiónico	20/20/20/5
	Acondicionador de cabello (10.4-2013)	Anfótero/Catiónico	15/5
	Loción bifase (10.7-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	3
Para teñir el pelo	Tinte capilar (temporal), champú (11.1-2013)	Aniónico/ Anfótero/No iónico/Catiónico	30/20/15/5
	Tinte capilar (temporal), espuma o loción (11.2-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico/ Catiónico	10/0.2
	Tinte capilar (temporal o semipermanente) líquido, crema, espuma (11.3-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico/ Catiónico	10/5
	Tinte capilar (permanente, oxidante); Tipo 1: dos componentes- parte colorante (11.4-2013)	Aniónico/No iónico/Anfótero/ Catiónico	20/20/20/5
	Tinte capilar (permanente, oxidante); Tipo 1: dos o tres componentes- parte oxidante (11.8-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	20
	Productos de peinado	Crema o pasta de peinado (goma, pomada, pasta, cera, etc.) (12.1-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico
Loción de peinado (12.3-2013)		Aniónico, Anfótero, No iónico	3
Loción fijadora (también para el cabello teñido) (12.4-2013)		Aniónico, Anfótero, No iónico	2
Brillo para el pelo o gel de peinado (12.5-2013)		Aniónico, Anfótero, No iónico	5
Espuma para el pelo (12.6-2013)		Catiónico/No iónico	5/5
Alisador de pelo (relajante)-Tipo 1 (12.18-2013)		Aniónico, Anfótero, No iónico	15
Higiene dental	Dentífricos (16.1-2013)	Aniónico	6
Colutorios o pulverizador bucales	Colutorios bucales (17.1-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	3
	Colutorios bucales (concentrados) (17.2-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	2

Potencial de los detergentes naturales en el campo cosmético

Los biosurfactantes se plantean en este capítulo como posible ingrediente natural y biocompatible en las formulaciones cosméticas. Los biosurfactantes presentan las mismas funciones que los surfactantes sintetizados por vía química dentro del producto cosmético (emulsionante, solubilizante, etc) con la ventaja de que son más biodegradables, menos tóxicos, con actividad específica a pH, temperatura y salinidad, etc.

Los biosurfactantes en función de su estructura química son generalmente clasificados como glucolípidos, lipopéptidos, fosfolípidos, ácidos grasos y compuestos poliméricos. De entre los biosurfactantes glucolípidos, los más empleados en cosméticos y en productos de cuidado personal son los ramnolípidos, sofrolípidos y lípidos de manosil-eritritol conocidos como MELs (Lourith y Kanlayavattanakul, 2009).

Los biosurfactantes son producidos biotecnológicamente a partir de microorganismos (bacterias, levaduras y hongos). Una de las especies bacterianas más utilizadas para la producción de biosurfactantes son las bacterias ácido lácticas (LAB), por sus siglas en inglés Lactic Acid Bacteria (Velraeds y col., 1996a, 1996b; Moldes y col., 2007).

Las LAB son un grupo muy heterogéneo de microorganismos de compleja taxonomía, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactococcus*, y *Streptococcus* así como los *Lactobacillales Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Teragenococcus*, *Vagococcus*, y *Weisella*, aunque el género más importante y heterogéneo de bacterias lácticas es el *Lactobacillus*.

Además, las LAB están reconocidas, por la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA), como microorganismos saludables, GRAS (Generally Recognized As Safe), algunas de las cuales tienen propiedades probióticas.

Gudiña y col. (2010) investigaron las propiedades antimicrobianas y antiadhesivas de un biosurfactante producido por *Lactobacillus paracasei*. Los resultados obtenidos abren la perspectiva de futuro para su uso contra microorganismos responsables de enfermedades e infecciones en las vías urinarias, vaginales y gastrointestinales, así como en la piel, siendo una alternativa interesante a los antibióticos convencionales.

Vecino y col. (2015) también estudiaron la capacidad del biosurfactante glicolipopéptido producido por *Lactobacillus pentosus* para emulsionar aceite de romero en comparación con un surfactante químico, el polisorbato 20. Los resultados obtenidos con el biosurfactante dieron lugar a emulsiones más estables y mayores volúmenes de emulsión en comparación con el surfactante químico.

Los biosurfactantes que no proceden de bacterias lácticas también son empleados en cosmética. Como por ejemplo, los MELs, los cuales tienen excelentes propiedades para ser aplicados en cosmética, ya que pueden activar los fibroblastos y las células papilares provocando un efecto protector en las células de la piel e hidratando la piel seca, entre otras (Morita y col., 2009, 2010; Yamamoto y col., 2012).

Masaru y col. (2007) también emplearon los MELs como ingredientes en productos cosméticos con el fin de evitar la rugosidad de la piel.

Además, cosméticos que contienen ramnolípidos han sido patentados y se han utilizado para potenciar el efecto antiarrugas en productos antienvjecimiento (Piljac T. y Piljac G., 1999).

Conclusiones

La búsqueda de nuevos ingredientes que sean saludables y biocompatibles con el medioambiente y con el ser humano hace que los consumidores presten especial atención a la cosmética natural. A pesar de que los biosurfactantes poseen muchas propiedades comerciales atractivas y claras ventajas en comparación a sus homólogos sintéticos, la producción de biosurfactantes a gran escala no compite, de momento, con los surfactantes químicos debido a sus bajos rendimientos y altos costes de producción. A pesar de ello en los últimos años se ha observado un auge en la industria cosmética de incorporación de nuevos ingredientes en productos cosméticos de base natural. Es por ello que la producción y purificación de biosurfactantes constituye un campo con gran potencial de crecimiento, a tener en cuenta conjuntamente con la industria cosmética y de productos relacionados con la higiene personal.

Agradecimientos

Xanel Vecino quiere dar las gracias a la Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT, Portugal) por su bolsa de Pós-Doutoramento (SFRH/BPD/101476/2014).

Bibliografía

- Decisión de la Comisión de 9 de febrero de 2006 (2006/257/CE) que modifica la Decisión 96/335/CE, por la que se establece un inventario y una nomenclatura común de ingredientes empleados en los productos cosméticos.
- Global Personal Care Products Industry 2012-2017: Trend, Profit, and Forecast Analysis. Published: 2012.
- Gudiña, E.J., Rocha, V., Teixeira, J.A., y Rodrigues, L.R.(2010). Antimicrobial and antiadhesive properties of a biosurfactant isolated from *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* A20. *Letters in Applied Microbiology*, 50, 419-424.
- Lourith N., y Kanlayavattanukul M. (2009). Natural surfactants used in cosmetics: glycolipids. *International Journal of Cosmetic Science*, 31, 255-261.
- Manual de usuario (artículo 13) del Portal de Notificación de Productos Cosméticos, (2013).
- Marrakchi S., y Maibach HI. (2006). Sodium lauryl sulfate-induced irritation in the human face: regional and age-related differences. *Skin Pharmacology Physiology*, 19, 177-180.
- Masaru K., Michiko S., y Shuhei Y. (2007). Skin care cosmetic and skin and agent for preventing skin roughness containing biosurfactants (World Patent 2007/060956). Toyo Boseki Kabu Shiki Kaisha and National Industrial Science and Technology, Osaka, Japan.

- Moldes A.B., Torrado A., Barral M.T., y Domínguez J.M. (2007). Evaluation of biosurfactant production from various agricultural residues by *Lactobacillus pentosus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4481- 4486.
- Morita, T., Kitagawa, M., Suzuki, M., Yamamoto, S., Sogabe, A., Yanagidani, S., Imura, T., Fukuoka, T., Kitamoto, D. (2009). A yeast glycolipid biosurfactant, mannosylerythritol lipid, shows potential moisturizing activity toward cultured human skin cells: The recovery effect of MEL-a on the SDS-damaged human skin cells. *Journal of Oleo Science*, 58, 639-642.
- Morita, T., Kitagawa, M., Yamamoto, S., Suzuki, M., Sogabe, A., Imura, T., Fukuoka, T., Kitamoto, D. (2010). Activation of fibroblast and papilla cells by glycolipid biosurfactants, mannosylerythritol lipids. *Journal of Oleo Science*, 59, 451-455.
- Piljac T., y Piljac G. (1999). Use of rhamnolipids in wound healing, treating burn shock, atherosclerosis, organ transplants, depression, schizophrenia and cosmetics (European Patent 1 889 623). Paradigm Biomedical Inc., New York.
- Reglamento (CE) N° 1223 / 2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de noviembre de 2009 sobre los productos cosméticos.
- Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2015). Optimization of extraction conditions and fatty acid characterization of *Lactobacillus pentosus* cell-bound biosurfactant/bioemulsifier. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95, 313-320.
- Velraeds M.M.C., Van Der Mei H.C., Reid G., y Busscher H.J. (1996a). Inhibition of initial adhesion of uropathogenic *Enterococcus faecalis* by biosurfactants from *Lactobacillus* isolates. *Applied and Environmental Microbiology*, 62, 1958-1963.
- Velraeds M.M.C., Van Der Mei H.C., Reid G., y Busscher, H.J. (1996b). Physicochemical and biochemical characterization of biosurfactants released by *Lactobacillus* strains. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 8, 51-61.
- Yamamoto, S., Morita, T., Fukuoka, T., Imura, T., Yanagidani, S., Sogabe, A., Kitamoto, D., Kitagawa, M. (2012). The moisturizing effects of glycolipid biosurfactants, mannosylerythritol lipids, on human skin. *Journal of Oleo Science*, 61, 407-412.

Nuevas posibilidades para los licores de lavado de maíz: fuente de biosurfactantes

New corn steep liquor possibilities: a biosurfactant resource

*Vecino X⁶⁴

Perez-Ameneiro M.

Cruz J.M.

Moldes A.B.

Resumen

⁶⁴*Departamento de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Industrial (EEI), Universidad de Vigo, Campus As Lagoas-Marcosende. 36310 Vigo-Pontevedra, España. *Contacto: xanel.vecino@uvigo.es*

Los residuos agro-industriales han sido un foco de interés para muchos investigadores a nivel mundial desde hace varias décadas, debido a que parte de sus constituyentes pueden ser utilizados como materia prima en la generación de diversos productos de interés comercial. Además de la ventaja competitiva que supone desarrollar productos con mayor valor añadido, la utilización de residuos y sub-productos agro-industriales favorece la preservación del medio ambiente al impulsar el desarrollo de tecnologías orientadas hacia una transformación sostenible de los recursos naturales. En este sentido, los licores de lavado de maíz (CSL) son una corriente agro-industrial obtenida durante el procesado del maíz por vía húmeda para la obtención de harina. Su aplicación hasta el momento se había basado, principalmente, bien en su utilización como fuente de nitrógeno de bajo coste en procesos fermentativos o bien como suplemento para piensos. En este capítulo se realiza una revisión acerca de la revalorización de estos licores como precursores de biosurfactantes.

Abstract

In the last decades, agro-industrial wastes have been in the spotlight worldwide, in the research field, since part of their components can be used as raw material to produce diverse products of commercial interest. Besides the competitive edge derived from the development of value-added products, the utilization of agro-industrial waste and by-products has other advantages. It favours the preservation of the environment by encouraging the development of technologies oriented to the sustainable transformation of natural resources. In this way, corn steep liquor (CSL) is an agro-industrial stream from the corn wet milling industry, obtained during the extraction of flour. Until now, the most common applications for this residue are based whether on the utilization of these liquors as low-cost nitrogen source in fermentative processes or as supplement for animal feed. Thus, this chapter presents a revision of the revalorization of these liquors as a biosurfactant precursor.

Introducción

Los cereales son la fuente de alimento más importante para el consumo humano. De los aproximadamente 3 300 millones de toneladas de cereales que se producen en la actualidad, aproximadamente 1 500 millones de toneladas se destinan a uso alimentario, 1 100 millones de toneladas se emplean como alimento para animales, y los restantes 750 millones de toneladas se procesan en el sector industrial. China fue el mayor productor de cereales en el año 2013, a nivel mundial, con 554, 61 millones de t; seguida por Estados Unidos, con 436 55 millones de t, e India, con 296 94 millones de t (FAOSTAT, 2015). En EU, la superficie destinada al cultivo de cereal es de 57 62 millones de ha. La producción de cereales en España, cuya superficie de cultivo se cifra en 6 26 millones de ha, es de 25 23 millones de t (Eurostat, 2015, FAOSTAT, 2015).

Las principales especies de cereales cultivadas son arroz, maíz, trigo, avena, sorgo, centeno, cebada y mijo.

Entre ellos, en este capítulo, se prestará principal atención al maíz.

Maíz

Según la Federación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA), el maíz se utiliza principalmente en grano, aunque hay una cantidad significativa (del orden del 10%) que se destina a distintos usos industriales (bebidas, alimentos elaborados, farmacia, papel, textil, adhesivos, etc.). Existen dos procedimientos para el fraccionamiento del maíz: por vía seca (25%) o por vía húmeda (75%). Aplicando el primer método, es posible dividir el grano en sus componentes anatómicos (endospermo, salvado y germen), mientras que el segundo se usa para separarlo en sus componentes químicos (almidón, proteína, aceite y fibra) (FEDNA). Por vía seca se obtienen la harina zootécnica, el germen y la harina flor. Sin embargo, por vía húmeda, se obtienen el almidón y varios co-productos, entre los que están el germen, el gluten, la fibra y los licores de maíz (Ramírez y col., 2008).

Licores de lavado de maíz

En el fraccionamiento del maíz, por vía húmeda, una de las etapas clave para la obtención de los licores de lavado de maíz es la etapa de maceración. El objetivo de esta operación es facilitar el proceso de separación debilitando el núcleo, aumentando la humedad de los granos y eliminando la materia soluble. Es un proceso muy importante del que depende la eficiencia total de la molienda húmeda. Diversos microorganismos, especialmente el *Lactobacillus*, contribuyen a la fermentación del extracto de maíz a lo largo de todo el proceso de maceración (Hull y col., 1996).

En la práctica, la maceración se realiza en un proceso semicontinuo y a contracorriente, donde el maíz que entra en el sistema está empapado en una disolución más diluida de SO₂, mientras que el maíz que ya se encontraba en el interior se remoja en un agua de maceración más concentrada. Los granos no se mueven, pero el agua de maceración se transfiere desde distintos tanques, pasando del maíz más macerado hacia el menos macerado. El agua que se utiliza en esta operación no es fresca, sino que proviene de otras etapas.

Durante el proceso, la mayoría de los sólidos solubles son eliminados y arrastrados por el agua de maceración. Este agua, que son extractos fermentados y condensados con alto contenido en proteínas y azúcares reductores, también se denomina licor de lavado de maíz (“corn steep liquor”). Tiene una concentración de sólidos de un 50%, y a menudo se mezcla con fibra de maíz y se seca para producir alimento para animales (Ramirez y col., 2008).

Composición de los licores de lavado de maíz (CSL)

El CSL es una corriente agro-industrial cuya composición puede depender en cierto modo del tipo y estado del maíz, pero, sobre todo, de la multitud de variables que intervienen en el procesado del almidón. En general, el CSL tiene un pH entre 3,7 y 4,1 debido, inicialmente, a la presencia de SO₂ y, posteriormente, al ácido láctico, producto de la fermentación (Wright, 1987). Está formado por compuestos complejos tales como hidratos de carbono, aminoácidos, péptidos, compuestos de nitrógeno no proteicos, ácidos orgánicos, ácidos grasos, metales pesados e iones inorgánicos (Hull y col., 1996; Winston y Koffler, 1948).

En la Tabla 1 se recogen, a modo de resumen, las composiciones de distintos lotes de CSL recogidos en la literatura (elaboración propia).

De entre los componentes del CSL anteriormente citados destacan el agua, los sólidos, las proteínas, el ácido láctico y las cenizas, siendo la fibra y la grasa los constituyente minoritarios. Las cenizas engloban elementos tales como Al, Ca (0,5-1,5%), Cd, Cu (0- 0,001%), Fe (0,01-0,05%), Pb, Mg (0,004%), Mn, Mo, P (2-3%), K (1-2%), S (0,34%) y Zn (0,005%) (Winston y Koffler 1948; Keller y Heckman, 2006).

Tabla 1: Composición general del CSL

Referencias	Componentes (%)
Winston y Koffler, 1948	Agua (45-55); nitrógeno total (2,7-4,5); aminoácidos (1,0-1,8); nitrógeno volátil (0,15- 0,40); glucosa (0,1-11,0); ácido láctico (5-15), ceniza (9-10); ácido acético (0,1-0,3) y SO ₂ (0,009-0,015)
Anon, 1975	Sólidos (40-50); proteínas (25-40); vitaminas (964,13 mg/g); minerales (8,0)
Zabriskie y col., 1982	Sólidos (50,0); hidratos de carbono (5,8); proteínas (24,0); grasa (1,0); fibra (1,0); vitaminas (0,38 mg/g); minerales (8,8)
Keller y Heckman, 2006	Ceniza (17,0); proteína (47,0); grasa (0,4); ácido láctico (26,0); nitrógeno (7,5); ácido fitico (7,8); glucosa (2,5); agua (46,0)

Interés y aplicación industrial de los licores de lavado de maíz

Una de las aplicaciones más importante de los licores de lavado de maíz es en microbiología, como suplemento de minerales y proteínas. En la industria

fermentativa el CSL es ampliamente empleado como fuente low-cost de nitrógeno en los procesos biotecnológicos. El precio del CSL es de 0,5\$/kg, mucho menor en comparación con otros medio orgánicos usados como fuentes de nitrógeno, como la peptona y el extracto de levadura, cuyo precio alcanza los 2,8-4,5\$/kg y 1,9-2,35\$/kg, respectivamente. Es importante considerar estos valores al producir metabolitos de interés a nivel industrial mediante procesos fermentativos, ya que los medios fermentativos suponen, en muchos casos, hasta el 30% del coste de producción.

En la Tabla 2, se muestran algunos ejemplos en donde se empleó el CSL como suplemento nutricional en distintas fermentaciones, así como el producto de interés obtenido.

Producto	Microorganismo	Referencias
Ácido láctico	<i>Lactobacillus Delbrueckii</i> NRRL B445	Téllez y col., 2003
	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> CECT-288	Salgado y col., 2009
	<i>Lactobacillus coryniformis</i> CECT 4129T	Bustos y col., 2004
	<i>Escherichia coli</i> HBUT-D	Wang y col., 2013
	<i>Bacillus subtilis</i> MUR1	Ting y Kwok-Ping, 2013
	<i>Lactobacillus pentosus</i> CECT-4023 T	Bustos y col., 2007
Ácido cítrico	<i>Aspergillus niger</i> NRRL Y-7426	Salgado y col., 2009
Ácido succínico	<i>Actinobacillus succinogenes</i> Nj113	Xi y col., 2013
Pululano	<i>Aureobasidium pullulans</i> RBF 4A3	Sharma y col., 2013
Transglutaminasa	<i>Streptomyces mobaraensis</i> CECT 3230	Guerra-Rodríguez y col., 2013
Etanol	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> GLBRCY128	Sarks y col., 2014
	<i>Alkalibaculum bacchi</i> CP15	Liu y col., 2014
	<i>Clostridium ragsdalei</i> PTA-7826	Saxena y col., 2012
Xilitol	<i>Debaryomyces hansenii</i> NRRL Y-7426	Salgado y col., 2009
Biosurfactantes	<i>Candida lipolytica</i> UCP0988	Santos y col., 2013
	<i>Lactobacillus pentosus</i> CECT-4023 T	Bustos y col., 2007

Tabla 2. Aplicaciones del CSL para la obtención de productos de interés en procesos biotecnológicos (elaboración propia).

Licores de lavado de maíz: fuente de biosurfactantes

Extracción del biosurfactante procedente de los licores de lavado de maíz

Vecino y col. (2014a, 2014b, 2014c, 2015), en base al conocimiento de la presencia de bacterias lácticas en esta corriente, recientemente evaluaron y patentaron los licores de lavado de maíz como fuente para la obtención de biosurfactantes de bajo coste y propusieron un proceso para la extracción y caracterización de estos compuestos tensioactivos. Para extraer el biosurfactante de los licores de lavado de maíz, han evaluado diferentes extractantes, como cloroformo, acetato de etilo, metil tert-butil éter, triclorometano, hexano, heptano y diclorometano. Además, los autores han empleado los licores de lavado de maíz a la concentración micelar crítica (CMC) y una relación CSL:extractante de 1:10 (*v/v*) durante 4 h a temperatura ambiente (25° C) y con una velocidad de agitación de 150 rpm. Han observado que el cloroformo, el metil tert-butil éter y el diclorometano proporcionan los porcentajes de extracción más cercanos al 100%, seleccionando el cloroformo como extractante óptimo (Vecino y col., 2014a).

Sin embargo, considerando un posible escalado a nivel industrial, los autores han optimizado el proceso de extracción del biosurfactante a partir de estos licores. Partieron de una concentración de CSL de 15 g/L, utilizando cloroformo como extractante. Además, la extracción fue realizada en discontinuo, en un agitador orbital con una velocidad de agitación de 200 rpm, durante 200 min, empleando diferentes relaciones disolvente/CSL (2, 1,25 y 0,5 *v/v*) y a diferentes temperaturas (30,5; 39; 47,5 y 56° C). Tras la extracción, la fase orgánica con el biosurfactante ha sido sometida a un proceso de destilación en rotavapor y el extracto de biosurfactante ha sido redisolto en agua. Los rendimientos óptimos de extracción de biosurfactante obtenidos, utilizando una relación cloroformo/CSL 2 (*v/v*) a 56° C durante 60 min, ha sido de 12 g de extracto de biosurfactante por cada kg de CSL (Vecino y col., 2015).

Caracterización del biosurfactante procedente de los licores de lavado de maíz

Los autores han caracterizado el biosurfactante procedente del CSL mediante métodos estandarizados para la determinación de hidratos de carbono, proteínas y lípidos, empleando el método fenol-sulfúrico, método de Lowry, y método de Folch, respectivamente. Los análisis bioquímicos revelaron que el biosurfactante extraído de los licores de lavado de maíz, está compuesto por un 21,9% de proteínas y un 64,2% de lípidos. Además, han identificado diferentes grupos funcionales mediante espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR), verificando que el biosurfactante procedente de los licores de maíz es un lipopéptido. Asimismo, los autores han caracterizado la cadena lipídica que forma parte del biosurfactante mediante cromatografía de gases acoplada a un detector de masas (CG-MS), observando que el biosurfactante está compuesto por ácidos grasos C16 y C18, siendo el ácido linolelaídico (50-55,2%) el más abundante. La concentración micelar crítica (CMC) del extracto de biosurfactante, que ha sido determinada mediante medidas de tensión superficial empleando el método de placa de Wilhelmy, es de 399,4 mg/L.

Evaluación de los licores de lavado de maíz como fuente de nitrógeno una vez extraído el biosurfactante

Los autores además evaluaron los licores de lavado de maíz, ya exentos de biosurfactante, como suplemento nutricional para bacterias lácticas. Para ello llevaron a cabo una fermentación con bacterias lácticas (*Lactobacillus pentosus*) partiendo de 30 g/L de glucosa y utilizando como suplemento nutricional el CSL exento de biosurfactante. La fermentación la han realizado a cabo en un agitador orbital a 150 rpm y 31° C. Para controlar el pH de la fermentación han añadido al comienzo de la misma 30 g/L de CaCO₃ que les permite neutralizar la producción de ácido láctico. A modo comparativo también han realizado dos fermentaciones más, en las mismas condiciones que las anteriores, una con el medio general de *Lactobacillus* (MRS broth) y otra empleando el CSL habitual (sin haberle extraído el biosurfactante).

No han observado diferencias significativas para las fermentaciones llevadas a cabo con el CSL habitual y el CSL tras la extracción del biosurfactante. Con respecto, a la producción máxima de ácido láctico fue sobre 26 g/L para las tres fermentaciones llevadas a cabo en presencia de MRS broth, CSL habitual y el CSL exento de biosurfactante respectivamente.

Conclusiones

En este capítulo se demuestra la efectividad de la revalorización de los licores de lavado de maíz mediante la obtención de biosurfactantes realizando una extracción líquido-líquido con cloroformo (1:2 *v/v*) a 56° C durante 1h. Asimismo, se muestra que los biosurfactantes obtenidos de los licores de lavado de maíz son económicamente competitivos en comparación a los surfactantes químicos ya que su producción no requiere ningún proceso fermentativo. Tras la evaluación de los licores de lavado de maíz como medio nutricional para la producción de ácido láctico con *Lactobacillus pentosus*, se ha observado que los CSL exentos de biosurfactante pueden seguir siendo comercializándose como medio nutricional en procesos fermentativos.

Bibliografía

- Anon. (1975). Properties and uses of feed products from corn wet-milling operations. Washington, DC: Corn Refiners Association Inc.
- Bustos, G., de la Torre, N., Moldes A.B., Cruz, J. M., y Domínguez, J. M. (2007). Revalorization of hemicellulosic trimming vine shoots hydrolyzates trough continuous production of lactic acid and biosurfactants by *L. pentosus*. *Journal of Food Engineering*, 78, 405-412.
- Bustos, G., Moldes, A.B., Alonso, J. L., y Vázquez, M. (2004). Optimization of D-lactic acid production by *Lactobacillus coryniformis* using response surface methodology. *Food Microbiology*, 21, 143-148.
- Eurostat. (2015). Cereals, area. Accesible en: ec.europa.eu/eurostat.
- FAOSTAT (2015). Base de datos sobre estadísticas de producción de cereales World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2013.

- Guerra-Rodríguez, E., y Vázquez, M. (2013). Technical and economical evaluation of microbial transglutaminase production on enzymatic hydrolysates of potato (*Solanum tuberosum*). *CyTA-Journal of Food*, 11, 277-284.
- Hull, S.R., Yang, B.Y., Venzke, D., Kulhavy, K., y Montgomery, R. (1996). Composition of corn steep water during steeping. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 1857-1863.
- Keller, y Heckman, L.L.P. (2006). Assessment Plan for Corn Steep Liquor (CAS #66071-94-1) in Accordance with the USEPA High Production. Washington, DC: Corn Refiners Association Inc.
- Liu, K., Atiyeh, H.K., Stevenson, B.S., Tanner, R.S., Wilkins, M.R., y Huhnke, R.L. (2014). Continuous syngas fermentation for the production of ethanol, n-propanol and n-butanol. *Bioresource Technology*, 151, 69-77.
- Ramirez, E.C., Johnston, D.B., McAloon, A.J., Yee, W., y Singh, V. (2008). Engineering process and cost model for a conventional corn wet milling facility. *Industrial Crops and Products*, 27, 91-97.
- Salgado, J.M., Rodríguez, N., Cortés, S., y Domínguez, J.M. (2009). Development of Cost-Effective Media to Increase the Economic Potential for Larger-Scale Bioproduction of Natural Food Additives by *Lactobacillus rhamnosus*, *Debaryomyces hansenii*, and *Aspergillus niger*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 10414-10428.
- Santos, D.K.F., Rufino, R.D., Luna, J.M., Santos, V.A., Salgueiro, A.A., y Sarubbo, L.A. (2013). Synthesis and evaluation of biosurfactant produced by *Candida lipolytica* using animal fat and corn steep liquor. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 105, 43-50.
- Sarks, C., Jin, M., Sato, T.K., Balan, V., y Dale, B.E. (2014). Studying the rapid bioconversion of lignocellulosic sugars into ethanol using high cell density fermentations with cell recycle. *Biotechnology for Biofuels*, 7, 1-12.
- Saxena, J., y Tanner, R.S. (2012). Optimization of a corn steep medium for production of ethanol from synthesis gas fermentation by *Clostridium ragsdalei*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 1553-1561.
- Sharma, N., Prasad, G.S., y Choudhury, A.R. (2013). Utilization of corn steep liquor for biosynthesis of pullulan, an important exopolysaccharide. *Carbohydrate Polymers*, 93, 95-101.
- Téllez, L.S.J., Moldes, A.B., Alonso, J.L., y Vázquez, M. (2003). Optimization of Lactic Acid Production by *Lactobacillus delbrueckii* through Response Surface Methodology. *Food Microbiology and Safety*, 68, 1454-1458.
- Ting, G., y Kwok-Ping, H. (2013). L-Lactic acid production by *Bacillus subtilis* MUR1 in continuous culture. *Journal of Biotechnology*, 168, 646-651.
- Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2014a). Study of the surfactant properties of aqueous stream from the corn milling industry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 5451-5457.
- Vecino Bello, X., Devesa Rey, R., Cruz Freire, J.M., y Moldes Mendiña, A.B. (2014b). Aplicación de licores de lavado de maíz ("corn steep liquor") como surfactante. ES 2.424.399 (CI. B09C1/00 (2006.01)), 13 Enero 2014. Solicitud 201.200.330, 27 Marzo 2012. 9 p.

- Vecino Bello, X., Devesa Rey, R., Cruz Freire, J.M., y Moldes Menduña, A.B. (2014c). Procedimiento de separación de los surfactantes presentes de licores de lavado de maíz y usos. ES 2.435.324 (CI. B01F17/00, C02F1/26, C09K3/32, B09C1/00, A23L1/035, A61K8/97, A61K36/899, C02F103/26, C02F103/32 (2006.01)), 14 Abril 2014. Solicitud 201.100.649, 18 Junio 2012. 9 p.
- Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M. y Moldes, A.B. (2015). Optimization of liquid-liquid extraction of biosurfactants from corn steep liquor. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. DOI 10.1007/s00449-015-1404-9.
- Wang, Y., Li K., Huang, F., Wang, J., Zhao, J., Zhao, X., Garza, E., Manow, R., Grayburn, S. y Zhou, S. (2013). Engineering and adaptive evolution of *Escherichia coli* for L-lactic acid fermentation from molasses and corn steep liquor without additional nutrients. *Bioresource Technology*, 148, 394- 400.
- Winston, L.R., y Koffler, H. (1948). Corn Steep Liquor in Microbiology. *Bacteriological Reviews*, 12, 297-311.
- Wright, K.N. (1987). Nutritional properties and feeding value of corn and its byproducts. En: Watson, S.A., y Ramstad, P.E. (Eds.), *Corn: Chemistry and Technology* (pp. 447-478). St. Paul, MN: Amer. Assoc. of Cereal Chemists.
- Xi, Y.L., Chen, K.Q., Dai, W.Y., Ma, J.F., Zhang, M., Jiang, M., Wei, P., y Ouyang, P.K. (2013). Succinic acid production by *Actinobacillus succinogenes* NJ113 using corn steep liquor powder as nitrogen source. *Bioresource Technology*, 136, 775-779.
- Zabriskie, D.W., Armiger, W.B, Phillips, D.H., y Albano, P.A. (1982). Traders Guide to Fermentation Media Formulation. Memphis, TN: Traders Protein.

El agave tequilero: una perspectiva de aprovechamiento biotecnológico

Tequila agave: a biotechnological use perspective

*Ma. Guadalupe Bustos Vázquez⁶⁵
Nadia A. Rodríguez Durán
Alfredo del Ángel del Ángel
Nubia R. Rodríguez Durán
José Luis González Castillo

Resumen

⁶⁵Unidad Académica Multi-disciplinaria Mante, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Blvd. Enrique Cárdenas González 1201 poniente, Col., Jardín. CP. 89840, Cd. Mante, Tamaulipas., *Contacto: gbus-tos@uat.edu.mx

Este estudio presenta un análisis sobre el aprovechamiento biotecnológico del agave y el uso alternativo de los residuos generados durante su procesamiento. Los agaves, o magueyes, son algunas de las plantas más famosas del paisaje mexicano especialmente en las zonas áridas y semiáridas, ya que están consideradas como especies clave tanto por su abundancia como por la cantidad de recursos que proporcionan a otros organismos. En México, los agaves han tenido gran importancia económica y cultural para numerosos pueblos indígenas y mestizos, que los han aprovechado durante siglos como fuente de alimentación, bebidas, medicinas, combustible, cobijo, ornato, fibras duras extraídas de las hojas (ixtle), abono, construcción de viviendas y elaboración de implementos agrícolas. Este análisis se hizo a través de fuentes bibliográficas y resultados obtenidos de proyectos realizados por integrantes del equipo de investigación. El objetivo de este trabajo es difundir la importancia del uso de los residuos de la industria tequilera mediante su transformación biotecnológica proporcionando un valor agregado al cultivo bajo la perspectiva de que su uso representa una alternativa para la obtención de productos de gran importancia comercial.

Abstract

In this study, we present an analysis on the biotechnological use of agave, and the alternative use of waste generated during its processing. The agaves or magueyes cactus are some of the most famous plants of the Mexican landscape especially in arid and semiarid zones, as they are considered as key species by both, their abundance and amount of resources they provide to other organism. In Mexico, agaves have had a great economic and cultural significance for many indigenous and mestizo people, who have used them for centuries as a source of food, beverage, medicine, fuel, shelter, ornamentation, hard fibers extracted from the leaves fertilizer, hous building, and manufacturing of agricultural implements. This analysis was done through literature sources and results of projects carried out by members of the research team. The objective of this work is to show the importance of use of the waste of the tequila industry through its biotechnological transformation by providing added value to the culture under the prospect of their use represents an alternative for obtaining products of great commercial importance.

Introducción

Género Agave

Los agaves fueron una de las primeras plantas aprovechadas por los pobladores de Mesoamérica. Haciendo a México su principal centro de cultivo y diversificación, nuestros antepasados los escogían por sus fibras, aguamiel o las altas cantidades de azúcar que les proporcionaba (en náhuatl se denominaría *mexcalli*, es decir el tallo y las bases de las hojas “cabezas” cocidos). Es por esto que los agaves no solo tienen su máxima expresión de diversidad morfológica, filogenética y evolutiva en México, sino también cultural, ya que los seres humanos que lo han poblado han sabido aprovechar al máximo los beneficios que producen (García Mendoza, 2007).

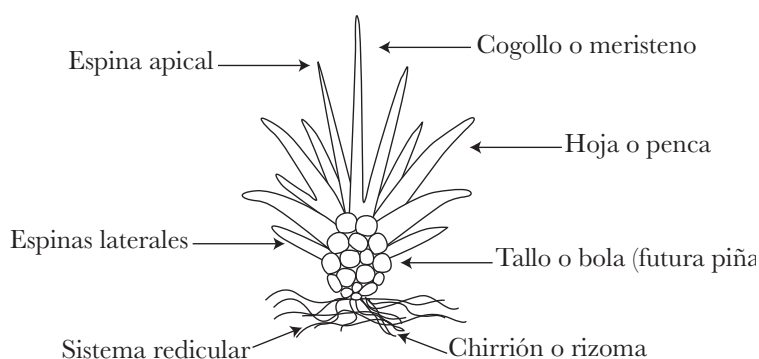


Figura 1. Morfología del agave.
(Fuente: Academia Mexicana del Tequila A.C.)

En griego, agave, *agavus* significa “admirable”, y fue a partir de la especie *Agave americana* que Carlos Linneo describió el género en 1753. Existen diferentes especies de agave entre las que destacan: *Agave angustifolia* Haw (Maguey espadín), *Agave esperima Jacobi* (Maguey de cerro), *Agave weberi* Cels (Maguey de mezcal), *Agave potatorum* Zucc (Maguey de mezcal), *Agave salmiana* Ottoex Salm *ssp.*, (maguey verde o mezcalero) (Ibarra et al., 2010).

Los agaves son plantas perennes con hojas dispuestas en espiral y arregladas en rosetas en el ápice de un tallo, el cual puede ser corto y apenas sobrepasar unos centímetros del suelo o bien ser largo y erecto (en este caso llega a medir hasta tres metros de altura); en varias especies el tallo se dobla hacia el sustrato y reptar sobre el suelo o las rocas por lo que es difícil observarlo, las hojas por lo general son suculentas, fibrosas, con la base dilatada y carnosa, su forma varía de lineal a lanceolada u ovada; las de las especies más pequeñas no sobrepasan los veinte gramos de peso, mientras que las de los agaves pulqueros son las más grandes del género, llegando a pesar más de treinta kilos cada una. El número de hojas varía de cinco a diez en *Agave gypsophila* y *Agave nizamensis*, hasta de 150 a 200 en *Agave rhodacantha*, (García Mendoza, 2007). Los márgenes exhiben una gran diversidad morfológica, las espigas (en la mayoría de las especies) sobresalen como proyecciones de tejido o bien se ubican sobre una banda córnea continua, mientras que en otras se desprenden en delgadas fibras o bien muestra denticillos microscópicos muy semejantes a filosas sierras, (García Mendoza, 2007). El envés muestra la huella de los dientes de la hoja que le antecedió. El color de las hojas presenta tonos verdes, amarillos, rojizos o violetas. Las especies

grandes alcanzan su madurez entre los 10 y 25 años, mientras que las pequeñas lo hacen después de crecer entre cuatro y cinco años. La Figura 1 presenta una descripción morfológica de la planta de agave.

En México se han identificado más de doscientas especies diferentes de Agave. Sin embargo, ninguna es tan apta para la producción de tequila como el Agave tequilana Weber variedad “azul”. En la actualidad se reconocen 136 especies, 26 subespecies, 29 variedades y 7 formas para la parte continental de Norteamérica (Gentry, 1982; Rulfo et al., 2007).

El género Agave se divide en los subgéneros: Agave, con inflorescencia en panícula o umbelada, y Littaea, en forma de espiga o racimosa (Zapata, 2003).

Agave (tequilana Weber) variedad azul

Esta planta es una especie originaria de México, utilizada especialmente como materia prima para la elaboración del Tequila; como cultivo se puede establecer en tres millones de hectáreas con certificado de Denominación de Origen Tequila (DOT), superficie que comprende el estado de Jalisco, parte de Guanajuato, Nayarit, Michoacán y Tamaulipas (Figura 2), (CNIT, 2009).

El *Agave tequilana* Weber o *agave azul*, es una planta suculenta que se extiende radicalmente de 1.2 a 1.8 m de longitud, (Figura 3), su tallo es grueso, corto de 30 a 50 cm. de altura al madurar, todas las hojas terminan en el ápice en una aguja fina de unos 5 cm de longitud y hasta de 1 cm de ancho en su parte menos extrema, (Ruiz Corral 2007; Rulfo et al., 2007).

Figura 2. Territorio de denominación de origen, TDO del tequila (Jalisco, parte de Guanajuato, Nayarit, Michoacán y Tamaulipas). (Fuente: Consejo Regulador del Tequila A.C.)



Sus necesidades de agua son moderadas una vez que está establecida en el campo y requiere de exposición plena al sol. Es xerófila (que crece en zonas áridas y cálidas) pertenece a la familia de agaváceas que se agrupan en el orden *Asparagales*.

Sus principales características son: hojas largas fibrosas de 90 a 120 cm, en forma lanceolada, acuminadas de fibras firmes, casi siempre rígidamente estiradas, cóncavas de ascendentes a horizontales, generalmente de color glauco azulado a verde grisáceo, tiene una espina terminal de color rojo oscuro de 2 cm. (Rulfo et al. 2007; SIAP, 2011).

El agave está compuesto por el corazón de la planta, a su alrededor se encuentran las pencas, que son los tallos de las hojas. En el centro o corazón de la piña se acumula el jugo natural, el cual tiene alto contenido de fructosa y diversas propiedades vitamínicas, así como partículas grasas que dan su distinguido sabor y olor. Su rico contenido de azúcar en condiciones óptimas de madurez de la planta, varía entre 20 y 30 grados brix (término científico para medir el contenido de azúcar) e ingrediente básico para poder producir tequila (SIAP, 2011).

Estas especies han sido utilizadas desde la antigüedad para satisfacer y complementar una serie de necesidades básicas como: alimento, forraje, medicamento y construcción, entre otros. Esta planta fue llamada *Agave tequilana* Weber por el botánico alemán Frank Weber quien descubrió la especie en 1902.



Figura 3. Planta de Agave tequilana Weber Azul.

Fuente: Consejo Regulador del Tequila 2012

Para la producción de esta planta se requiere un largo proceso que inicia desde la siembra de la semilla o hijuelo (el cual puede ser por vía sexual y asexual) y termina hasta la comercialización. El tequila puede ser envasado inmediatamente después de la destilación o puede añejarse en barricas de madera, las que le confieren las características de sabor y color (Bautista Justo, et al., 2001).

Situación actual de la producción de agave a nivel nacional

La producción de agave en el país se caracteriza por tener ciclos de escasez y abundancia que hacen que el precio fluctúe, afectando a quienes se dedican a esta actividad. La industria tequilera del país, ha seguido una política de integración entre el proceso de transformación y el proveer la materia prima: por tanto, las principales tequileras del país han estado plantando su propia superficie y han demandado un volumen menor al que comúnmente se registraba. Los estados con mayor producción de *Agave tequilana* o Agave azul, fuera de la zona de denominación de origen son Zacatecas, Sinaloa, Aguascalientes y Colima (Bernal Astorga, 2009).

Contaminación de tequileras

Los residuos de la producción de tequila se han convertido en una amenaza ambiental. La falta de plantas tratadoras en la industria ha provocado que las aguas residuales que se desechan durante el proceso de destilado, también llamadas vinazas, sean arrojadas a los ríos o se utilicen en riego en plantaciones de agave. De acuerdo con Hernández López (2011), por cada litro de tequila que se produce, se contaminan 10 litros de agua. En México, la producción promedio es de 200 millones de litros de esta bebida, lo cual se traduce en dos

mil millones de litros de residuos del proceso de la destilación, que generalmente se tira a los afluentes y a los drenajes públicos.

Así, Hernández López (2011), menciona que una de las prácticas de las empresas es comprar el agave a los campesinos, bajo la condición de que el agua residual sea vertida en su terreno y que muchos de los suelos donde se cultiva el agave son ácidos y con el vertimiento de la vinaza, líquido tóxico espeso que queda después de la fermentación y destilación con un color café oscuro, se podría generar un desequilibrio ambiental. “Por el efecto de la composición química de la vinaza, que contamina los mantos freáticos o la laterización de los suelos, porque una de las principales características de la vinaza es que por las ceras que contiene, puede hacer que los suelos se vuelvan duros y esto impide que crezca vegetación”.

Subproductos de la industria tequilera

Anualmente la industria tequilera demanda aproximadamente un millón de toneladas de piñas de agave, actividad que genera una cantidad similar de hojas que constituyen los residuos agrícolas del cultivo y que no son utilizadas en la actualidad (Iñiguez et al., 2001b). La industria tequilera es una de las más redituables en México; sin embargo, durante la elaboración del tequila se producen residuos de difícil disposición y es un reto buscar cómo aprovecharlos. A este respecto, la empresa *Carbon Diversion América Latina* cuenta con una tecnología capaz de convertir diferentes biomásas en una fuente de energía renovable, (Quintana Lucio, 2012). Entre los subproductos que genera el proceso de elaboración del tequila y que son de gran interés económico destacan:

- **Bagazo de agave.** Es un subproducto de la industria tequilera que queda después de cocinar, moler y extraer el jugo fermentable de la piña de Agave tequilana (González García et al., 2005). La industria tequilera en México, ha ido en constante crecimiento aumentando con ello el volumen de bagazo de agave, producto de la extracción de los azúcares fermentables de las cabezas de la planta Agave tequilana Weber azul. La producción de bagazo de agave es equivalente al 40 % del peso de las cabezas de agave molidas, por lo que se generan grandes volúmenes de este desecho (Figura 4), provocando un problema ambiental y económico.

Figura 4. Desechos de bagazo de agave.

Fuente: Elaboración propia



1. El bagazo de agave tequilero, está formado por fibras gruesas de 10 a 12 cm de largo compuestas de celulosa, hemicelulosa y lignina, tal como se observa en

la Tabla 1. Algunos autores han investigado la factibilidad de uso del bagazo de agave. Una de estas fue para hacer uso parcial del residuo para alimentar rumiantes (Iñiguez Covarrubias et al., 2001a). Sin embargo, aunque los animales fueron capaces de digerir parte del bagazo, se encontró que esta aplicación se veía limitada por causa de la lignina asociada a la fibra y el arreglo cristalino de la celulosa, (González et al., 2005). Se ha estudiado el uso de bagazo de agave para hacer papel para lo cual emplearon técnicas de pulpeo mecánicas, químicas y biológicas. El estudio demostró que es factible esta aplicación aunque se obtiene un papel con resistencia baja (Idarraga et al., 1999).

Análisis	Valores
Humedad (%)	71
pH	5.4
Materia orgánica (% Base seca)	91.2
Cenizas (% Base seca)	8.8
Carbono orgánico total (% Base seca)	50.6
Nitrógeno total (% Base seca)	0.53
Relación C:N	95.5
Fibra detergente neutra (% Base seca)	58.8
Fibra detergente ácida (% Base seca)	46.7
Hemicelulosa (% Base seca)	12.1
Celulosa (% Base seca)	41.9

Tabla 1. Características físicas y químicas del bagazo de agave (Iñiguez, et al., 2005).

Otras aplicaciones que se han estudiado, son como aglomerados en la fabricación de muebles y relleno de colchones, además como sustrato para cultivo de hongos, para fabricar ladrillos de composta (Iñiguez et al., 2001a). Sin embargo, aun no se cuenta con un proceso definitivo económicamente activo para disponer de estos residuos, por lo que sería importante continuar la exploración de opciones como la bioconversión por bacterias en productos de valor agregado.

1. Miel de agave. Cuando el líquido extraído del agave es tratado mediante ciertos procesos químicos (hidrólisis térmica o enzimática), el resultado es una miel a base de fructuosa: azúcar benéfica para la salud, que pura, puede ser consumida por los diabéticos. El proceso comienza con la fragmentación de las cadenas de polímeros de que están compuestos los azúcares del agave, a fin de extraer la primera fructuosa. Esta es sometida a altas temperaturas a fin de eliminar los residuos y el líquido resultante es el utilizado para elaborar un concentrado de miel (Carrillo, 2004). Investigaciones recientes han reportado que el jugo de agave contiene sustancias conocidas como saponinas, las cuales inhiben el crecimiento de algunos microorganismos, (Montaño et al., 2007).

• **Inulina.** El agave tiene como principal carbohidrato la inulina la cual sirve de almacén de energía. La inulina es un polisacárido no digerible, soluble en agua tibia que puede hidrolizarse fundamentalmente a fructosa. Los oligofruetosacáridos o inulinas son carbohidratos constituidos fundamentalmente por fructuosas y escasos residuos de glucosa que representan una opción agroindustrial

importante por sus aplicaciones técnicas, productivas y nutricionales, aunque la propiedad más extensivamente estudiada es su comportamiento como prebiótico (Roberfroid M. 2005), definido por su capacidad selectiva de estimular el crecimiento de un grupo de bacterias en el colon (bifidobacterias y lactobacilos), con la consecuente disminución de otras especies que pueden ser perjudiciales por ejemplo: *E. coli* y bacterias de la especie *Clostridium spp.*, (Gibson G., 1999).

Dadas sus propiedades fisicoquímicas y biológicas estos compuestos tienen múltiples implicaciones sobre la salud como pueden ser el fortalecimiento de las funciones inmunes del organismo (ante cáncer o tumores), el mejoramiento de la biodisponibilidad de nutrientes por su fermentabilidad y el efecto regulador de la actividad intestinal, atribuida a la producción de ácidos grasos de cadena corta y aumento en la peristalsis por el incremento en población de bífido bacterias, (Franck A., 2006). Paralelamente y debido a sus propiedades fundamentales la inulina tiene una gama de aplicaciones tecnológicas, en la elaboración de diversos productos alimenticios como yogurt y helados, en los cuales disminuye la formación de cristales de agua. Cuando la inulina se agrega a la harina usada para la elaboración de pastas, aumenta positivamente el índice de hinchamiento y la firmeza de estas, con el beneficio adicional de contar con un índice glucémico reducido en un 15 %, (Madrigal y Sangronis, 2007). De igual manera y debido a su higroscopicidad se ha reportado su capacidad para estabilizar espumas y emulsiones en su estado hidratado (Madrigal y Sangronis 2007; IPN, 2011). Es importante destacar que tanto la inulina como sus derivados fueron aceptados como ingredientes GRAS (*generalmente reconocido como seguro*) por el FDA desde 1992, lo cual indica que pueden usarse sin restricciones en formulaciones alimenticias incluso en las destinadas para infantes (Coussement P., 1999).

- **Vinazas.** Las vinazas tequileras se generan después de la destilación de las mieles fermentadas, tienen diferente contenido de cenizas, glicerol, sodio, potasio, sulfatos, magnesio entre otros componentes (Decloux et al., 2002). Durán de Bazúa, 1993 citado por (Ramales et al., 2002) define la vinaza como una disolución de sustancias, sales minerales y orgánicas, las cuales tienen potencial para diversos usos. Su composición varía de acuerdo a las condiciones del proceso. Se tiene reportado que para la producción de un litro de tequila se obtienen de 7 a 10 litros de vinaza y entre 15 y 20 kg de bagazo en base húmeda, (Iliangovan et al., 1996). Éstas son arrojadas en grandes cantidades en ríos y arroyos cercanos a las plantas productoras o en drenaje municipal (Iñiguez et al., 2005). Debido a sus características físicas y químicas constituyen un contaminante ambiental; no obstante, son ricas en nutrimentos y pueden ser aprovechadas en distintas formas evitando que se desperdicien, además de disminuir los problemas de contaminación en los lugares donde son arrojados (Madrigal y Arias, 2001).

Usos del Agave

Entre los diversos usos se encuentran:

1. El pulque, sin duda, el producto más famoso y de mayor trascendencia histórica. Se obtiene de la fermentación de la savia azucarada conocida como aguamiel obtenida a partir de diferentes especies de maguey (*Agave americana*,

A. atrovirens, *A. feroz*, *A. mapisaga*, *A. salmiana*), (Cervantes y Pedroza, 2007). Hoy se sabe que esta bebida contiene: agua, alcohol etílico, azúcares, sustancias albuminoides, tiamina, riboflavina, niacina, vitamina C, proteínas y sales minerales (fósforo, carbonatos, sulfatos, cloruros, calcio, sodio, potasio, magnesio y hierro). Cuando el pulque está en buen estado, es energético, diurético, bueno para la diabetes, para la anemia y para ciertas enfermedades gastrointestinales, mejora la lactancia, sirve como cáustico para limpiar las llagas, calienta la sangre y además, refresca, (Domínguez, 2010).

Investigadores del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA) del Instituto Politécnico Nacional en Tlaxcala lograron establecer y estabilizar las características de un pulque de excelente calidad. Encontraron en esta bebida microorganismos que inhiben el crecimiento de bacterias patógenas intestinales como: *Escherichia coli*, *Shigella sp*, *Salmonella sp*. En otra línea de investigación identificaron y desarrollaron cepas especiales de bacterias y levaduras útiles para la elaboración de productos derivados como mieles, bebidas ácidas, jarabes y jugos de frutas de sabor agradable y alto valor nutricional, además de la formulación de licores destilados del pulque. Más de 30 especies de cepas de bacterias y levaduras han sido identificadas en el pulque. La literatura reporta que a partir del pulque se pueden recuperar diversos grupos microbianos clasificados como: subdivisión Bacillus-Lactobacillus-Streptococcus (*Lactobacillus* cepa ASF360 AF157050, *Lactobacillus acidophilus* M99740, *L. hilgardii* M58521, *L. plantarum* D79210 y *Leuconostoc mesenteroidesspp* mesenteroides), subdivisión proteobacteria (*Acetobacter pomorium* AJ001632, *Zymomonas mobilis* AF281034) y hongos levaduriformes pertenecientes a los géneros *Sacharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces sp.*, (Escalante et al., 2004).

2. El mezcal y tequila. Mezcal es el nombre que se le da a toda bebida obtenida de la destilación de jugos fermentados de un agave, el preferido es el *Agave angustifolia* Haw, sin embargo también se aprovechan otras 10 especies espontáneas para su elaboración, en especial el *Agave salmiana*. Pinos Rodríguez et al., (2008), mencionan que la parte superior y baja de las hojas de *Agave salmiana* son buena fuente de carbohidratos solubles. Sin embargo tiene bajos contenidos de proteína cruda por lo cual es necesario un complemento proteínico. Esta especie de agave ensilado disminuye su concentración de saponinas, teniendo una fermentación aceptable.

El tequila es un mezcal obtenido de una sola variedad, el *Agave tequilana* Weber en particular la variedad denominada *azul*, nombrada así por la tonalidad azulada de sus hojas.

a) La fibra. Hoy en día el agave más cosechado para la producción de fibra es la lechuguilla utilizada como hilo, material con el que se logra tejer costales, tapetes morrales, ceñidores, redes de pesca, cordeles incluso en la elaboración artesanal de adornos, principalmente para las piezas de cuero que forman parte del equipo y vestimentas de los charros, (Valenzuela, Z. 2000). Las raíces han sido utilizadas para la elaboración de cepillos, escobas y canastas. En Tamaulipas, esta actividad se practica aún en los municipios de Jaumave, Palmillas, Miquihuana, Bustamante y Tula.

Investigaciones realizadas por la empresa mexicana Nekutli en colaboración con el Instituto Nacional de Pediatría, desarrollaron la primera fórmula láctea para recién nacidos que utiliza *agave azul* como materia prima; el *agave* es procesado hasta obtener dos fibras orgánicas solubles. Estas fibras han demostrado de manera contundente efectos prebióticos y probióticos. El efecto probiótico ayuda al desarrollo de microbiota benéfica en el intestino, evitando así infecciones gastrointestinales, mientras que el efecto prebiótico es el responsable de la estimulación selectiva del crecimiento de bacterias benéficas en el colon, con lo que se estimula el sistema inmune, (RCD, 2011).

Análisis y perspectivas de aprovechamiento

El agave es endémico del continente americano, con una distribución que se extiende desde el sur de Estados Unidos (con dos especies en Florida) hasta Colombia y Venezuela. El estado de Tamaulipas cuenta con una variedad de especies cosechadas (de 20 a 26 especies), predominando las especies del grupo *Americanae*, además de que cuenta con un clima favorable para su desarrollo de forma natural. En la actualidad el agave que se cosecha en Tamaulipas se utiliza para la producción de fibras (*Agave lechuguilla* y *Agave fourcroydes*). Existen 11 municipios que cuentan con la denominación de origen para la producción de tequila (*Agave tequilana*) así mismo 11 municipios cuentan con la denominación de origen para producción de mezcal (*Agave americana*).

Rizwan, et al., (2012) examinaron diversas actividades biológicas de un extracto metanólico de las hojas de *Agave attenuata* y concluyeron que esta planta podría utilizarse como una fuente de antioxidantes naturales y aplicaciones funcionales en alimentos nutraceuticos. Castellanos et al., (2012) mencionan que los fructanos también tienen posibles aplicaciones como prebióticos en la industria alimentaria. Los compuestos activos de *Agave sisalana* presentan acción antiparasitaria contra nematodos gastrointestinales (GIN), con lo cual podría ser una alternativa para reducir drásticamente la contaminación de los pastos, así impactar como antiparasitario en el sector ganadero (Silveira, et al., 2012). Así, se puede deducir que el *Agave tequilana* variedad azul es una materia prima prometedora para la producción industrial de los jarabes con alto contenido de fructosa (Soto et al., 2012).

Conclusiones

El agave constituye uno de los recursos naturales que generan un alto contenido de residuos procedentes del proceso de elaboración del tequila. Poseen un alto potencial de aprovechamiento, para la elaboración de miel con efectos positivos para la salud, como antioxidantes naturales y aplicaciones funcionales en alimentos nutraceuticos en beneficio de la nutrición humana incluyendo los fructanos, también en posibles aplicaciones como prebióticos en la industria alimentaria podría ser una alternativa como antiparasitario en el sector ganadero. Así, se concluye que el agave es una fuente prometedora para la producción industrial de jarabes con alto contenido de fructosa.

Bibliografía

- Bautista Justo M., García Oropeza L., Barboza Corona J. E y L. A. Parra Negrete., (2001). El *Agave tequilana* Weber y la producción de tequila. Acta universitaria. Vol. 11(2): 26.
- Bernal Astorga A. (2009) Inulina perfil comercial. Dirección de comercialización y planeación. Página 1- 3.
- Carrillo, L. E. (2004). Aprovecharán el agave para mieles e inulina. Gaceta Universitaria, Universidad de Guadalajara, 11.
- Castellanos Pérez, N; Rodríguez Mendiola, MA; De Alba, PLL; Martínez, LL; Gutiérrez Miceli, FA; Arias Castro, C. (2012). Optimization of process for extraction and fractionation by degree of polymerization of fructans, obtained from *Agave tequilana* Weber var. azul, for obtain prebiotics. *GAYANA BOTANICA* Vol. 69 no. especial: pags. 31-39
- Cervantes Contreras M. y Pedroza Rodríguez A. M. (2007). El pulque: características microbiológicas y contenido alcohólico mediante espectroscopía Raman. *Nova-Publicación Científica En Ciencias Biomédicas*. Vol. 5(8): 101- 212.
- CNIT. (2009). Recuperado el 6 de noviembre de 2011, de Cámara Nacional de la Industria Tequilera: <http://www.tequileros.org>.
- Coussement P. (1999). Inulin and Oligofructosa: safe intakes and legal status. *J Nutr*; 129: 1412-1417.
- Decloux M.; Bories A.; Lewyowski R.; Fargues C.; Mersad A.; Kameloise M.; Bonnet F.; Dherbecourt B.; Nieto L. (2002). Interest of electro dialysis to reduce potassium level in vinasses preliminary experiment. *Desalination* 146 *Bioresours Technology* 91:393-398.
- Domínguez Galván, E. (2010). El pulque y sus propiedades nutritivas. *Revista Alimentación y Nutrición*.
- Escalante A; Rodriguez M; Martinez A; López Munguía A; Bolivar F; Gosset G. (2004). Characterization of bacterial diversity in Pulque a traditional Mexican alcoholic fermented beverage, as determined by 16S rDNA analysis. *FEMS Microbiol Letters*. 235:273-279.
- Franck A., (2006). Inulin. En: *Food Polysaccharides and Their Applications*. Stephen A. (Editor). Segunda Edición. Nueva York, USA: Marcel Dekker; 733 pp.
- García, Mendoza, A. J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias, UNAM*, 14-23.
- Gentry, H. (1982). *Agaves of Continental North America*. The University of Arizona Press, Tucson.
- Gibson G. (1999). Dietary modulation of the human gut microflora using the prebiotics oligofructose and inulin. *Journal of Nutrition*. 129: 1438-1441.
- González García, Y., González Reynoso, O y Nungaray Arellano, J. (2005). Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. *e-Gnosis vol. 3*:1-18.
- Hernández López, J., (2011). “Los paisajes agaveros y sus transformaciones culturales: expansión, intensificación, estetización”, *Entre regiones, historia sociedad y cultura*, t/v 1, México, Pag. 111 - 132

- Ibarra, E., Botero, J y Cortes, C. (2010). *Ingeniería de Tequilas*. Bogotá, Colombia: Universidad de Colombia.
- Idarraga G.; Ramos J.; Zúñiga V.; Sahin T.; Young R. (1999). Pulp and paper from blue Agave Waste from Tequila production. *Journal Agricultural Food Chemistry* 47: 4450-4455.
- Iliangovan K.; Linerio J.; Alvarez E.; Briones M.; Noyola A.; (1996) Biodegradación de compuestos orgánicos industriales. Universidad Nacional Autónoma de México. pp 38-51.
- Íñiguez, G., Acosta, N., Martínez, L., Parra, J y González, O. (2005). Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 7. Compostaje de bagazo de agave y vinazas tequileras. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* Vol. 21(1): 37-50.
- Iñiguez Covarrubias, G., Lange, S. E., Rowell, R. M. (2001). Utilization of byproducts from the tequila industry: part 1: agave bagasse as a raw material for animal feeding and fiberboard production. *Bioresource Technology*. 77:25-32.
- Iñiguez Covarrubias, G., Lange, S. E., Rowell, R. M. (2001). Utilization of byproducts from the tequila industry: part 2: Potential value of *Agave tequilana* Weber azul leaves. *Bioresource Technology* 77, 101-108.
- IPN, I. P. CEPROBI. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos: <http://www.ceprobi.ipn.mx>. Fecha de consulta: 7 de noviembre de 2011.
- Madrigal Pulido, J y Arias García, J. A. (2001). Cultivo de hongos comestibles sobre vinazas tequileras en estado sólido. *IX Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*. Veracruz, Veracruz.
- Madrigal, L. Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en los alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 57(4): 387-396.
- Montaño, D., M. Line, E. Espinosa y P. Strehaiano, (2007). Fermentative capability and aroma com-pound production by yeast strains isolated from *Agave tequilana* Weber juice. *Enzyme and Microbial Technol.*, 42:608-616.
- Pinos Rodríguez, J.M., Zamudio M. and González S. S. (2008). The effect of planta age on the chemical composition of fresh and ensiled *Agave salmiana* leaves. *Souht African Journal of Animal Science*. 38 (1). Instituto de investigación de Zonas desérticas de la UASLP.
- Quintana Lucio (2012). Producirán biodisel a partir del agave del tequila. Reportajes Miércoles, 11 de enero de 2012.
- Ramales O.; Martín C. y Barragán R.M. (2002). “La industria del mezcal y la economía Oaxaqueña” *Revista Ciencia y Desarrollo* (2011), Vol. 237(249):60- 61.
- Roberfroid M. (2005). Inulin-Type Fructans: Functional Food Ingredients. Boca Raton, USA: CRC Press. 370 pp.
- Rizwan, K; Zubair, M; Rasool, N; Riaz, M; Zia Ul-Haq, M; de Feo, V. 2012. Phytochemical and Biological Studies of *Agave attenuata*. *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 13(5): 6440-6451.
- Ruiz Corral, J. A. 2007. Requerimientos agroecológicos y potencial productivo del *Agave tequilana* Weber en México. Libro técnico 4:11-36.

- Rulfo Vilchis, F.O; Pérez Domínguez, J.F; Del Real Laborde J.I; Byerly Murphy, K.F; (2007). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen deltequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Libro Técnico Núm. 4.
- SIAP, (2010). de Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera: <http://www.siap.gob.mx>. Recuperado el 24 de agosto de 2011.
- Silveira, RX; Chagas, ACS; Botura, MB; Batatinha, MJM; Katiki, LM; Carvalho, CO; Bevilaqua, CML ; Branco, A; Machado, EAA; Borges, SL; Almeida, MAO. 2012. Action of sisal (*Agave sisalana*, Perrine) extract in the in vitro development of sheep and goat gastrointestinal nematodes. *Experimental Parasitology*. Vol. 131(2): 162-168.
- Soto, JLM; González, JV; Nicanor, AB; Ramírez, EGR. 2012. Enzymatic production of high fructose syrup from *Agave tequilana fructans* and its physicochemical characterization. *African Journal of Biotechnology*. 10 (82): 19137-19143.
- Valenzuela, Z.A.G. 2000. El mundo diverso del agave. En: 100% Tequila. Julio-Septiembre, Año I, N° 4. p.p.22, 23. México.
- Zapata, A. (2003). *El agave Tequilero. Cultivo e industria en México*. D.F, México: Aedos, S.A.

Tecnología y desarrollo sustentable: avances en el aprovechamiento de recursos agroindustriales, publicado por la Universidad Autónoma de Tamaulipas y Colofón, se terminó de imprimir en diciembre de 2017, en los talleres de Eddel Graph S.A. de C.V. El tiraje consta de 1 000 ejemplares impresos mediante offset en papel Bond ahusado de 75 gramos.



C.P. Enrique C. Etienne Pérez del Río
Presidente

Dr. José Luis Pariente Fragoso
VICEPRESIDENTE

Dr. Héctor Cappello García
Secretario Técnico

C.P. Guillermo Mendoza Cavazos
Vocal

Dr. Marco Aurelio Navarro Leal
Vocal

Mtro. Luis Alonso Sánchez Fernández
Vocal

Mtro. José David Vallejo Manzur
Vocal

CONSEJO EDITORIAL DE PUBLICACIONES UAT

Dra. Lourdes Arizpe Slogher, Universidad Nacional Autónoma de México • Dr. Amalio Blanco, Universidad Autónoma de Madrid, España • Dra. Rosalba Casas Guerrero, Universidad Nacional Autónoma de México • Dr. Francisco Díaz Bretones, Universidad de Granada, España • Dr. Rolando Díaz Loving, Universidad Nacional Autónoma de México • Dr. Manuel Fernández Ríos, Universidad Autónoma de Madrid, España • Dr. Manuel Fernández Navarro, Universidad Autónoma Metropolitana México • Dra. Juana Juárez Romero, Universidad Autónoma Metropolitana México • Dr. Manuel Marín Sánchez, Universidad de Sevilla, España • Dr. Cervando Martínez, University of Texas at San Antonio, EUA • Dr. Darío Páez, Universidad del País Vasco, España • Dra. María Cristina Puga Espinosa, Universidad Nacional Autónoma de México • Dr. Luis Arturo Rivas Tovar, Instituto Politécnico Nacional México • Dr. Aroldo Rodrigues, University of California at Fresno, EUA • Dr. José Manuel Valenzuela Arce, Colegio de la Frontera Norte México • Dra. Margarita Velázquez Gutiérrez, Universidad Nacional Autónoma de México • Dr. José Manuel Sabucedo Cameselle, Universidad de Santiago de Compostela, España • Dr. Alessandro Soares da Silva, Universidad de São Paulo, Brasil • Dr. Alexandre Dorna, Universidad de CAEN, Francia • Dr. Ismael Vidales Delgado, Universidad Regiomontana, México • Dr. José Francisco Zúñiga García, Universidad de Granada, España • Dr. Bernardo Jiménez, Universidad de Guadalajara, México • Dr. Juan Enrique Marcano Medina, Universidad de Puerto Rico-Humacao • Dra. Úrsula Oswald, Universidad Nacional Autónoma de México • Arq. Carlos Mario Yory, Universidad Nacional de Colombia • Arq. Walter Debenedetti, Universidad de Patrimonio Colonia, Uruguay • Dr. Andrés Piqueras, Universitat Jaume I. Valencia, España • Dr. Yolanda Troyano Rodríguez, Universidad de Sevilla, España • Dra. María Lucero Guzmán Jiménez, Universidad Nacional Autónoma de México • Dra. Patricia González Aldea, Universidad Carlos III de Madrid, España • Dr. Marcelo Urra, Revista Latinoamericana de Psicología Social • Dr. Rubén Ardila, Universidad Nacional de Colombia • Dr. Jorge Gissi, Pontificia Universidad Católica de Chile • Dr. Julio F. Villegas, Universidad Diego Portales, Chile • Ángel Bonifaz Ezeta, Universidad Nacional Autónoma de México.

Tecnología y desarrollo sustentable: avances en el aprovechamiento de recursos agroindustriales

Ma. Guadalupe Bustos Vázquez
José Alfredo del Ángel del Ángel

Primera edición, 2017

Tecnología y desarrollo sustentable / Abigail Reyes Munguía ... [et al.] ; María Guadalupe Bustos Vázquez, José Alfredo del Ángel del Ángel coord. — Ciudad de México: Colofón ; Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2017

406 p. ; 21.5 x 27.9 cm

I. Tecnología – Desarrollo económico 2. Desarrollo sustentable
I. Reyes Munguía, Abigail, coaut. II. Bustos Vázquez, María Guadalupe, coord.
III. Ángel del Ángel, del, José Alfredo, coord.

LC: HC59.E5 T42 Dewey: 330.9 T42

D. R. © 2017, Universidad Autónoma de Tamaulipas
Matamoros, s.n, Zona Centro, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. C.P. 87000

Consejo de Publicaciones UAT

Tel. (52) 834 3181-800 • extensión: 2948 • www.uat.edu.mx

Diseño de portada: Inventor Studio



Fomento Editorial Una edición del Departamento de Fomento Editorial de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

Edificio Administrativo, planta baja, CU Victoria
Ciudad Victoria, Tamaulipas, México
Libro aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT

Unidad Académica Multidisciplinaria Mante

Boulevard Enrique Cárdenas González 1201 pte.

Col. Jardín, Cd. Mante, Tamaulipas

C.P. 89840. México

Colofón S.A. de C.V.

Franz Hals 130,

Col. Alfonso XIII,

Delegación Álvaro Obregón, C.P. 01460

Ciudad de México, 2017.

www.paraleer.com • Contacto: colofonedicionesacademicas@gmail.com

ISBN: 978-607-8513-40-6

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra incluido el diseño tipográfico y de portada, sea cual fuere el medio, electrónico o mecánico, sin el consentimiento por escrito del Consejo de Publicaciones UAT.

Impreso en México • *Printed in Mexico*

El tiraje consta de 1,000 ejemplares

Este libro fue dictaminado y aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT mediante un especialista en la materia. Asimismo fue recibida por el Comité Interno de Selección de Obras de Colofón Ediciones Académicas para su valoración en la sesión del primer semestre de 2016, se sometió al sistema de dictaminación a “doble ciego” por especialistas en la materia, el resultado de ambos dictámenes fueron positivos.

Índice de contenido

Presentación

Ambiente:

Calidad y uso de agua en la industria agroalimentaria: de su extracción al reúso 13

Fabián Fernández-Luqueño, Angelina González-Rosas, Juan Marcelo Miranda-Gómez, Fernando López-Valdez 25

Uso de lodos residuales para el sector agroindustrial: tratamiento, reúso y valor para un futuro sustentable 37
Fernando López-Valdez, Fabián Fernández-Luqueño, Minerva Rosas-Morales, Ada María Ríos-Cortés

Minimización de residuos agroindustriales: formulación de adsorbentes ecológicos atrapados en esferas de alginato para el tratamiento de aguas residuales de origen vitivinícola
Vecino X., Pérez-Ameneiro M., Cruz J. M., Moldes A.B.

Desarrollo sustentable:

Avances en la producción sustentable de alimento animal a partir de residuos fibrosos de la agroindustria azucarera en México 47
Diana Isis Llanes Gil López, Jorge Aurelio Lois Correa, María Elena Sánchez Pardo, Gabriela Magdalena Ortega Mulia

Potencial de los fertilizantes biológicos fermentados para la producción sustentable de hortalizas en el sur de Tamaulipas 57
Hermilo Lucio Castillo, Epifanio Mireles Rodríguez, Sergio Castro Nava, Rolando Ávila Ayala y Joel Ávila Valdez

Inocuidad y calidad en la industria alimentaria 65
Nubia R. Rodríguez Durán, Ofelia Bustos Vázquez, Alfredo del Ángel, Nadia A. Rodríguez Durán y Ma. Guadalupe Bustos Vázquez

Germinación y aptitud agronómica de cuatro ecotipos de chile piquín (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) en el sur de Tamaulipas 75
Epifanio Mireles-Rodríguez, Norma Leticia Moctezuma-Balderas, Sergio Castro-Nava, Rolando Salazar-Hernández, Hermilo Lucio-Castillo y Clarisa Pérez Jasso

Virus y Geminivirus transmitidos por el Biotipo B de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), análisis de la situación actual 87
Epifanio Mireles-Rodríguez, Sergio Castro-Nava, Rolando Salazar-Hernández, Hermilo Lucio-Castillo y Clarisa Pérez Jasso

Desarrollo sostenible de alimento para engorda de ganado bovino a partir de *Pennisetum sp* (Maralfalfa) 101
Gabriela Magdalena Ortega Mulia, Jorge Aurelio Lois Correa, José Luis Horak Loya, Diana Isis Llanes Gil López

Factores presionantes sobre la sostenibilidad en la agroindustria de azúcar de caña en México 109
Jorge A. Lois Correa, Diana I. Llanes Gil López, María E. Sánchez Pardo, Vanessa N. Orta Guzmán

Pulpa fresca de cítricos: una alternativa para la alimentación de rumiantes	121
<i>Juan Carlos Martínez González, Benigna Faustino Lázaro, Froylán Andrés Lucero Magaña y Sonia Patricia Castillo Rodríguez</i>	
Uso potencial, factibilidad, perspectivas y ventajas de los biofertilizantes en la agricultura	133
<i>M. A. García-Delgado; A.M. García-Zúñiga; H. Mata-Vázquez; J.E. Cervantes-Martínez</i>	
Tecnologías de transformación de frijol bajo un enfoque sustentable: Comunidad indígena, Xiliapa, SLP.	147
<i>Karina Ramírez Sedeño, Oscar Manuel Portilla, Carmen del Pilar Suárez Rodríguez, Maribel Ovando Martínez, Vicente Espinosa Solís</i>	
Aprovechamiento de cogollo de caña de azúcar en la alimentación de ganado bovino de engorde	165
<i>Vanessa Natalie Orta Guzmán, Jorge Aurelio Lois Correa, Elvia Margarita Romero Treviño</i>	
Alternativas de uso de los subproductos y residuos de la agroindustria	173
<i>Nadia A. Rodríguez Durán, Ma. Guadalupe Bustos Vázquez, Alfredo del Ángel del Ángel, Nubia R. Rodríguez Durán y Plácido D. Hernández M.</i>	

Energía:

Influencia de la composición y arreglo de los electrodos en el proceso de formación de biopelículas en celdas de combustible microbiano	183
<i>Arturo Salinas Martínez, Liliana Reynoso Cuevas y Miguel Ángel López Zavala</i>	
Adaptación de genotipos no tóxicos de <i>Jatropha curcas</i> L. La planta del biodiesel, en municipios del Centro y Sur de Tamaulipas, México	193
<i>M. A. García-Delgado; M. L. Martínez-Saldívar; J.E. Cervantes-Martínez; H. Mata-Vázquez</i>	
Biorrefinerías, una alternativa para la sustentabilidad	
<i>Benigno Ortiz-Muñiz, Jorge Arturo Mendoza-Sosa, Javier Gómez-Rodríguez, María Guadalupe Aguilar-Uscanga</i>	
Eficiencia energética en el sector agroindustrial	207
<i>Angelina González-Rosas, Juan Marcelo Miranda-Gómez, Fabián Fernández-Luqueño</i>	
Nueva tecnología de producción de etanol 2G a partir de hidrolizado de bagazo de caña de azúcar	215
<i>Dussán K.J.; Silva D.D.V.; Brumano L.P.; Silva S.S.</i>	
Obtención de bioetanol a partir de jugo de sorgo dulce (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench)	229
<i>Benigno Ortiz-Muñiz, Javier Gómez-Rodríguez, Noé Montes-García y María Guadalupe Aguilar-Uscanga</i>	

Desarrollo tecnológico:

Obtención de moléculas bioactivas a partir de la cáscara de café	251
<i>Thamires de Fátima Andrade Duro, Juan Daniel Rivaldi, Boutros Sarrouh</i>	
Biotecnologías en la mejora genética en animales de interés agropecuario en México	265

<i>Adelfa del Carmen García Contreras, Camelia Alejandra Herrera Corredor, Óscar Manuel Portilla Rivera, María Dolores Saavedra Leos</i>	
Evaluación del aislamiento de hongos filamentosos de interés biotecnológico a partir de la cáscara de café	271
<i>Thamires de Fátima Andrade Durso, Boutros Sarrouh</i>	
Cultivo <i>in vitro</i> , estudios fitoquímicos y actividad biológica de pitayas y pitahayas en el Laboratorio de Micropropagación de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL	281
<i>Ma. Eufemia Morales Rubio, Ruth Amelia Garza Padrón, Ramón G. Rodríguez Garza, Jaime Fco. Treviño Neávez</i>	
Bionanotecnología para la producción de alimentos: Retos y Perspectivas	293
<i>Fabián Fernández-Luqueño, Fernando López-Valdez, Angelina González-Rosas, Juan Marcelo Miranda-Gómez</i>	
Aplicación de la fermentación en estado sólido para el tratamiento de residuos agroindustriales	307
<i>Guillermo Arzate-Martínez</i>	
Producción biotecnológica de aditivos alimentarios	321
<i>Guadalupe C. Rodríguez Castillejos, Octelina Castillo Ruíz, Adriana L. Perales Torres</i>	
Aprovechamiento del bagazo de sorgo dulce (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench) para la obtención de productos de interés industrial	329
<i>María Guadalupe Aguilar-Uscanga, Benigno Ortiz-Muñiz, Javier Gómez-Rodríguez y Noé Montes-García</i>	339
Aprovechamiento biotecnológico de la cáscara de naranja	
<i>María Luisa Carrillo, Abigail Reyes, José Manuel Domínguez, Óscar Manuel Portilla Rivera</i>	
Potencial de bacterias ácido lácticas como método de biocontrol contra microorganismos patógenos	349
<i>Francisco Javier Yépez Ramírez, Lorenzo Jarquín Enríquez, Gabriela Medina Ramos, María Dolores Saavedra Leos, Óscar Manuel Portilla Rivera</i>	
Levaduras productoras de etanol: Aislamiento, selección y evaluación	359
<i>Adrián González Leos, José Alfredo del Ángel, José Luis González, C. Plácido D. Hernández M. y Ma. Guadalupe Bustos V.</i>	
La biotecnología y las tecnologías limpias	369
<i>José Alfredo del Ángel del Ángel, Nubia R. Rodríguez D., Ma. Guadalupe Bustos V. y Nadia A. Rodríguez D.</i>	
Posibilidades de los biosurfactantes como ingredientes en formulaciones cosméticas	377
<i>Xanel Vecino, Ana Belén Moldes, L.R Rodríguez</i>	
Nuevas posibilidades para los licores de lavado de maíz: fuente de biosurfactantes	387
<i>Xanel Vecino, María Pérez-Ameneiro, José Manuel Cruz, Ana Belén Moldes</i>	
El agave tequilero: una perspectiva de aprovechamiento biotecnológico	395
<i>Ma. Guadalupe Bustos Vázquez, Nadia A. Rodríguez Durán, Alfredo del Ángel del Ángel, Nubia R. Rodríguez Durán y José Luis González Castillo</i>	

Presentación

La situación mundial en estos días se caracteriza por un incremento de la población, por la contaminación y el agotamiento de recursos naturales y materias primas. El aprovechamiento de productos y subproductos o residuos generados durante el proceso de la industrialización de algunos recursos agrícolas, constituye una fuente atractiva y útil para obtener otros productos de elevado valor comercial.

Es necesario integrar esfuerzos de los grupos que trabajan en los diferentes campos de la ciencia, la tecnología y la innovación; reunir las herramientas necesarias para la transformación de las estructuras productivas, la explotación racional de los recursos naturales, el cuidado de la salud, la alimentación, la educación y otros requerimientos sociales.

El conocimiento científico y las innovaciones tecnológicas son herramientas de las sociedades contemporáneas; elementos indispensables para impulsar el desarrollo económico y social, mediante el fortalecimiento institucional, la formación de investigadores y tecnólogos, la creación de instrumentos de vinculación y la difusión de los avances científicos y tecnológicos entre la ciudadanía. El Cuerpo Académico “Ciencia y Tecnología Agroalimentaria” de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, participa y propone a través de esta obra, difundir los avances científicos y tecnológicos que se han generado por los diferentes grupos de trabajo nacionales e internacionales, así como establecer redes de colaboración entre los participantes de las diferentes áreas del conocimiento.

Guadalupe Bustos Vázquez

Calidad y uso de agua en la industria agroalimentaria: de su extracción al reúso

Quality and use of water in the agro-food industry: from extraction to reuse

*Fabián Fernández-Luqueño¹
Juan Marcelo Miranda-Gómez²
Angelina González-Rosas
Fernando López-Valdez³

Resumen

¹*Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav, Unidad Saltillo). Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25900, Coahuila, México. Teléfono: +52 844 4389625. *Contacto: cinves.cp.cha.luqueno@gmail.com*

²*Universidad Tecnológica de Tulancingo. Área Electromecánica Industrial. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México*

³*Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, México*

El agua es un recurso natural esencial, que desempeña un papel vital como materia prima en muchas actividades económicas favoreciendo la calidad de la vida y la salud ambiental. El agua es también una mercancía que tiene un valor económico en todos sus usos competitivos. Cada día es más difícil extraer agua de calidad, por lo que antes de que ésta ingrese a un proceso de producción, es necesario realizar algunos análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Se analizaron las aguas de 75 pozos, en el estado de Coahuila, México; se determinó que el agua analizada es de calidad, sin embargo, se encontró que algunas variables están por arriba de los límites máximos permisibles. En diversos pozos se encontró la presencia de elementos, compuestos químicos y microorganismos patógenos. A pesar de que esa agua puede tratarse y reusarse, este manejo implica un costo económico y tiempo. Como parte de las tecnologías para tratar agua, las nanotecnologías, a través del uso de nanopartículas y nanodispositivos ofrecen alternativas para mitigar los problemas de calidad, disponibilidad y reúso de agua. No obstante, se deben tomar consideraciones ambientales para fortalecer un desarrollo sustentable.

Abstract

Water is an essential natural resource, which plays a vital role as input into many economic activities adding to the quality of human life and supporting the environmental health. Additionally, water is also a commodity which has an economic value in all its competing uses. Analyses performed at 75 water's wells from Coahuila, Mexico were used to determine that the analyzed water is of good quality; however, there are some water characteristics above the guideline values. Thus, water from several wells has the presence of elements, chemical compounds and pathogenic microorganisms. However, although this water could be treated and reused, this operation implies an economic cost and time. As part of technologies for treating water, nanotechnology, through the use of nanoparticles and nanodevices offer alternatives to mitigate the problems of quality, availability and reuse of water. However, environmental considerations must be made to strengthen sustainable development.

Introducción

Los recursos hídricos y cuerpos de agua han sido afectados alrededor del mundo por la actividad humana durante los últimos años, por lo que los seres humanos y sus actividades económicas enfrentan la escasez de agua de calidad (Fernández-Luqueño et al., 2013). En general, el agua de nuestro planeta podría estar contaminada por elementos, compuestos u organismos. Los metales pesados son ejemplo de los elementos que podrían contaminar el agua, mientras que algunos ejemplos de compuestos orgánicos o minerales son los hidrocarburos, pesticidas, disolventes y/o detergentes. *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Escherichia*, *Shigella* y *Entamoeba* son algunos géneros de patógenos que se encuentran con frecuencia en el agua. Para regular la calidad de agua la organización mundial de la salud y muchos gobiernos a nivel mundial, entre ellos México, han definido los límites máximos permisibles para una amplia diversidad de elementos, compuestos y patógenos. Alrededor del mundo hay millones de personas con envenenamiento crónico causado por beber agua contaminada y 1.6 millones de niños mueren cada año por enfermedades relacionadas con la calidad del agua (Fernández-Luqueño et al., 2013). En todo el planeta se tienen 1 400 millones de km³ de agua, de los cuales, el 2.5% corresponden a agua dulce, *i.e.*, la concentración de sales es < 0.1%. Por desgracia, buena parte de esos 35 millones de km³ de agua dulce, correspondientes al 2.5% de total, está contaminada o al menos un parámetro supera su límite máximo permisible.

México es un importador neto de agua virtual. El agua virtual es la cantidad de agua utilizada durante procesos de producción, empaque o transporte de un bien o servicio; se dice que es virtual porque no está presente en los productos finales. Además, México tiene una huella hídrica per cápita de 1 500 a 2 000 m³ hab.⁻¹ por año⁻¹, *i.e.* para producir los bienes y servicios que cada persona necesita durante un año, se requieren entre 1 500 y 2 000 m³ de agua. El agua que demanda el sector agrícola e industrial crece desproporcionada respecto al número de habitantes del planeta (7 322 millones, en 2015), debido a que las personas se han inclinado a consumir, sin saber, una gran cantidad de productos que requieren grandes volúmenes de agua para producirse como el procesamiento de cárnicos o prendas de algodón (Wilderer, 2011). A pesar de que la demanda de agua se incrementa en todo el mundo, la capacidad de extracción y distribución se ha mantenido constante o incluso, ha disminuido. Como efecto de la contaminación de suelo y agua, la sobre extracción y los efectos causados por el cambio climático, los municipios, el sector industrial, la agricultura y la agroindustria sufren desabasto de agua a nivel mundial (Beniston et al., 2014). Es importante indicar y reconocer que el manejo del recurso del agua es politizado (Schlager y Bauer, 2011). Uno de los debates presentes es el relacionado con los posibles impactos en la salud al incrementarse el acceso y la cantidad de agua distribuida versus mejorar la calidad de agua (Ahuja et al., 2011) y que el uso de agua subterránea ha subido de 0.1 a 1 000 km³ por año en el periodo de 1950 al 2015 (Lopez-Gunn et al, 2011; NGWA, 2015). En nuestros días, en muchas ciudades del mundo, o incluso en áreas rurales, la extracción de agua subterránea supera la recarga natural del acuífero. El objetivo de este capítulo es presentar y discutir algunos aspectos relacionados con la calidad y

disponibilidad de agua en la industria agroalimentaria para optimizar su uso, reducir la sobre extracción y promover su reúso para fortalecer el desarrollo sustentable en México.

Estándares de calidad de agua

Muchos contaminantes de agua como pesticidas, disolventes para limpieza y detergentes son sustancias que pueden ser identificadas en el agua como efecto de la actividad antropogénica. También nutrientes y sedimentos son encontrados en el agua, debido a procesos naturales y pueden representar un problema bajo ciertas circunstancias. (Tabla 1)

Tabla 1. Principales sustancias que contaminan el agua.

Fuente	Implicaciones	Referencia
Elementos traza	Tóxicos para los seres humanos y la vida acuática	Muñoz et al. (2015)
Metales pesados	Tóxicos para los seres humanos y la vida acuática	Khan et al. (2015)
Metales atrapados a compuestos orgánicos	Transporte de metales	Mahmoud et al. (2010)
Radio nucleótidos	Tóxicos	Nair et al. (2014)
Contaminantes inorgánicos	Tóxicos y cancerígenos	Kümmerer (2011)
Nanopartículas	Riesgo ambiental	Kümmerer (2011)
Asbestos	Cancerígenos	Dieter (2011)
Nutrientes	Eutrofización	Kümmerer (2011)
Acidez, alcalinidad o salinidad (en excesos)	Afectan la calidad del agua, la vida acuática y requieren tratamiento previo a su uso	Dieter (2011)
Bifenilos policlorados	Efectos biológicos	Mahmoud et al. (2010)
Pesticidas	Tóxicos para organismos acuáticos y vida silvestre	Kümmerer (2011)
Residuos de petróleo	Efecto sobre la vida silvestre y estética	Dieter (2011)
Aguas residuales y excrementos de humanos y animales	Alteran la calidad del agua, particularmente los niveles de oxígeno	Petney & Taraschewski (2011)
Patógenos	Salud humana	Thiele et al. (2011)
Detergentes	Eutrofización y vida silvestre	Dieter (2011)
Químicos carcinógenos	Incidencia de cáncer	Dieter (2011)
Sedimentos	Calidad de agua y vida silvestre	Kümmerer (2011)

(Elaboración propia)

Es decir, la mera presencia de un compuesto, elemento u organismos no representa necesariamente un problema, más bien, es la concentración del contaminante lo que debe preocupar (Tabla 2).

Elementos	Organización Mundial de Salud ^π	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América [‡]	Norma Oficial Mexicana [€]
Antimonio	20	6	NC
Arsénico	10	10	25
Cadmio	3	5	5
Cromo	50	100	50
Cobre	2000	1300	2000
Hierro	NC [¥]	300	300
Plomo	10	15	10
Manganeso	100	50	150
Mercurio	6	2	1
Níquel	70	NC	NC
Plata	NC	100	NC
Talio	NC	2	NC
Uranio	30	30	NC
Zinc	NC	500	5000

Tabla 2. Límites máximos permisibles de algunos elementos, publicados por la Organización Mundial de la Salud, la Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos de América y la Norma Oficial Mexicana (elaboración propia).

[¥]No considerado. La norma no presenta límites máximos permisibles para estas variables.

^π Organización Mundial de la Salud (WHO, 2011).

[‡] Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (USEPA, 2011).

[€] Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1994).

En años recientes surgieron diversas tecnologías para caracterizar la calidad de agua en solo una muy pequeña proporción de los cientos de km³ año⁻¹ que son extraídos de los mantos acuíferos como muestra la Tabla 3.

Existen diversas técnicas analíticas para el análisis de metales y metaloides (entre otros parámetros) en agua: *i*) Espectrometría de absorción atómica por horno de grafito (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry, GFAAS), también conocido como espectrometría de absorción atómica electrotérmica (Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry, ETAAS), *ii*) Espectrometría de absorción atómica por generación de hidruros (Hydride-Generation Atomic Absorption Spectrometry HG-AAS), *iii*) Espectrometría de fluorescencia atómica por generación de hidruros (Hydride-Generation Atomic Fluorescence Spectrometry, HG-AFS), *iv*) Análisis de iones por inyección de flujo (Flow Injection Analysis, FIA), *v*) Espectroscopia de emisión atómica por plasma acoplado inductivamente (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy, ICP-AES), *vi*) Análisis mediante activación neutrónica (Instrumental Neutron Activation Analysis, INAA), *vii*) Espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, ICP-MS), *viii*) Cromatografía de gases (Gas Chromatography, GC), *ix*) Cromatografía de líquidos de alta resolución (High-Performance Liquid Chromatography, HPLC), *x*) Cromatografía iónica (IC) y *xi*) Voltamperometría (Voltamperometry).

Tabla 3. Países con la mayor extracción de agua subterránea en el año 2010 (datos más recientes).

País	Población en el 2010 / millones	Extracción de agua subterránea			
		Cantidad / km ³ año ⁻¹	Desglose por sector		
			Para irrigación / %	Para uso doméstico / %	Para la industria / %
India	1224.6	251.0	89	9	2
China	1341.3	111.9	54	20	26
Estados Unidos	310.4	111.7	71	23	6
Pakistán	173.6	64.8	94	6	0
Irán	74.0	63.4	87	11	2
Bangladesh	148.7	30.2	86	13	1
México	113.4	29.4	72	22	6
Arabia Saudita	27.4	24.2	92	5	3
Indonesia	239.8	14.9	2	93	5
Turquía	72.7	13.2	60	32	8
Rusia	142.9	11.6	3	79	18
Siria	20.4	11.3	90	5	5
Japón	126.5	10.9	23	29	48
Tailandia	69.1	10.7	14	60	26
Italia	60.5	10.4	67	23	10

Fuente: NGWA, 2015

Muchas de las técnicas indicadas arriba requieren de costosos equipos que van de 2 a 10 millones de pesos, por lo que en México la disponibilidad es escasa. Sin embargo, es importante señalar que aun cuando se podría tener acceso a esos equipos, no garantizan resultados confiables y representativos de ciertas zonas (desviaciones a la ley de Lambert-Beer-Bouguer), si se emplean técnicas de muestreo inadecuadas, si no se siguen los protocolos para conservación de muestras, si no se estandarizan las metodologías de análisis, si no se calibran y ajustan los equipos o no se emplean soluciones patrón.

Análisis de agua de 75 pozos del sureste de Coahuila, México

Se muestrearon y analizaron parámetros fisicoquímicos y biológicos de 75 pozos de la región integrada por los municipios de Ramos Arizpe, Arteaga y Saltillo, Coahuila (Figura 1). Los muestreos se realizaron durante dos periodos (octubre 2011 y mayo 2012). Los procedimientos de muestreo, los análisis fisicoquímicos y de biología molecular se realizaron con base en lo reportado por Navarro-Noya et al. (2013; Figura 2).

Con base en los resultados de los laboratorios y considerando el Canadian Water Quality Index, se puede concluir que el agua potable que se suministra a los usuarios de los municipios de Ramos Arizpe, Arteaga y Saltillo, Coahuila, es de buena o excelente calidad. Es de relevancia considerar

que se encontraron algunos elementos, compuestos o microorganismos en concentraciones superiores a las permitidas en las legislaciones mexicanas e internacionales. También se encontró que la concentración de contaminantes varía con respecto al tiempo. Es prudente especificar que a pesar de que el agua puede clasificarse como de buena y excelente calidad, es necesario dar seguimiento continuo a la calidad del agua potable en los municipios antes indicados, porque hay elementos, compuestos o microorganismos (Tabla 4) que por sus altas concentraciones ponen en riesgo la salud de los usuarios, por ejemplo, hierro, sodio, manganeso, plomo, cloruros, coliformes totales, coliformes fecales, nitratos, nitritos y sulfatos.

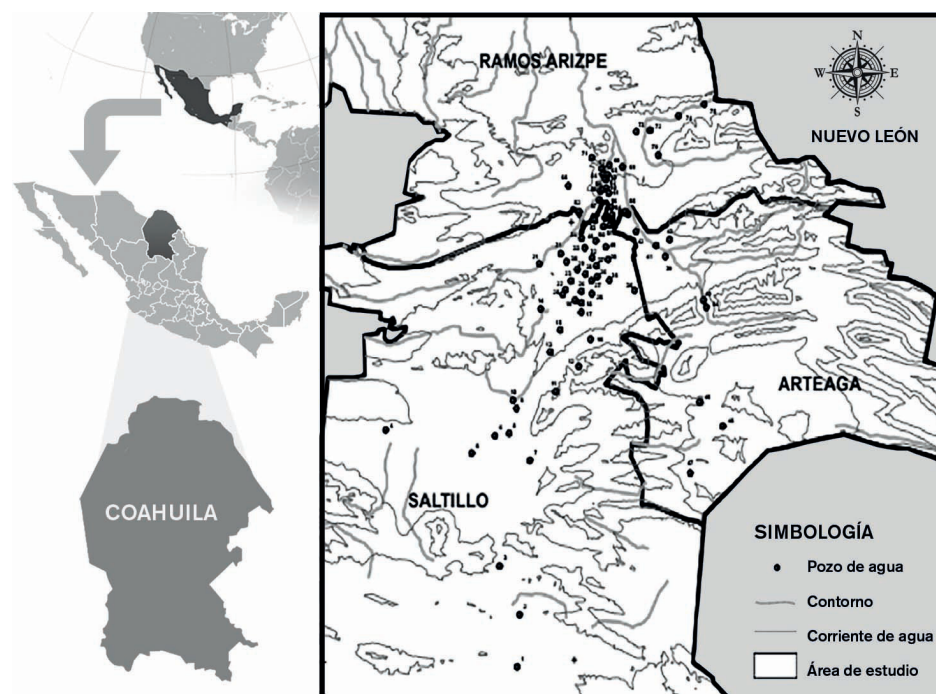


Figura 1. Localización geográfica de los 75 pozos de agua, muestreados y analizados durante el 2011 y 2012. Cada pozo se analizó para más de 20 parámetros fisicoquímicos y por biología molecular (elaboración propia).

Ácidobacteria	Gemmatimonadetes	Verrucomicrobia
Actinobacteria	Nitrospira	Alphaproteobacteria
Bacteroidetes	OD1	Betaproteobacteria
Chloroflexi	OP10	Deltaproteobacteria
Cyanobacteria	No determinado	Epsilonproteobacteria
Firmicutes	Planctomycetes	Gammaproteobacteria

Tabla 4. Grupos taxonómicos de bacterias reveladas por pirosecuenciación del 16S rRNA, de muestras de agua de 75 pozos del sureste de Coahuila, México (elaboración propia).

En el sureste de Coahuila, México, será necesario implementar estrategias y programas de monitoreo de la calidad del agua potable para determinar las concentraciones de los contaminantes a través del tiempo, así como los orígenes de los mismos y de este modo, garantizar a la población el abasto de agua potable de calidad.

Evidencias del uso de agua de mala calidad en la producción de alimentos y en la agroindustria

En años recientes, la precisión y los límites de detección que alcanzan los nuevos equipos de caracterización física, química y biológica, han señalado la presencia de contaminantes en productos alimenticios en varios países del mundo (Tabla 5). Lo anterior resalta que aún con estrictas normatividades vigentes, la producción, procesamiento y envasado de alimentos requieren mayor atención e inversión en investigación, innovación y desarrollo.

Tabla 5. Contaminantes identificados en alimentos de diversas regiones del mundo, así como su impacto en la salud (elaboración propia).

Contaminante identificado	País	Producto	Riesgo a la salud	Referencia
Arsénico	China	Tomate, naranja y cerdo	Cáncer e hiperpigmentación	Chen et al. (2011)
Antimonio	China	Maíz	Irritación en vías respiratorias	Pan et al. (2010)
Cadmio	Turquía	Frutas y vegetales	Cáncer	Turkdogan et al. (2003)
Cobalto	Suiza	Trigo	Alergias	Song et al. (2011)
Plomo	En todo el mundo	Peces, vegetales y arroz	Neurotoxicidad	Peralta-Videa et al. (2009)
Mercurio	En todo el mundo	Peces, vegetales y arroz	Neurotoxicidad	Peralta-Videa et al. (2009)
Aflatoxina M1	México	Leche	Tóxico, posible carcinogénico	Ortiz-Martínez et al. (2010)
Hidrocarburos policíclicos aromáticos	En todo el mundo	Cereales, carne, azúcar, vegetales, frutas, pescado	Diversos tipos de cáncer	Yebra-Pimentel et al. (2015)
Contaminantes orgánicos persistentes	Alemania y Estados Unidos de América	Alimentos y bebidas	Toxicidad y cáncer	Michel et al. (2013)

Tratamiento de agua

El tratamiento de agua puede ser dividido en tres categorías en función de su potencial uso:

- Doméstico,
- Procesos industriales y
- Tratamiento de aguas residuales para su descarga a aguas nacionales o reúso.

El tipo y grado de tratamiento son dependientes tanto del origen del agua como del uso potencial. El agua para uso doméstico debe ser tratada con particular cuidado y desinfectarse para eliminar microorganismos patógenos y podría tener concentraciones bajas de calcio o magnesio disueltos. Sin embargo, el agua que se emplea en calentadores o calderas podría tener patógenos, pero la concentración de calcio y magnesio debe ser mínima para prevenir la formación de sarro y prolongar la eficiencia de los equipos. El agua residual que se descarga en un río podría requerir un tratamiento menos riguroso que aquella que se reusa en una región árida. Debido a que la población enfrenta crisis más severas relacionadas con la disponibilidad y calidad de agua, en años recientes han emergido nuevas tecnologías para tratar el agua (Manahan, 2010). Es importante considerar que para facilitar una transición hacia el uso sustentable del agua, la sociedad en su conjunto debe prevenir y controlar las fuentes de contaminación. La prevención de la contaminación del agua implica optimizar los procesos de producción y cambiar o adecuar los materiales y tecnologías empleados en los sistemas productivos. En contraste, el control de la contaminación implica adicionar un filtro o algún otro dispositivo al final del sistema para prevenir que el contaminante se libere al ambiente (Wright & Boorse, 2011). Si bien la prevención y el control de la contaminación requieren una inversión inicial, lo cierto es que muchas empresas han logrado ahorros significativos en diversos rubros (energía eléctrica, agua, drenaje y saneamiento, etc.) desde el primer año.

El reciente incremento en la generación de aguas tratadas, su reúso directo como agua potable, así como la recarga de mantos acuíferos con estas aguas, genera muchas de las preocupaciones relacionadas con la calidad de agua y la salud humana. En el agua reusada tres de sus constituyentes son de especial preocupación: i) los virus entéricos y otros patógenos emergentes, ii) constituyentes orgánicos incluyendo químicos industriales y farmacéuticos, restos de productos para el cuidado personal y limpieza en los hogares y otros contaminantes orgánicos persistentes, y iii) sales y metales pesados (Leverenz & Asano, 2011). A la fecha, existen diversas tecnologías para reusar el agua, entre ellas destacan la filtración por membranas, procesos de oxidación avanzada, biopelículas, celdas microbianas de combustible, procesos anaeróbicos y nanopartículas o nanodispositivos. Cada una de las tecnologías anteriores o sus combinaciones, podrían resolver los problemas relacionados con el aprovechamiento y manejo de aguas residuales, pero, en todos los casos se deberá considerar el cuidado del ambiente, el bienestar social y el factor económico para fortalecer el desarrollo sustentable.

Conclusiones

Cada vez es más difícil extraer y aprovechar el agua potable en cualquier lugar del mundo. Se han desarrollado una serie de tecnologías y estrategias avanzadas que ayudan a mitigar la escasez y disminuyen los riesgos relacionados con el consumo de agua no potable. En México se han realizado muchos estudios sobre calidad de agua, sin embargo, los altos costos de los equipos, su complicada operación y la difícil validación de los análisis, favorecen a solo un pequeño grupo de ciudades o agroindustrias, las cuales tienen la capacidad financiera y técnica para regular, con cierto rigor y apegados a normatividad, la calidad del agua antes, durante y después del proceso productivo. El sector agroindustrial deberá hacer esfuerzos adicionales para emplear agua de calidad en sus procesos. Las agroindustrias deberán establecer estrategias para manejar, ahorrar y tratar el agua, para que el reúso sea viable en lo económico y factible en los aspectos técnicos.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de sus respectivas instituciones de adscripción. La parte experimental y los análisis fisicoquímicos y microbiológicos fueron financiados con el proyecto FOMIX-COAHUILA COAH-2010-C14-149610.

Bibliografía

- Ahuja, A., Kremer, M. & Zwane, A. P. (2011). Providing clean water: evidence from randomized evaluations. *In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). Treatise on Water Science. Vol 1. Management of Water Resources. USA. 199 pp.*
- Beniston, M., Stoffel, M. & Quevauviller, P. (2014). The impacts of climatic change on water resources: Foreword to the special issue. *Journal of Hydrology*. 518, 179.
- Chen, C., Qian, Y. Z., Chen, Q. & Li, C. Y. (2011). Assessment of daily intake of toxic elements due to consumption of vegetables, fruits, meat and seafood by inhabitants of Xiamen, China. *Journal of Food Sciences*. 76, T181-T188.
- Dieter, H. (2011). Drinking water toxicology in its regulatory framework. *In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). Treatise on Water Science. Vol. 3. Aquatic Chemistry and Microbiology. USA. 469 pp.*
- Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., Gamero-Melo, P., Luna-Suárez S., Aguilera-González, E.N., Martínez A.I., García-Guillermo, M.S., Hernández-Martínez, G., Herrera-Mendoza, R., Álvarez-Garza, M.A., & Pérez-Velázquez, I.R. (2013). Heavy metal pollution in drinking water—a global risk for human health: A review. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(7), 567-584.
- Khan, S., Shah, I. A., Muhammad, S., Malik, R. N., & Shah, M. T. (2015). Arsenic and heavy metal concentrations in drinking water in Pakistan and risk assessment: A case study. *Human and Ecological Risk Assessment*. 21(4), 1020-1031.
- Kümmerer, K. (2011). Emerging contaminants. *In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). Treatise on Water Science. Vol. 3. Aquatic Chemistry and Microbiology. USA. 469 pp.*
- Leverenz, H. L. & Asano, T. (2011). Wastewater reclamation and reuse system. *In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). Treatise on Water Science. Vol. 4. Water Quality Engineering USA. 847 pp.*
- Lopez-Gunn, E., Llamas, M. R., Garrido, A. & Sanz, D. (2011). Groundwater management. *In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). Treatise on Water Science. Vol 1. Management of Water Resources. USA. 199 pp.*
- Mahmoud, M. E., Hafez, O. F., Alrefaay, A. & Osmar, M. M. (2010). Performance evaluation of hybrid inorganic/organic adsorbents in removal and preconcentration of heavy metals from drinking and industrial waste water. *Desalination*. 253(1-3), 9-15.
- Manahan, S.E. (2010). *Environmental Chemistry*. 9th edition. CRC, USA. 753 pp.
- Michel, F., Bell, D. S., Stenerson, K.K., Barrey, E., Ye, M. & Sidisky, L. M. (2013). New analytical tools for the determination of persistent organic pollutants (POPs) in fatty food and beverage matrices using QuEChERS method and gas chromatography (GC) analysis. *Abstracts of Papers of the American Chemical Society*. 246, 121-AGDF

- Munoz, M. O., Bhattacharya, P., Sracek, O., Ramos, O. R., Aguirre, J. Q., Bundschuh, J. & Maity, J. P. (2015). Arsenic and other trace elements in thermal spring and in cold water from drinking water wells on the Bolivian Altiplano. *Journal of South American Earth Sciences*. 60, 10-20.
- Nair, M. G., Rao, D. D., Sathyapriya, R. S. & Sarkar, P. K. (2014). Standardization of sequential separation of naturally occurring radionuclides in drinking water. *Desalination and Water Treatment*. 52(1-3), 536-541.
- Navarro-Noya, Y. E., Suárez-Arriaga, M. C., Rojas-Valdes, A., Montoya-Ciriaco, N. M., Gómez-Acata, S., Fernández-Luqueño, F. & Dendooven, L. (2013). Pyrosequencing analysis of the bacterial community in drinking water Wells. *Microbial Ecology*. 66, 19-29.
- NGWA, National Groundwater Association. (2015). *Facts about global groundwater usage*. Recuperado el 14 de junio de 2015 de <http://www.ngwa.org/Fundamentals/use/Documents/global-groundwater-use-fact-sheet.pdf>
- Ortiz-Martínez, R., Valdivia-Flores, A., Quezada-Tristán, T., Martínez-De Anda, A. & Luna-López, M. C. (2010). Aflatoxin M1 contamination in different types of milk: A risk for public health? *Toxicology Letters*. 196S, S101.
- Pan, X. L., Zhang, D. Y., Chen, X., Li, L. H., Mu, G. J., Li, L. & Song, W. J. (2010). Sb uptake and photosynthesis of *Zea mays* growing in soil watered with Sb mine drainage: an OJIP chlorophyll fluorescence study. *Polish Journal of Environmental Studies*. 19, 981-987.
- Peralta-Videa, J. R., Lopez, M. L., Narayan, M., Saupe, G. & Gardea-Torresdey, J. (2009). The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: implications for the food chain. *International Journal of Biochemistry & Cell Biology*. 41, 1665-1677.
- Petney, T. N. & Taraschewski H. (2011). Waterborne parasitic diseases: Hydrology, regional development, and control. In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). *Treatise on Water Science. Vol. 3. Aquatic Chemistry and Microbiology*. USA. 469 pp.
- Schlager, E. & Bauer, C. (2011). Governing water: Institutions, property rights, and sustainability. In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). *Treatise on Water Science. Vol 1. Management of Water Resources*. USA. 199 pp.
- Song, H., Yin, W. & Ma, Q. (2011). Allergic palmoplantar pustulosis caused by cobalt in cast dental crowns: a case report. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology*. 111, E8-E10.
- Thiele, S., Fuchs, B. M., Amann, R. I. (2011). Identification of microorganism using the ribosomal RNA approach and fluorescence in situ hybridization. In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). *Treatise on Water Science. Vol. 3. Aquatic Chemistry and Microbiology*. USA. 469 pp.
- Turkdogan, M. K., Kilicel, F., Kara, K., Tuncer, I., & Uygan, I. (2003). Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of turkey. *Environmental Toxicology & Pharmacology*. 13,175-179.

- Wilderer, P. (2011). The importance of water science in a world of rapid change: A preface to the treatise on water science. In: Wilderer, P., Rogers, P., Hanaki, K., Uhlenbrook, S., Vereijken, T. & Frimmel, F. (Eds.). *Treatise on Water Science. Vol 1. Management of Water Resources*. USA. 199 pp.
- Wright, R.T. & Boorse, D.F. (2011). *Environmental Science, Toward a Sustainable Future*. 11th Edition. USA. 674 pp.
- Yebra-Pimentel, I., Fernández-González, R., Martínez-Carballo, E. & Simal-Gandara, J. (2015). A critical review about the health risk assessment of PAHs and their metabolisms in food. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 55 (10), 1383-1405.

Uso de lodos residuales para el sector agroindustrial: tratamiento, reúso y valor para un futuro sustentable

Wastewater sludge use for agribusiness sector: treatment, reuse and value for a sustainable future

*Fernando López-Valdez⁴

Minerva Rosas-Morales⁵

Ada María Ríos-Cortés

Fabián Fernández-Luqueño⁶

Resumen

⁴Grupo de Biotecnología Agrícola, Centro de Investigación de Biotecnología Aplicada. Instituto Politécnico Nacional. Carr. Est. Sta. Inés Tecuexcomac-Tepetitla km 1.5, s/n. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, C.P. 90700, México. *Contacto: flopezva@ipn.mx

⁵Grupo de Biotecnología Agrícola, Centro de Investigación de Biotecnología Aplicada. Instituto Politécnico Nacional. Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, C.P. 90700, México.

⁶Grupo de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. Cinvestav-Salttillo, Coahuila. C.P. 25900, México

Los lodos residuales son desechos o residuos con alto contenido de materia orgánica y minerales que por lo general no poseen utilidad alguna. Se estima que en México se producen alrededor de 10.75 millones de toneladas de lodos residuales cada día. Se han realizado diversos estudios en todo el mundo para determinar la utilidad o impacto del uso de lodos en campos agrícolas. Dependiendo de las características de los lodos y su origen, éstos pueden alcanzar una adecuada relación C/N y liberar el nitrógeno disponible para el sustento de las plantas, de forma continua y durante todo el periodo de cultivo. Los lodos residuales pueden mejorar las condiciones y características del suelo, pero la aplicación de éstos deberá ser en su forma estabilizada. Pueden ser aplicados en el cultivo de plantas de interés agroindustrial, desde ornamentales, hasta aquellas involucradas en la producción de biodiesel o incluso plantas y hortalizas para consumo humano; lo que representa una importante contribución a la producción de alimentos y otros productos agropecuarios. Además, la aplicación de los lodos al suelo es una solución al problema ecológico que representa su disposición final, pues sin un tratamiento previo de estabilización, estos lodos pueden contener una importante cantidad de organismos enteropatógenos y sustancias tóxicas, lo que impide su aplicación en el sector agrícola. De aquí la importancia del estudio e implementación de diferentes tecnologías eficientes y de bajo costo para la estabilización de los lodos residuales que cumplan con la normatividad ambiental correspondiente.

Abstract

Wastewater sludge are residues with high content of organic matter and minerals that usually do not have any use. It is estimated that in Mexico occur approx. 1.75 millions of tons of sewage sludge per day. Has been done several studies worldwide in order to determine the usefulness or impact of the use of sludge on agricultural fields. Depending on the characteristics of the sludge and its origin, they can achieve adequate C/N ratio and release the available N to sustain the

plant growth continuously during their cultivation period. Additionally, the sewage sludge might improve the conditions and soil characteristics, but the application of the sludge must be stabilized. The sludge can be applied to plants with high interests on agribusiness, from ornamentals to plants involved on the production of biodiesel or even plants and vegetables for human consumption. It represents an important contribution on the food production and other agricultural products. Additionally, the application of the wastewater sludge into the soil provide a solution to the ecological problem of their final disposal, since without pretreatment of stabilization, the sludge may contain a significant amount of enteric pathogens and toxic substances, which prevents its application on agricultural sector. Hence the importance of studying and implementing different efficient and inexpensive technologies for the stabilization of sewage sludge in order to complying with relevant environmental regulations.

Introducción

Desde que el hombre tomó conciencia de las ventajas de permanecer en conjunto con sus congéneres para cubrir las necesidades básicas (supervivencia) a través de cohabitar; se crea el concepto de sociedad y civilización, esto propició efectos adversos como la acumulación de desechos. En la antigua Europa, los desechos eran tirados a las calles. Con la construcción de drenajes, un avance importante para la civilización de entonces, los desechos fueron conducidos a los ríos a través del drenaje. Con la llegada de la Revolución Industrial (iniciada en la segunda mitad del siglo XVIII en Inglaterra y expandiéndose por los todos los países con potencial de industrialización), estos efectos adversos se acentuaron al incorporarse desechos industriales. Esta realidad no ha cambiado mucho en la actualidad en países como México. Se estima que sólo el 40% de las aguas residuales son tratadas en nuestro país.

Los desechos y la forma de desechar, colectar y tratar han cambiado con el tiempo. Su origen es tan diverso como su forma de tratarlos, se podría decir que los desechos se pueden clasificar de acuerdo con su origen: como domésticos o municipales e industriales. Sin importar el origen, estos desechos se han convertido en un problema común que afecta a la sociedad no sólo en materia de salud, sino porque representan un problema ecológico importante; es por ello, que hoy en día se busca implementar métodos y tecnologías basadas en el aprovechamiento de los recursos naturales y disponibles para solucionar la problemática ambiental de estos desechos de una manera sustentable.

Los lodos residuales

Los lodos residuales o biosólidos son desechos orgánicos o propiamente materia orgánica parcialmente digerida bajo predominantes condiciones anaerobias. Esta pre-digestión es realizada en los desagües hasta llegar a las plantas tratadoras de aguas residuales. Se estima que alrededor del 40% de las aguas residuales son tratadas por plantas tratadoras (State of Michigan, 2015), el resto es vertido a aguas nacionales (ríos, arroyos, lagos, esteros e incluso directo al mar) (Qi et al., 2010). Por lo general, las aguas residuales llegan a las plantas tratadoras con una alta carga de materia orgánica y basura (vidrio, plástico, madera, etc.); de

manera que se elimina este material voluminoso en el tratamiento primario, a través de rejillas de desbaste (1 a 2.5 cm). El agua pasa después a un separador de arenas, aceites y grasas; de ahí se distribuye a tres tanques de clarificación primaria que asientan a los lodos por floculación y reposo, donde las partículas se aglutinan y precipitan por gravedad, conformando lo que se denomina como “lodos primarios” (Reciclagua Ambiental, S.A. de C.V., comunicación personal). En este punto, los lodos son separados para tratarse o eliminarse; dentro de los tratamientos -que varía de planta a planta, se puede citar la digestión anaerobia en rellenos sanitarios, incineración, tratamientos químicos como la neutralización o hidrólisis, deshidratación, estabilización aerobia, vermicomposteo, entre otros tratamientos. Algunos tratamientos son económicos, pero tienen la desventaja de manejar volúmenes de lodo en orden de cientos de toneladas por día. Otros, pueden ser efectivos, pero muy caros como el tratamiento por UV. La elección de un tratamiento depende de los problemas asociados a los lodos, que comúnmente son: contenido de organismos patógenos, metales pesados y/o sustancias recalcitrantes (o exógenas). Es muy conveniente dejar en claro que los lodos residuales varían en su composición debido al origen de los efluentes (domésticos, municipales, industriales y la combinación de estos) (de Lourdes Tirado Montiel et al., 2001).

Los lodos residuales no son un residuo agroindustrial, sin embargo, pueden ser aplicados como tal en el campo, aportando múltiples beneficios al suelo, a la biota del suelo y a los cultivos. Los lodos residuales pueden ser un invaluable sub-producto de las plantas tratadoras de aguas, debido a que este desecho es rico en materia orgánica y macro y microelementos (Harrison et al., 2006; López-Valdez et al., 2014). Se han reportado hasta 516 compuestos orgánicos en algunos lodos residuales (Harrison et al., 2006). Los lodos pueden ser una fuente de nutrimentos para las plantas y los microorganismos del suelo. El lodo residual puede aportar nitrógeno mineral por el proceso conocido como mineralización (Gomah et al., 1989). También puede proveer de carbono y nitrógeno a los microorganismos del suelo y a través del metabolismo de estos, el nitrógeno es suministrado (compartido) a las plantas en forma de amonio o nitratos (López-Valdez et al., 2010). Los lodos residuales tienen un gran potencial en el sector agroindustrial debido a que, se pueden obtener de ellos hormonas, proteínas, energía, fertilizantes, sustratos, etc. (Tabla 1).

Tratamiento y aplicaciones de los lodos

El tratamiento de lodos se aplica muy poco, pueden tratarse por vía aerobia o anaerobia. Dentro de los procesos aerobios se encuentran el composteo y vermicomposteo y por los procesos anaerobios mediante la digestión anaerobia. En ambos, la finalidad es la estabilización, es decir, el control o reducción de los organismos enteropatógenos presentes en el lodo como virus, quistes de protozoos, bacterias, huevos de helmintos, sobre todo. También, se pueden obtener subproductos, en el caso de los procesos aerobios, se puede aprovechar la materia orgánica, rica en minerales (N, P y K) y microelementos esenciales para las plantas y los organismos del suelo. Asimismo, se puede encontrar aminoácidos libres como L-triptófano (Sheng & Yu, 2006) que es precursor de ácido indolacético, fitohormona que regula diversos procesos del desarrollo

vegetal y que es sintetizado por bacterias como *Rhizobium* sp, y *Bacillus subtilis*, entre muchas otras; estas bacterias proveen de la hormona a plantas huésped como una forma de mutua ayuda.

Origen del lodo	Producto obtenido	Tecnología	Referencia
Planta de tratamiento	Energía (biogás)	Sistema combinado de celdas microbianas y biorreactor de membranas	Xinying et al. (2013)
Industria	Ahorro de energía	Co-combustión con pellets de madera	Chang et al. (2013)
Industria azucarera	Hidrógeno	Cultivo en viales de la cepa <i>Enterobacter cloacae</i>	Sun et al. (2015)
Planta de tratamiento	Generación y ahorro de energía	Celda de combustible microbiana integrada a un reactor discontinuo secuencial	Liu et al. (2011)
Planta de tratamiento	Sustrato para plantas	Composteo	Dede & Ozdemir (2015)
Planta de tratamiento	Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos pesados	Disposición sobre el suelo y mezcla posterior con paso de rastra	Minai-Tehrani et al. (2015)
Planta de tratamiento	Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos aromáticos policíclicos	Composteo o vermicomposteo y mezcla uniforme con el suelo	Fernández-Luqueño et al. (2011)
Planta de tratamiento	Recuperación de proteínas para alimento para ganado	Tratamiento alcalino seguido de ultrasonificación	Hwang et al. (2008)
Planta de tratamiento	Materiales para construcción	Estabilización convencional con aditivos como cemento y cal.	Lucena et al. (2014)
Plantas de tratamiento	Material orgánico para recuperar suelos degradados	Esparcimiento en la superficie del suelo y mezcla posterior	Sastre-Conde et al. (2015)
Plantas de tratamiento	Fertilizantes orgánicos	Esparcimiento en la superficie del suelo y mezcla posterior	Velykis et al. (2014)

Tabla 1. Principales usos potenciales de los biosólidos. En algunos casos ciertas tecnologías de avanzada son necesarias.

Otra posible aplicación de los lodos residuales es como potenciales sustratos para el crecimiento de microorganismos de interés agroindustrial, como es el caso de *Bacillus thuringiensis* en medios o sustratos a base de lodos residuales y aguas

residuales, donde se reporta que es mejor un sustrato de lodos o aguas residuales en comparación con el medio típico de crecimiento a base de soya (Brar et al., 2006). Se ha evaluado la aplicación de los lodos residuales en la remoción *in vitro* de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), con la finalidad de acelerar o mejorar la remoción de dichos compuestos en suelos contaminados por derrames de hidrocarburos. Tomando en consideración el tipo de suelo, el tipo de hidrocarburo contaminante y las características del material orgánico (lodo) (Fernández-Luqueño et al., 2008).

La materia orgánica estabilizada puede mejorar las características del suelo donde se aplique, por ejemplo, mejora la capacidad de retención de agua, evita el estancamiento por inundación, mejora la relación suelo: aireación (importante para el proceso de respiración de las plantas vía radícula), da mayor soporte radicular (permite que las raíces se establezcan a mayor profundidad otorgando mejor soporte ante vientos y mejor captación de agua profunda). En el caso de la estabilización anaerobia, el panorama es diferente, se puede aprovechar la producción de gases como el metano (CH_4). Este gas es usado como combustible, de tal forma que al aprovechar los desechos de un invernadero por este método se puede utilizar este gas para calentar el invernadero durante las estaciones frías o invernales. También se puede aprovechar los lixiviados o líquidos residuales (digestato) para elaborar un tipo de abono líquido previamente estabilizado y formulado para aplicar a plantas de ornato o como mejorador de suelos (Zeshan, 2012). Existen otras formas de tratar lodos químicamente, por adición de agente alcalino o ácido con el fin de establecer condiciones extremas por pH. La idea es lograr las condiciones para eliminar los organismos enteropatógenos. Estos métodos pueden parecer económicos pero a mayores escalas la inversión podría ser considerable. Son métodos rápidos en comparación con el tratamiento por vermicomposta o composta pero podrían presentar la desventaja de repoblación de algunos organismos como bacterias (*Salmonella* sp. y coliformes fecales). Existen reportes de eliminación de *Salmonella* sp. en lodos tratados durante 60 días con diferentes dosis de CaO (15, 30 y 45%), logrando valores de pH de 10, 11.4 y 12 unidades, respectivamente; donde logran la inactivación de *Salmonella* sp. en 24 h, aunque no reportan repoblación bacteriana debido quizá a el experimento fue realizado a temperaturas cercanas a 0 °C (Mignotte-Cadiergues et al., 2001).

Estudios realizados para la aplicación de los lodos a suelos con fines agrícolas

Como grupo de investigación interesa demostrar que algunos lodos residuales pueden ser útiles para su aplicación en la agricultura, la agricultura de ornato, o bien, en la remediación o mejoramiento de suelos. Se han caracterizado los lodos residuales provenientes de una planta tratadora de aguas residuales, Reciclagua Ambiental, S.A. de C.V. (ubicada en Lerma, Estado de México); esta planta trata las aguas residuales del complejo industrial Lerma y descargas domésticas o municipales. La caracterización de los lodos es lo suficientemente constante; la materia orgánica predomina en estos lodos. Las principales características fisicoquímicas del lodo son: pH de 7.9 a 8.2, conductividad electrolítica 8 dS m^{-1} , contenido de agua 850 g kg^{-1} , contenido de carbono orgánico 288 g kg^{-1} , contenido de nitrógeno total 42 g kg^{-1} , de esta cantidad una mayor parte es

N orgánico, seguido de N de amonio, nitritos y nitratos (López-Valdez et al., 2010) y la relación C/N es aproximadamente de 7. Los lodos pueden presentar inconvenientes para su uso o aplicación en suelos agrícolas por el contenido de organismos enteropatógenos, metales pesados, o sustancias químicas recalcitrantes (que no se descomponen fácilmente por tratamientos físicos, químicos o biológicos convencionales como el ibuprofeno o el diclofenaco) (Langenhoff et al., 2013; Paul, Githinji, Ankumah, Willian, & Pritchett, 2013). La caracterización de los lodos tratados por Reciclagua sólo presentan organismos enteropatógenos como principal problema, los metales pesados y otros tipos de sustancias se encuentran por debajo de los límites permisibles para descarga de aguas procesadas (Comunicación personal, Reciclagua Ambiental). Un análisis de esos mismos lodos, en cuanto a metales pesados se puede encontrar en el trabajo reportado por Franco-Hernández et al. (2003), donde se reporta que son de excelente calidad en cuanto a metales pesados y el contenido de organismos patógenos es de clase B, de acuerdo a la clasificación de la USEPA (2013).

Se han realizado estudios para determinar si estos lodos residuales pueden ser útiles para aplicarse a suelos cultivados. Lo primero fue comprender la cinética o movimiento del nitrógeno mineral (NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^-) por efecto de la adición de lodos a un suelo agrícola agotado (Otumba, Estado de México) y a un suelo alcalino-salino (Texcoco, Estado de México). Ambos suelos poseen diferencias en cuanto a fertilidad y flora microbiana. Se establecieron 4 tratamientos para determinar el movimiento del nitrógeno orgánico y mineral. Se utilizó sulfato de amonio $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ como fertilizante nitrogenado, lodos esterilizados y lodos no esterilizados como fertilización, considerando un control con agua destilada. Las concentraciones se establecieron en 200 mg N- NH_4 para todos los tratamientos. El experimento fue realizado *in vitro*, para mayores detalles ver (López-Valdez et al., 2010). Se cuantificó la respiración microbiana a través de la producción de CO_2 (en mg C kg^{-1} suelo seco) en cada uno de los tratamientos, se encontró que la adición de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ no afecta significativamente la tasa de respiración con respecto al suelo adicionado con agua destilada, es decir, adicionar sulfato de amonio o agua activan la respiración microbiana en el mismo orden de magnitud. No así con la adición de lodos estériles y no estériles, donde se registra una producción de CO_2 de 3 y 4 veces más con respecto al tratamiento control, respectivamente. Esto indica que en el caso del suelo adicionado con lodo esterilizado, la microflora del suelo es la responsable de la respiración; en el caso del suelo más lodo crudo (no estéril), las microfloras del suelo y del lodo contribuyen en la producción de CO_2 . De manera semejante, se observa un perfil muy semejante en el suelo alcalino-salino de Texcoco, pero con menor producción de CO_2 , por ejemplo, el tratamiento de lodo no estéril en suelo de Texcoco produce aproximadamente 2 100 mg C kg^{-1} suelo seco, en el mismo tratamiento pero en suelo de Otumba, la producción es de aproximadamente 3 000 mg C- CO_2 kg^{-1} suelo seco. En cuanto a la cinética de amonio, en el tratamiento control, la concentración de amonio permanece por debajo de los 10 mg N- NH_4^+ kg^{-1} suelo seco durante todo el experimento (56 días). En los tratamientos con lodo, lodo esterilizado y amonio, se observa una caída de la concentración inicial al tercer día. Posteriormente, se registra un incremento en la concentración seguido de nuevo por una disminución hacia el

día 56. Esto implica que se presenta un proceso de asimilación e inmovilización del N por parte de los microorganismos, seguido por una liberación del N y finalmente una transformación del N amoniacal a N de nitratos vía Nitrificación. Esto sugiere que los microorganismos del lodo y los microorganismos del suelo contribuyen a la descomposición de la materia orgánica del lodo. Sin materia orgánica los microorganismos del suelo permanecen en un estado basal de actividad. Este experimento revela que el nitrógeno puede estar disponible para plantas cultivadas en suelos enmendados con lodos, desde el momento de la aplicación del lodo hasta su mineralización, el nitrógeno estará disponible como amonio o como nitrato, este último hacia el final del experimento.

La mineralización del lodo puede suministrar N al suelo. Se realizó otro experimento, donde se planteó la posibilidad de que estos lodos puedan contribuir como fertilizantes en el cultivo de plantas, en suelos enmendados con dichos lodos residuales crudos. El objetivo del siguiente estudio fue investigar el efecto de los lodos y fertilizantes minerales sobre las propiedades de un suelo agrícola (proveniente de Alcholoaya, Acatlán, Hidalgo) cultivado con girasol (*Helianthus annuus*) y el efecto sobre las características de las plantas de girasol y su rendimiento. Para ello se trabajó con los siguientes tratamientos: suelo cultivado con girasol y fertilizado con lodos (Lodo), suelo cultivado con girasol y fertilizado con urea (Urea) y suelo cultivado con girasol y sin fertilización (Girasol), donde se registraron las características del suelo, de las plantas y su rendimiento. Se encontró que los suelos cultivados con lodos pueden presentar algunas mejoras significativas en el crecimiento de los girasoles, como mayor masa (masa seca de la parte aérea y de la raíz de la planta) y elongación de las raíces (mayor longitud de las raíces), en comparación con los suelos cultivados y fertilizados con urea (Urea) o sin fertilización (Girasol). En cuanto a rendimientos, el tratamiento Lodo presentó mayor masa media (4.4 g) por planta en comparación con el tratamiento Girasol (2.8 g) y muy similar al tratamiento Urea (3.4 g), con una diferencia mínima significativa de 1.55. En número de semillas por planta y en contenido de N total de la planta entera, no presentaron diferencias significativas en las medias de cada tratamiento (López-Valdez et al., 2011). Esto sucedió en la mayoría de las variables medidas debido a una alta dispersión registrada en las variables por consecuencia directa de realizar tres experimentos diferentes a lo largo de un año, donde el efecto por el clima está implícito, aumentando consecuentemente la variabilidad de las mediciones. Además, el suelo empleado fue un suelo agrícola fertilizado regularmente con excretas tratadas por compostaje, lo que implica que este suelo no fue deficientemente marcado en nitrógeno (contenido de N total de 1.0 g N kg⁻¹ suelo). Sin embargo, se apreció una clara tendencia donde los tratamientos con lodos registraron mayor longitud en la parte aérea del girasol, masa fresca de la raíz y la parte aérea y número de semillas por planta, asimismo, no presentaron clorosis con respecto a los tratamientos Girasol y Urea. La aplicación de lodos al suelo no incrementó significativamente el pH y la conductividad electrolítica de los suelos cultivados con girasol (Lodo), mientras que los suelos cultivados y fertilizados con urea, sí incrementaron significativamente la conductividad electrolítica. La cuantificación de nitritos en suelo mostró que aplicar lodo es similar a aplicar urea como fertilizante (análisis realizado en 2 capas: 0 a 15 cm y de 16 a 30

cm de profundidad). En el caso de nitratos, aplicar lodo como fertilizante es equivalente al tratamiento sin fertilizante (Girasol). La concentración de nitrato fue significativamente mayor cuando el N fue aplicado en forma de urea, lo que puede significar que el lodo presenta una menor tasa de nitrificación, es decir, aplicar urea implica que ésta reacciona más rápido con el agua presente en el suelo y pasa más rápido al proceso de nitrificación, y al mismo tiempo, se puede presentar la pérdida de $N-NO_3^-$ por lixiviación; lo que se traduce como una menor cantidad de N disponible para la planta, por el hecho de aplicar urea. Respecto a la concentración de amonio, la mayor concentración se registra en el tratamiento Girasol (Suelo cultivado con girasol sin fertilizante) siendo significativamente mayor con respecto a los tratamientos Lodo y Urea. Esto podría significar varias posibilidades, que las plantas tomaron amonio junto con la actividad microbiana del suelo y/o la cantidad restante se transformó a nitratos. El tratamiento girasol mostró una baja actividad de organismos nitrificadores en este suelo agrícola.

Los esfuerzos para mejorar el tratamiento de los lodos buscan la estabilización por medios químicos y biotecnológicos en la actualidad. En el caso del tratamiento químico, se busca comprender mejor los factores que intervienen en el proceso de estabilización para lograr aplicar la menor cantidad de agente químico, pero que al mismo tiempo resulte efectivo para lograr la estabilización. En el caso del tratamiento biotecnológico, se busca encontrar una especie de lombriz de suelo que se adapte a las condiciones perjudiciales del lodo, para estudiar su comportamiento y reproducción para lograr la estabilización y mineralización de los lodos.

Conclusiones

Los lodos provenientes de las plantas tratadoras pueden presentar un importante potencial para su uso o aplicación a la agricultura, debido a su alto contenido de materia orgánica y minerales (N, P, K, S, entre otros), por lo que podrían impactar positivamente en la remediación de suelos contaminados y en el acondicionamiento y restauración de suelos agotados o infértiles. Los lodos son una fuente de nutrientes para el cultivo de plantas ornamentales o plantas de interés industrial, siempre y cuando se observen las medidas pertinentes para su segura aplicación, como podría ser la estabilización del lodo y sus características fisicoquímicas y microbiológicas. Usar lodos con adecuadas características permitirá lograr un máximo aprovechamiento de los residuos y fortalecerá el desarrollo sustentable.

Bibliografía

- Brar, S. K., Verma, M., Tyagi, R. D., Valero, J. R., & Surampalli, R. Y. (2006). Efficient centrifugal recovery of *Bacillus thuringiensis* biopesticides from fermented wastewater and wastewater sludge. *Water Research*, 40 (6), 1310–1320. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2006.01.028>.
- Chang, S. S., Lee, W. J., Wang, L. C., Chang-Chien, G. P. & Wu, C. Y. (2013). Energy recovery and emission of PBDD/Fs and PBDEs from co-combustion of woodchip and wastewater sludge in an industrial boiler. *Environmental Science & Technology*, 47 (21), 12600-12606.
- De Lourdes Tirado Montiel, M., Tyagi, R. D., & Valero, J. R. (2001). Wastewater treatment sludge as a raw material for the production of *Bacillus thuringiensis* based biopesticides. *Water Research*, 35 (16), 3807–3816. [http://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00103-8](http://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00103-8).
- Dede, O. H. & Ozdemir, S. (2015). Comparison of composted biosolid substrate for containerized turfgrass production. *Environmental Technology*, 36 (3), 1651-1656.
- Fernández-Luqueño, F., Marsch, R., Espinosa-Victoria, D., Thalasso, F., Hidalgo Lara, M. E., Munive, A., Luna-Guido, M.L., Dendooven, L. (2008). Remediation of PAHs in a saline-alkaline soil amended with wastewater sludge and the effect on dynamics of C and N. *The Science of the Total Environment*, 402 (1), 18–28. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.04.040>.
- Fernández-Luqueño, F., Valenzuela-Encinas, C., Marsch, R., Martínez-Suarez, C., Vazquez-Nunez, E. & Dendooven, L. (2011). Microbial communities to mitigate contamination of PAHs in soil-possibilities and challenges: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(1), 12-30.
- Franco-Hernández, O., Natalia Mckelligan-González, A., María López-Olguín, A., Espinosa-Cerón, F., Escamilla-Silva, E., & Dendooven, L. (2003). Dynamics of carbon, nitrogen and phosphorus in soil amended with irradiated, pasteurized and limed biosolids. *Bioresource Technology*, 87 (1), 93–102. [http://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00188-8](http://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00188-8).
- Gomah, A. H. M., Al-Nahid, S. I., & Amer, H. A. (1989). Nitrogen mineralization in sludge-amended desert soil as affected by rate of sludge, salinity, and wetting and drying cycles. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 3 (4), 417–429. <http://doi.org/10.1080/15324988909381219>.
- Harrison, E. Z., Oakes, S. R., Hysell, M., & Hay, A. (2006). Organic chemicals in sewage sludges. *The Science of the Total Environment*, 367 (2-3), 481–497. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.04.002>
- Hwang, J., Zhang, L., Seo, S., Lee, Y. W. & Jahng, D. (2008). Protein recovery from excess sludge for its use as animal feed. *Bioresource Technology* 99 (18), 8949-8954.
- Langenhoff, A., Inderfurth, N., Veuskens, T., Schraa, G., Blokland, M., Kujawa-Roeleveld, K., & Rijnaarts, H. (2013). Microbial Removal of the Pharmaceutical Compounds Ibuprofen and Diclofenac from Wastewater. *BioMed Research International*, 2013, e325806. <http://doi.org/10.1155/2013/325806>.

- Liu, X. W., Wang, Y. P., Juang, Y. X., Sun, X. F., Sheng, G. P., Zeng, R. J., Li, F., Dong, F., Wang, S. G., Tong, Z. H. & Yu, H. Q. (2011). Integration of a microbial fuel cell with activated sludge process for energy-saving wastewater treatment: Taking a sequencing batch reactor as an example. *Biotechnology and Bioengineering*, 108 (6), 1260-1267.
- López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F., Hernández-Rodríguez, P.X., Rosas-Morales, M., & Luna-Suárez, S. (2014). Soil amendments and their effects on sunflower growth. In: Arribas, J. I. (Ed.). (2014). *Sunflowers: growth and development, environmental influences and pests/diseases*. New York, NY: Nova Publishers.
- López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F., Luna-Guido, M. L., Marsch, R., Olalde-Portugal, V., & Dendooven, L. (2010). Microorganisms in sewage sludge added to an extreme alkaline saline soil affect carbon and nitrogen dynamics. *Applied Soil Ecology*, 45(3), 225–231. <http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.04.009>.
- López-Valdez, F., Fernández-Luqueño, F., Luna-Suárez, S., & Dendooven, L. (2011). Greenhouse gas emissions and plant characteristics from soil cultivated with sunflower (*Helianthus annuus* L.) and amended with organic or inorganic fertilizers. *Science of the Total Environment*, 412-413, 257–264.
- Lucena, L. C. D. L., Juca, J. F. T., Soares, J. B. & Portela, M. G. (2014). Potential uses of sewage sludge in highway construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 26(9). Article number 04014051.
- Mignotte-Cadiergues B, Maul A, Huyard A, Capizzi S, & Schwartzbrod L. (2001, June 1). The effect of liming on the microbiological quality of urban sludge. Retrieved June 13, 2015, <http://www.iwaponline.com/wst/04312/wst043120195.htm>
- Minai-Tehrani, D., Rohanifar, P. & Azami, S. (2015). Assessment of bioremediation of aliphatic, aromatic, resin, and asphaltene fractions of oil-sludge-contaminated soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(4), 1253-1260.
- Paul, S. C., Githinji, L. J. M., Ankumah, R. O., Willian, K. R., & Pritchett, G. (2013). Sorption Behavior of Ibuprofen and Naproxen in Simulated Domestic Wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(1), 1–11. <http://doi.org/10.1007/s11270-013-1821-9>.
- Qi, W., Liu, H., Qu, J., Ren, H., & Xu, W. (2010). PAH desorption from sediments with different contents of organic carbon from wastewater receiving rivers. *Environmental Science and Pollution Research*, 18(3), 346–354. <http://doi.org/10.1007/s11356-010-0379-y>.
- Sastre-Conde, I., Lobo, M. C., Beltran-Hernandez, R. I. & Poggi-Varaldo, H. M. (2015). Remediation of saline soils by a two-step process: Washing and amendments with sludge. *Geoderma*, 247, 140-150.
- Sheng, G.-P., & Yu, H.-Q. (2006). Characterization of extracellular polymeric substances of aerobic and anaerobic sludge using three-dimensional excitation and emission matrix fluorescence spectroscopy. *Water Research*, 40(6), 1233–1239. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2006.01.023>.

- State of Michigan, D. of E. Q. (2015). Activated Sludge Process Control, training manual for wastewater treatment plant operators. Department of Environmental Quality, Environmental Assistance Center. Retrieved from https://www.michigan.gov/documents/deq/wrd-ot-activated-sludge-manual_460007_7.pdf
- Sun, L. L., Huang, A. Y., Gu, W. H., Ma, Y. C., Zhu, D. L. & Wang, G. C. (2015). Hydrogen production by *Enterobacter cloacae* isolated from sugar refinery sludge. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(3), 1402-1407.
- USEPA. (2013). Environmental Regulations and Technology: Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage) Under 40 CFR Part 503 (Revised July 2003) | US EPA. Retrieved June 13, 2013. From <http://yosemite.epa.gov/water/owrcatalog.nsf/065ca07e299b464685256ce50075c11a/11c362679930ff3385256e01004969b5?OpenDocument&CartID=null>
- Velykis, A., Satkus, A. & Masionyte, L. (2014). Effect of tillage, lime sludge and cover crop on soil physical state and growth of spring oilseed rape. *Zemdirbyste-Agriculture*. 101(4), 347-354.
- Xinying, S., Yu, T., Zhicai, S., Yaobin, L. & Zhipeng, L. (2013). Performance of a combined system of microbial fuel cell and membrane bioreactor: wastewater treatment, sludge reduction, energy recovery and membrane fouling. *Biosensors and Bioelectronics*, 49, 92-98.
- Zeshan. (2012). *Dry Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste and Digestate Management Strategies*. Asian Institute of Technology, Thailand. Retrieved from http://www.faculty.ait.asia/visu/images/pdf/dissertation_zeshan.pdf

Minimización de residuos agroindustriales: formulación de adsorbentes ecológicos atrapados en esferas de alginato para el tratamiento de aguas residuales de origen vitivinícola

Minimization of agroindustrial residues: formulation of green adsorbents entrapped in alginate beads for winery wastewater treatment

*Vecino X.⁷

Pérez-Ameneiro M

Cruz J.M

Moldes A.B.

Resumen

⁷*Departamento de Ingeniería Química. Escuela de Ingeniería Industrial (EEI). Universidad de Vigo, Campus As Lagoas-Marcosende. 36310*

• Vigo-Pontevedra, España.

**Contacto: xanel.vecino@uvigo.es*

Dos de los problemas ambientales comunes más graves a los que se enfrentan muchos países industrializados son la gestión de residuos y la contaminación causada por las aguas residuales. En el caso de las aguas residuales, el principal obstáculo es la existencia de numerosos tipos de contaminantes en un mismo efluente como tintes, metales pesados, fenoles, pesticidas y productos farmacéuticos, entre otros. Los residuos agroindustriales pueden ser considerados como adsorbentes potenciales de bajo coste. Este capítulo se centra en la búsqueda de nuevos eco-adsorbentes ecológicos y de naturaleza biodegradable tales como los residuos agroindustriales de la industria vitivinícola, para su aplicación en la descontaminación de las vinazas.

Abstract

Waste management and pollution caused by wastewater are two of the most common and serious environmental problems that industrialised countries must face nowadays. In the case of wastewater, the main set back is the own nature of these effluents, where plenty of different compounds can be found, such as dyes, heavy metals, phenols, pesticides or pharmacological products, among others. Agroindustrial residues, on the other hand, can be regarded as potential low-cost eco-adsorbents. This chapter details the advances achieved in the development of new eco-friendly and biodegradable adsorbents, like residues from winery industry, for vinasses decontamination.

Introducción

La Unión Europea es la mayor productora mundial de vino, lo que representa cerca de dos tercios de la producción total, de acuerdo con la Comisión Europea General de Agricultura y Desarrollo Rural.

Según la estimación de la Organización Internacional de la Viña y del Vino (OIV) (2014), la producción mundial de vino en 2014 (sin contar zumo y mosto) fue de aproximadamente 271 millones de hl, un 6% menos que en 2013. El primer país productor de vino fue Francia, con 46.2 millones de hl (17,0% mundial), seguido de Italia, con 44.4 millones de hl (16,4% mundial), y España, con 37.0 millones de hl (13,7% mundial).

Se considera a la producción de vino como un proceso respetuoso con el medio ambiente (Ruggieri y col., 2009), sin embargo la vinificación genera grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos, tales como el despalillado de uva ($470 \text{ cm}^3/\text{L}$ de vino producido), el bagazo ($465 \text{ cm}^3/\text{L}$), las lías de vinificación ($15 \text{ cm}^3/\text{L}$) y las aguas residuales de la industria vitivinícola, denominadas vinazas ($10 \text{ dm}^3/\text{L}$) (Vázquez-Rowe y col., 2012). Por lo general, estos residuos lignocelulósicos se queman en el campo, generando ciertos gases como CO_2 , CH_4 y N_2O que favorecen el efecto invernadero. Sería conveniente, por tanto, proporcionar una alternativa a la gestión actual de los residuos que fuese menos dañina para el medio ambiente.

La cantidad de vinazas generadas durante la elaboración del vino es 6 veces mayor en España que en Francia e Italia debido, principalmente, al bajo coste de las multas impuestas por la Administración Española a las empresas por este tipo de prácticas (Bustamante y col., 2005; Devesa-Rey y col., 2011a). Estas vinazas proceden de las operaciones de lavado realizadas en las diferentes etapas de vinificación, que, según Torrijos y Moletta (2003), comprenden la preparación de la vendimia (limpieza y desinfección del equipamiento), la recepción de la uva (lavado de tolvas, despalilladoras, esmagadoras, escorredoras y bombas de transporte, y lavado de los suelos, con o sin adición de productos de limpieza), el proceso de vinificación (lavado de las cubas de fermentación, las cubas de desfangado, y de los suelos con o sin adición de productos de limpieza), el trasiego (lavado de cubas y suelos con o sin adición de productos de limpieza tras el proceso), y el proceso de filtración (lavado de los filtros).

La composición de las vinazas varía en función de diferentes factores, como la naturaleza y composición del vino, las lías y el bagazo, el tipo de equipo de destilación o el tartrato de calcio producido durante los procesos fermentativos (Bustamante y col., 2005).

Las principales características químicas de las vinazas son su acidez ($\text{pH}= 3-6$), alta salinidad ($\text{CE}=2,4 \text{ dS/m}$), altos valores de oxígeno disuelto (DQO) (30.000 mg/L) y alto contenido en materia orgánica ($900-35.000 \text{ mg/L}$) debido a las altas concentraciones de C ($10,3 \text{ g/L}$) y N (378 mg/L). En cuanto a la composición en nutrientes, el potasio es el más abundante (2500 mg/L) (Paradelo y col., 2009; Salgado y col., 2009). Además, las vinazas contienen compuestos fitotóxicos, antibacterianos y recalcitrantes, entre los que se encuentran sustancias fenólicas (1000 mg/L), pesticidas, metales pesados (hierro y cobre) y compuestos coloreados (Beltrán y col., 1999; Bustamante y col., 2005; Moldes y col., 2008).

Es importante resaltar que, aunque las vinazas contienen gran cantidad de compuestos biodegradables susceptibles de ser explotados a nivel industrial, éstas también presentan un elevado contenido en sustancias fitotóxicas (Moldes y col., 2008; Salgado y col., 2009), lo que hace inviable su vertido al medio

ambiente sin un tratamiento previo. Entre estos tratamientos se encuentran tanto operaciones primarias (tratamientos físico-químicos) como secundarias (tratamientos biológicos), destinadas a reducir la DQO, DBO, sólidos en suspensión, compuestos coloreados y micronutrientes, entre otros.

Tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas

En la actualidad, no existe un único proceso capaz de llevar a cabo un tratamiento adecuado para la depuración de aguas residuales, debido a la compleja naturaleza de estos efluentes (Marco y col., 1997). En la práctica, se utiliza a menudo una combinación de diferentes procesos para lograr la calidad deseada del agua, sin que esto suponga un coste elevado.

Los procesos tecnológicos, aplicados en el tratamiento de aguas, se pueden dividir en tres categorías: procesos físicos (ósmosis inversa, electrodiálisis, adsorción...), procesos químicos (coagulación-floculación, ozonización, precipitación...) y procesos biológicos (biodegradación microbiana) (Robinson y col., 2001; Crini, 2006).

De acuerdo con la literatura, la adsorción líquido-sólido ofrece una alternativa atractiva para el tratamiento de aguas contaminadas, especialmente si el adsorbente presenta un bajo coste y no requiere un pretratamiento adicional antes de su aplicación (Dabrowski, 2001).

Obtención de adsorbentes compatibles con un desarrollo sostenible

En muchos procesos se utiliza carbón activo (Satyawali y Balakrishnan, 2007; Sessa y Palmquist, 2008), que, a pesar de haber sido considerado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente Americana como uno de los mejores productos del mercado para el tratamiento de aguas (Derbyshire y col., 2001; EPA, 2014), presenta ciertos inconvenientes, como su elevado precio y costes de generación, la obturación de membranas y un difícil manejo (Devesa-Rey y col., 2011b). Estos inconvenientes han propiciado que un gran número de investigadores centren sus esfuerzos en la búsqueda de adsorbentes alternativos que puedan servir para los mismos fines.

Se han publicado numerosos trabajos utilizando como precursores tanto materiales abundantes en la naturaleza como residuos de operaciones industriales y agrícolas, que representan una alternativa interesante para la formulación de bio-adsorbentes económicos y compatibles con un desarrollo sostenible (Crini, 2006; Sharma y col., 2011).

Los residuos generados durante la elaboración del vino pueden ser aprovechados para desarrollar adsorbentes “verdes”. Así, Paradelo y col. (2009) observaron que el bagazo vermicompostado es un buen eco-adsorbente para la eliminación de compuestos coloreados de las vinazas. Según estudios publicados por diversos autores (Villaescusa y col., 2004; Yuan-Shen y col., 2004; Martínez y col., 2006; Farinella y col., 2007), este tipo de residuos tienen también un gran potencial como adsorbentes para la eliminación de metales en aguas (Cu, Ni, Cd, Pb, Cr o Cd (II), entre otros). Romero y col. (2006) observaron que el bagazo agotado (residuo de la destilación alcohólica del bagazo) también puede ser utilizado como adsorbente para la eliminación de pesticidas en aguas.

Nuevos avances en la formulación de adsorbentes

La tendencia actual en la formulación de adsorbentes se basa en la elaboración de nuevos materiales mezclados heterogéneamente, formando un compuesto al que se denomina “composite”. Estos composites pueden estar formados por diferentes matrices polisacáridas, siendo el alginato la más habitual. El alginato es un polisacárido lineal, que consiste en uniones de (1-4) β -D-manuronato y α -L-guluronato. Las proporciones relativas de manuronato y guluronato varían dependiendo de la fuente de alginato (Johnson y col., 1997). El origen más común de alginato es la pared celular de las algas marinas pardas (*Phaeophyceae*), de donde se extrae para fines comerciales (Sirviö et al., 2014). Sin embargo, la producción de alginato mediante fermentación microbiana es también técnicamente factible (Draget y Taylor, 2011).

Recientemente, se ha empezado a utilizar el alginato en la formulación de adsorbentes inmovilizados en esferas (Hassan y col., 2014; Zhang y col., 2014; Zhu y col., 2014). Por ejemplo, tanto Devesa-Rey y col. (2011b) como Vecino y col. (2012) propusieron la inmovilización de carbón activo en esferas de alginato cálcico para la eliminación de compuestos coloreados de un agua residual procedente de la industria vitivinícola. También Bustos y col. (2014) emplearon carbón activo inmovilizado en alginato para tratar agua residual procedente del procesado de la caña de azúcar. Los resultados presentados por Bustos y col. (2014) concuerdan con los obtenidos por Devesa-Rey y col. (2011b) y Vecino y col. (2012), observándose que el carbón activo inmovilizado es un adsorbente eficaz para la eliminación de compuestos coloreados, independientemente de la industria de la que proceda el agua residual.

Vecino y col. (2013) también investigaron y patentaron (Vecino y col., 2014a) la inmovilización de la turba para la eliminación de compuestos coloreados de efluentes vitivinícolas. Además, Perez-Ameneiro et al. (2015a) han evaluado la capacidad de adsorción y el comportamiento cinético de diferentes materiales lignocelulósicos inmovilizados en esferas de alginato cálcico (cascarilla de cebada, cáscara de cacahuete y serrín de eucalipto) en comparación con el humus de lombriz, en la eliminación de los compuestos coloreados presentes en las vinazas, alcanzando reducciones sobre el 98% en el caso del biocomposite de cascarilla de cebada y entorno al 90% para la cáscara de cacahuete y el serrín. Centrándonos en el uso de residuos agro-industriales procedentes de la industria vitivinícola, Perez-Ameneiro y col. (2014a) han utilizado un biopolímero basado en bagazo de uva compostado, inmovilizado en esferas de alginato cálcico, para la eliminación de pigmentos de un efluente de la industria vitivinícola. Entre los parámetros estudiados, la concentración inicial de pigmento y el pH mostraron tener una mayor influencia sobre el proceso de adsorción, mientras que el efecto de la temperatura fue irrelevante. Así, utilizando un 2% de bagazo biodegradado inmovilizado en alginato cálcico (en una disolución del 2% de alginato sódico y bombeado a una disolución 0,58 M de CaCl_2), en las condiciones óptimas de pH (3,5) y temperatura (25°C) estos autores lograron eliminar entre el 95 y el 100% de los pigmentos presentes en esta agua residual.

Perez-Ameneiro y col. (2014b) han estudiado de forma paralela la adsorción de micronutrientes presentes en los efluentes vitivinícolas (Mg, P, K, N-NH_4 , SO_4 , nitrógeno total (NT), carbono total (CT) y N-NO_3), aplicando el

mismo biomaterial compuesto por bagazo de uva bio-oxidado inmovilizado en esferas de alginato cálcico. Se estudió el efecto de la relación adsorbente/adsorbato, tiempo de contacto y velocidad de agitación en el proceso de adsorción, observando que el parámetro que más influye sobre la eliminación de micronutrientes de las aguas residuales de bodegas es la relación entre adsorbente y adsorbato. Los resultados obtenidos muestran que, en este caso, el bagazo inmovilizado ha logrado eliminar la mayoría del NT, N-NH₄ y N-NO₃ y alrededor de un 60% del Mg, P, K y CT existentes en el agua residual.

Otro residuo procedente de la industria vitivinícola que se ha empleado como eco-adsorbente son las podas de sarmiento, que se obtienen tras la etapa de poda del viñedo. Las podas de sarmiento son una fuente atractiva por su contenido en compuestos de diferente naturaleza (como azúcares, pigmentos, fibra alimentaria, proteína, polifenoles, celulosa o lignina) y pueden ser potencialmente útiles cuando se transforman, mediante las reacciones apropiadas, en productos de elevado valor añadido. Así, por ejemplo, es posible revalorizar este residuo agrícola obteniendo biosurfactantes y bioadsorbentes, que son productos útiles con aplicación en la industria alimentaria, farmacéutica, cosmética, agrícola y medio ambiental.

Vecino y col. (2014b) han llevado a cabo la inmovilización de las podas de sarmiento hidrolizadas, bajo diferentes condiciones, siguiendo un diseño factorial incompleto en donde las variables independientes fueron la cantidad de fracción lignocelulósica (0,5-2%), la cantidad de alginato de sodio (1-5%) y la concentración de CaCl₂ (0,05-0,9 M), mientras que las variables dependientes estudiadas se basaron en la eliminación de nutrientes y micronutrientes (Mg, P, Zn, K, N-NH₄, SO₄, NT, CT y PO₄) de efluentes de la industria del vino. Cabe destacar que existe una clara diferencia entre la formulación óptima del biocomposite y la naturaleza catiónica y aniónica de los nutrientes y micronutrientes. Así, las condiciones óptimas de formulación del bioadsorbente para la eliminación de Mg, K, Zn, N-NH₄ y NT se establecieron en un 0,5% de fracción lignocelulósica mezclado con un 5% de alginato de sodio y bombeado a una disolución de CaCl₂ 0,05 M. Los porcentajes de eliminación correspondientes obtenidos fueron: 73,3% de Mg, 60,1% de K, 92,4% de Zn, 55,4% de N-NH₄ y 51,6% de NT. Las condiciones de formulación óptimas para la eliminación de micronutrientes aniónicos (P, PO₄ y SO₄) fueron de 0,5% de fracción lignocelulósica, un 1% de alginato de sodio y una disolución de CaCl₂ 0,9 M, eliminando el 47,8% de P, 52,8% de PO₄ y 53,7% de SO₄. Al evaluar la eliminación del CT presente en la muestra, los mejores resultados fueron alcanzados al utilizar un 0,5% de fracción lignocelulósica, 3% de alginato de sodio y CaCl₂ 0,475 M, registrando un porcentaje de eliminación de CT del 49,8%.

Vecino y col. (2015a) investigaron la inmovilización de la fracción lignocelulósica de las podas de sarmiento para la descontaminación de compuestos coloreados en vinazas. Los mejores resultados se obtuvieron cuando el biocomposite se formuló utilizando un 1,25% de fracción lignocelulósica de podas de sarmiento, un 2,2% de alginato de sodio y una disolución de CaCl₂ 0,475 M, dando lugar a una reducción en el índice de coloración (IC) de 79,9-83,9% y valores de luminosidad (L*) entre 89,4-91,3. Además, los autores llevaron a

cabo estudios morfológicos con estereoscopía microscópica permitiendo obtener diferentes características morfológicas y propiedades físicas del bioadsorbente como área, perímetro, elongación, redondez y compactación. La formulación empleada en este caso consistió en 1,25% de residuo lignocelulósico, un 2,2% de alginato sódico y diversas concentraciones de una disolución de CaCl_2 . Se observó que, aunque la concentración de CaCl_2 apenas repercute en la eliminación de color, sí influye en la compactación y estabilidad del bioadsorbente. Se observa que a bajas concentraciones de CaCl_2 , la elongación del biocomposite decrece, mientras que la compactación aumenta. Altas concentraciones de CaCl_2 , por el contrario, hacen aumentar la rugosidad del eco-adsorbente.

Vecino y col. (2015b) también estudiaron las posibles diferencias en la adsorción de compuestos coloreados utilizando el mismo sustrato lignocelulósico (sarmiento hidrolizado) inmovilizado en esferas de alginato, en comparación con el sustrato sin inmovilizar. La eliminación de color en el primer caso llega al 77%, mientras que el mismo material sin inmovilizar retiene tan sólo el 28% de los compuestos coloreados en disolución, y sólo es posible llegar a un porcentaje similar de eliminación de color al aumentar la dosificación del sustrato lignocelulósico hasta valores cercanos al peso seco de la esfera deshidratada (7,56 g). Además, al realizar un estudio morfológico utilizando microscopía electrónica de barrido (SEM), perfilometría y análisis de superficie 3D, se observaron importantes diferencias en los parámetros morfológicos entre las esferas antes y después de haber sido sometidas a un proceso de deshidratación.

Perez-Ameneiro y col. (2015b) han estudiado la variación en las propiedades morfológicas, la capacidad de adsorción y el comportamiento cinético de un biocomposite formulado en condiciones similares a las estudiadas por Vecino y col. (2015a) (1,25% sarmiento hidrolizado, 2,2% alginato y CaCl_2 0,475 M), pero añadiendo un biosurfactante de naturaleza lipopeptídica extraído de los licores de lavado de maíz (Vecino y col., 2015c). Al comparar los resultados con los obtenidos al utilizar el biocomposite normal, se observa que la adición de biosurfactante propicia una mayor adsorción tanto de compuestos coloreados como de micronutrientes (10% en pigmentos y 62% en sulfatos, por ejemplo). Además, se obtiene un biopolímero más rugoso, más compacto y mejor emulsionado.

Conclusiones

La revalorización de desechos agroindustriales mediante el desarrollo de eco-adsorbentes se presenta como una opción de gestión de residuos medioambientalmente atractiva. La inmovilización en esferas de alginato cálcico de estos eco-adsorbentes presenta, además, numerosas ventajas, como su mayor facilidad de manejo o la disminución de los costes de operación asociados a los procesos de descontaminación de corrientes líquidas. Según lo recogido en la literatura, la utilización de eco-adsorbentes formulados a partir de residuos procedentes de la industria vitivinícola, de otras industrias alimentarias (cerveceras, procesado de cacahuete...) e incluso de la industria maderera, es una alternativa que ofrece buenos resultados en la depuración de aguas residuales procedentes de las bodegas.

La mayor ventaja que presentan estos biomateriales es su versatilidad. El sustrato de partida puede obtenerse a partir de diversos residuos de carácter lignocelulósico y esta tecnología es potencialmente aplicable no sólo a las aguas residuales de la industria vitivinícola, sino a cualquier otro tipo de corriente residual de origen industrial, para la eliminación diversos contaminantes presentes en el efluente, como compuestos coloreados, micronutrientes, metales pesados o productos farmacológicos, entre otros.

Bibliografía

- Beltrán, F.J., García-Araya, J.F., y Álvarez, P.M. (1999). Wine distillery wastewater degradation. 1. Oxidative treatment using ozone and its effect on the wastewater biodegradability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 3911-3918.
- Bustamante, M.A., Paredes, C., Moral, R., Moreno-Caselles, J., Pérez-Espinosa, A. y Pérez-Murcia, M.D. (2005). Uses of winery and distillery effluents in agriculture: Characterization of nutrient and hazardous components. *Water Science and Technology*, 51, 145-151.
- Bustos, G., Carrizales, M.A., Cervantes, E., Vecino, X., y Moldes, A.B. (2014). Treatment of wastewater from sugarcane using entrapped activated carbon. *CyTA-Journal of Food*, 12, 189-194.
- Crini, G. (2006). Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. *Bioresource Technology*, 97, 1061-1085.
- Dabrowski, A. (2001). Adsorption, from theory to practice. *Advances in Colloid and Interface Science*, 93, 153-224.
- Derbyshire, F., Jagtoyen, M., Andrews, R., Rao, A., Martin-Gullon, I., y Grulke, E. (2001). Carbon materials in environmental applications. En: Radovic, L.R. (Ed.), *Chemistry and physics of carbon* (vol. 27, pp. 1-66). New York: Marcel Dekker.
- Devesa-Rey, R., Vecino, X., Varela-Alende, J.L., Barral, M.T., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2011a). Valorization of winery waste vs the cost of not recycling. *Waste Management*, 31, 2327-2335.
- Devesa-Rey, R., Bustos, G., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2011b). Optimisation of entrapped activated carbon conditions to remove coloured compounds from winery wastewaters. *Bioresource Technology*, 102, 6437-6442.
- Draget, K.I., y Taylor, C. (2011). Chemical, physical and biological properties of alginates and their biomedical implications. *Food Hydrocolloids*, 25, 251-256.
- Farinella, N.V., Matos, G.D., y Arruda, M.A.Z. (2007). Grape bagasse as a potential biosorbent of metals in effluent treatments. *Bioresource Technology*, 98, 1940-1946.
- Environmental Protection Agency. EPA (2014). Granular activated carbon. En: *Drinking water treatability database*.
- Hassan, A.F., Abdel-Mohsen, A.M., y Fouda, M.M.G. (2014). Comparative study of calcium alginate, activated carbon, and their composite beads on Methylene Blue adsorption. *Carbohydrate Polymers*, 102, 192-198.

- Johnson, F.A., Craig, D.Q.M., y Mercer A.D., (1997). Characterization of the block structure and molecular weight of sodium alginates. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 49, 639-643.
- Martínez, M., Miralles, N., Hidalgo, S., Fiol, N., Villaescusa, I., y Poch, J. (2006). Removal of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solutions using grape stalk waste. *Journal of Hazardous Materials*, 133, 203-211.
- Marco A., Esplugas S., y Saum G. (1997). How and why to combine chemical and biological processes for wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 35, 231-327.
- Moldes, A.B., Vázquez, M., Domínguez, J.M., Díaz-Fierros, F., y Barral, M.T. (2008). Negative effect of discharging vinification lees on soils. *Bioresource Technology*, 99, 5991-5996.
- OIV (2014). Elementos de coyuntura vitivinícola mundial. *Organización Internacional de la Viña y el vino*. Accesible en: www.oiv.int.
- Paradelo, R., Moldes, A.B., y Barral, M.T. (2009). Treatment of red wine vinasses with non-conventional substrates for removing coloured compounds. *Water Science and Technology*, 59, 1585-1592.
- Perez-Ameneiro, M., Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2014a). Removal of pigments from aqueous solution by a calcium alginate-grape marc biopolymer: A kinetic study. *Carbohydrate Polymers*, 101, 954-960.
- Perez-Ameneiro, M., Vecino, X., Vega, L., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2014b). Elimination of micronutrients from winery wastewater using entrapped grape marc in alginate beads. *CyTA-Journal of Food*, 12, 73-79.
- Perez-Ameneiro, M., Bustos, G., Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2015a). Heterogeneous lignocellulosic composites as bio-based adsorbents for wastewater dye removal: a kinetic comparison. *Water, Air and Soil Pollution*, 226, 133 (10 pp.).
- Perez-Ameneiro, Vecino, X., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2015b). Wastewater treatment enhancement by applying a lipopeptide biosurfactant to a lignocellulosic biocomposite. *Carbohydrate Polymers*. DOI 10.1016/j.carbpol.2015.05.075.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., y Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. *Bioresource Technology*, 77, 247-255.
- Romero, E., Salido, A., Cifuentes, C., Fernández, J.D., y Nogales, R. (2006). Effect of vermicomposting process on pesticide sorption capability using agroindustrial wastes. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 86, 289-297.
- Ruggieri, L., Cadena, E., Martínez-Blanco, J., Gasol, C.M., Rieradevall, J., Gabarrell, X., Gea, T., Sort, X., y Sánchez, A. (2009). Recovery of organic wastes in the Spanish wine industry. Technical, economic and environmental analyses of the composting process. *Journal of Cleaner Production*, 17, 830-838.

- Salgado, J.M., Rodríguez, N., Cortés, S., y Domínguez, J.M. (2009). Development of cost-effective media to increase the economic potential for larger-scale bioproduction of natural food additives by *Lactobacillus rhamnosus*, *Debaryomyces hansenii* and *Aspergillus niger*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 10414-10428.
- Satyawali, Y., y Balakrishnan, M. (2007). Removal of color from biomethanated distillery spentwash by treatment with activated carbons. *Bioresource Technology*, 98, 2629-2635.
- Sessa, D.J., y Palmquist, D.E. (2008). Effect of heat on the adsorption of 2,4-dichlorophenol onto activated carbon derived from agricultural waste. *Desalination*, 255, 159-164.
- Sharma, N., Kahur, H., Sharma, M., y Sahore, V. (2011). A review on applicability of naturally available adsorbents for the removal of hazardous dyes from aqueous waste. *Environmental Monitoring and Assessment*, 183, 151-195.
- Sirviö, J.A., Kolehmainen, A., Liimatainen, H., Niinimäki, J., y Hormi, O.E.O. (2014). Biocomposite cellulose-alginate films: Promising packaging materials. *Food Chemistry*, 151, 343-351.
- Torrijos, M., y Moletta, R. (2003). Efluentes vinícolas y procedimientos de tratamiento. En: Flancy, C. (Ed.), *Enología: Fundamentos Científicos y Tecnológicos* (769-778). Madrid, España: Mundi- Prensa.
- Vázquez-Rowe, I., Villanueva-Rey, P., Moreira, M.T., y Feijoo, G. (2012). Environmental analysis of Ribeiro wine from a timeline perspective: Harvest year matters when reporting environmental impacts. *Journal of Environmental Management*, 98, 73-83.
- Vecino, X., Devesa-Rey, R., Moldes, A.B., y Cruz, J.M. (2012). Optimization of batch operating conditions for the decolourization of vinasses using surface response methodology. *Microchemical Journal*, 102, 83-90.
- Vecino, X., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2013). Entrapped peat in alginate beads as green adsorbent for the elimination of dye compounds from vinasses. *Water, Air, and Soil Pollution*, 224, Art. no. 1448.
- Vecino Bello, X., Devesa Rey, R., Cruz Freire, J.M., y Moldes Menduñía, A.B. (2014a). Proceso para la preparación de turba inmovilizada. ES 2430248 (CI. C02F1/28 (2006.01)), 28 Febrero 2014. Solicitud 201.200.457, 3 Mayo 2012. 14 p.
- Vecino, X., Devesa-Rey, R., Moldes, A.B., y Cruz, J.M. (2014b). Formulation of an alginate-vineyard pruning waste composite as a new eco-friendly adsorbent to remove micronutrients from agroindustrial effluents. *Chemosphere*, 111, 24-31.
- Vecino, X., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2015a). Study of the physical properties of calcium alginate hydrogel beads containing vineyard pruning waste for dye removal. *Carbohydrate Polymers*, 115, 129-138.
- Vecino, X., Devesa-Rey, R., Villagrasa, S., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2015b). Kinetic and morphology study of alginate-vineyard pruning waste biocomposite vs non modified vineyard pruning waste for dye removal. *Journal of Environmental Sciences* (in press).

- Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M. y Moldes, A.B. (2015c). Optimization of liquid-liquid extraction of biosurfactants from corn steep liquor. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. DOI 10.1007/s00449-015-1404-9.
- Villaescusa, I., Fiol, N., Martínez, M., Miralles, N., Poch, J., y Serarols J. (2004). Removal of copper and nickel ions from aqueous solutions by grape stalks wastes. *Water Research*, 38, 992-1002.
- Yuan-Shen, L., Cheng-Chung L., y Chyow-San, C. (2004). Adsorption of Cr (III) from wastewater by wine processing waste sludge. *Journal of Colloid and Interface Science*, 273, 95-101.
- Zhang, Q., Xie, M., Guo, X., Zeng, L., y Luo, J. (2014). Fabrication and adsorption behavior for Congo Red of chitosan and alginate sponge. *Integrated Ferroelectrics*, 151, 61-75.
- Zhu, H., Fu, Y., Jiang, R., Yao, J., Xiao, L., y Zeng, G. (2014). Optimization of copper (II) adsorption onto novel magnetic calcium alginate/maghemite hydrogel beads using response surface methodology. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 53, 4059-4066.

Avances en la producción sustentable de alimento animal a partir de residuos fibrosos de la agroindustria azucarera en México

Advances in the sustainable production of animal feed from fibrous residues of Mexican sugar cane agroindustry

*Diana Isis Llanes Gil López⁸
Jorge Aurelio Lois Correa
Gabriela Magdalena Ortega Mulia
María Elena Sánchez Pardo⁹

Resumen

⁸Centro de Investigaciones en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. CICATA-IPN, Unidad Altamira. Km 14.5 Carretera Tampico-Puerto Industrial Altamira 89600. Tamaulipas, México. *Contacto: diana.llanes@ymail.com

⁹Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, ENCB-IPN, México, DF

La caña de azúcar *Saccharum officinarum* origina en su proceso agroindustrial nueve subproductos, dentro de los cuales, por su generación en volumen, es importante mencionar el bagazo, la cachaza, los Residuos Agrícolas de la Caña (RAC) y la melaza (mieles finales), a partir de ellos se generan más de 300 co-productos de valor agregado tales como celulosa y papel, furfural, fármacos, carbón activado, tableros aglomerados, alimento animal, bioetanol, etc. Debido a la arcaica idea en México de solo producir azúcar a partir de la caña, algunos de sus subproductos son considerados residuos, al no ser racionalmente aprovechados. No obstante, algunos residuos fibrosos se utilizan ineficientemente en la alimentación animal debido a sus bajos niveles de digestibilidad. Por consiguiente, los residuos ligno-celulósicos fibrosos como el bagazo y el cogollo para poder ser aprovechados como alimento animal de forma eficiente deben someterse a un pre-tratamiento previo que coadyuve al incremento de sus niveles de digestibilidad. Dentro de ellos se pueden citar, explosión de vapor (*steam explosión*), tratamiento químico (con NaOH, CaOH), con amoníaco y líquidos iónicos entre otros. Estos tratamientos delignifican las fibras facilitando así su asimilación para los animales.

Abstract

Graminae sugar cane *Saccharum officinarum*, generates nine products in its agro-industrial process, from which due to its generation volume it is important to mention bagasse, filter mud, sugar cane agricultural residues, and molasses (final molasses), since from them it is generated over 300 co-products such as cellulose and paper, furfural, drugs, activated carbon, agglomerated boards, animal food and bioethanol among others. Due to the erroneous idea in Mexico of producing only sugar from cane, some of its by-products are considered to be as wastes since they are not rationally exploited and are poorly utilized. However, some fibrous residues are used inefficiently in animal feed because

of low levels of its digestibility. Therefore, the ligno-cellulosic fibrous waste such as bagasse and sugar cane tops in order to be able to be used as animal feed efficiently should have a previous pre-treatment which contributes to increasing their levels of digestibility. Among them, are included, steam (*steam explosion*), chemical treatment (with NaOH, CaOH), ammonia and ionic liquids among others. These treatments reduce the lignin content of the fibers facilitating thus their uptake for animals.

Introducción

Clasificación de subproductos y residuos de la agroindustria azucarera

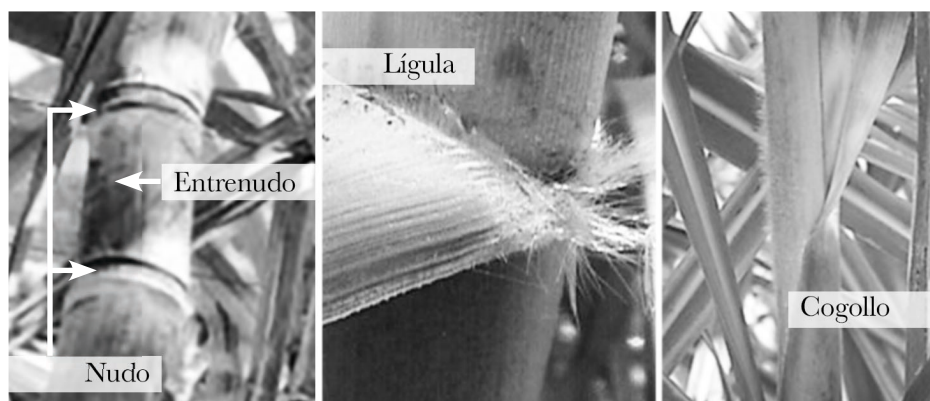


Figura 1. Partes de la caña de azúcar

La caña de azúcar (Fig. 1) pertenece a la tribu *Andropogonae* de la familia *Gramineae*, orden *Glumiflorae*, clase *Monocotyledoneae*, subdivisión *Angiospermae*, división *Embryophitasiphonogama*. La sub-tribu es *Sacharae* y el género es *Saccharum*, derivado del Sánscrito “sarkara = azúcar blanca”, que recuerda que la planta llegó desde la India a la región del Mediterráneo. (Subirós Ruiz, 2000).

En el mundo, los países que cultivan la caña de azúcar se localizan entre la latitud 36.7 °N y 31.0 °S del Ecuador, extendiéndose desde regiones tropicales a subtropicales.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es considerada la planta que más perfeccionados tiene los mecanismos fisiológicos para la producción de sacarosa, pues sus vías fotosintéticas para producirla (C4 o vía ácidos dicarboxílicos) a partir de los azúcares simples, son mecanismos altamente eficientes (Curtis, 2008).

Es una gramínea que, como consecuencia de su proceso agroindustrial, genera nueve subproductos (Fig.2) a partir de los cuales es factible obtener co-productos de alto valor agregado para muchos países y muchos de ellos lamentablemente los consideran como desecho y/o fuente de contaminación.

La caña de azúcar, como ya se mencionó, es una de las principales alternativas para la elaboración de tecnologías sustentables y esto se debe, en gran medida, a su gran contenido energético y a la pluralidad de usos que manifiesta.

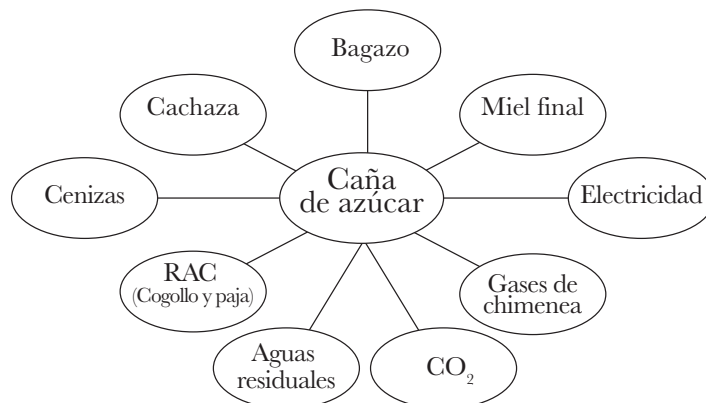
Antecedentes de la alimentación animal a partir de residuos agroindustriales

Los residuos de la agroindustria azucarera han sido utilizados por décadas en la alimentación animal de distintas razas de ganado; los residuos fibrosos se han destinado a alimento para rumiantes (animales con sistema digestivo poligástrico como cabras y reses). Por su parte, las mieles finales o melazas se han venido empleando en la alimentación de aves y porcinos desde hace muchos años.

Por su parte, la cachaza se ha utilizado en diversos campos, Ocampo (1991) empleó la cachaza en la ceba de ganado porcino, como fuente energética obteniendo aumentos en peso de 0.500 g/día. En Cuba, al igual que en otros países, es una práctica frecuente secar la cachaza por períodos de 48 h en capas uniformes y a continuación, suplementarla con bagacillo, residuales líquidos, urea y miel final (Basanta et al, 2007). Por su parte, Hernández (2013) desarrolló un alimento para ganado bovino a base de cachaza suplementado proteicamente con pasta de soya y sorgo. A su vez, Llanes y colaboradores (2012) realizaron un alimento a base de bagazo de caña de azúcar suplementado proteicamente con insumos no convencionales como guácima, hidrolizado de la producción de transglutaminasa y maralfalfa (*Pennisetumsp*). Mientras que Ortiz-Rubio (2007) desarrolló experimentos para determinar la suplementación de nitrógeno necesaria en cuatro dietas para ganado bovino basadas en cogollo de caña de azúcar, y determinó que este último es una fuente potencial de forraje para el ganado, pero como único alimento es deficiente en nitrógeno. Sin embargo, es posible suministrar este nitrógeno por 100 g PM / kg DM, 8 g de urea / kg DM o 500 g de suplemento proteico/energético, para satisfacer las necesidades de los microorganismos del rumen para el nitrógeno fermentable en la dieta a bases de cogollo de caña de azúcar.

En cuanto a la utilización de mieles finales o melaza se han tenido experiencias de alimentos ricos en energía y suplementados con cereales. Berman (2011) desarrolló un alimento para ganado bovino donde utilizó melaza, óxido de calcio, pre-mezcla de vitaminas y minerales, cogollo de caña de azúcar, pasto maralfalfa (*Pennisetumsp*) y el subproducto del hidrolizado en la producción de transglutaminasa. Obteniendo resultados favorables. En la utilización de melaza también se ha trabajado con la sustitución de esta última por granos en dietas para ganado de leche y su influencia en el perfil de ácidos grasos de la leche (Silverson, 2014). En la Fig. 2 se muestran los subproductos de la caña de azúcar.

Figura 2. Sub-productos de la Caña de Azúcar (Lois, 2015)



Tecnología de la alimentación animal

Debido a la composición fibrosa (celulosa, hemicelulosa y lignina) de la mayoría de los residuos de la agroindustria azucarera como el cogollo, bagazo, paja, hojas secas o caña integral; es necesario, para una correcta utilización de estos residuos, un tratamiento que permita disminuir el contenido de lignina en los mismos, aumentando paralelamente la digestibilidad de las fibras. Dentro de estos tratamientos se encuentran los físicos como *steam explosión* que emplean vapor a altas temperaturas para delignificar y fraccionar las fibras (Öhgren et al. 2007; Rocha et al. 2012); también existen los tratamientos químicos con álcalis (Chen et al., 2011, Orta, 2015) o con ácidos (Rodríguez-Chong et al., 2004; Gámez et al., 2006, Ferrer et al., 2002) y combinaciones como los tratamientos como despresurización amoniacal (Bals et al., 2010) y líquidos iónicos (Talebniya et al., 2010). Todos ellos convierten la compleja estructura de grupos funcionales aromáticos presentes en la lignina en monómeros más fácilmente degradables por la flora ruminal.

Otra parte importante a tener en cuenta dentro de las tecnologías de los alimentos es la suplementación proteica, ya que juega un papel muy importante en el correcto desarrollo del ganado y de la funcionalidad de los alimentos, ya que el alimento voluminoso representado por esquilmos y forrajes no es suficiente para una correcta alimentación de ganado bovino.

Metodología Experimental

Preparación de la muestra

Se utilizó bagazo de caña de azúcar del ingenio azucarero “FAGSA”, ubicado en el municipio de Pánuco, estado de Veracruz. Como preparación previa, el bagazo fue secado al sol para evitar la generación y proliferación de hongos provocado por la fermentación de los azúcares que lo componen; para homogenizar la muestra, se realizó un cribado en malla de 0.5 mm de luz, equivalente a un tamiz 32 Tyler.

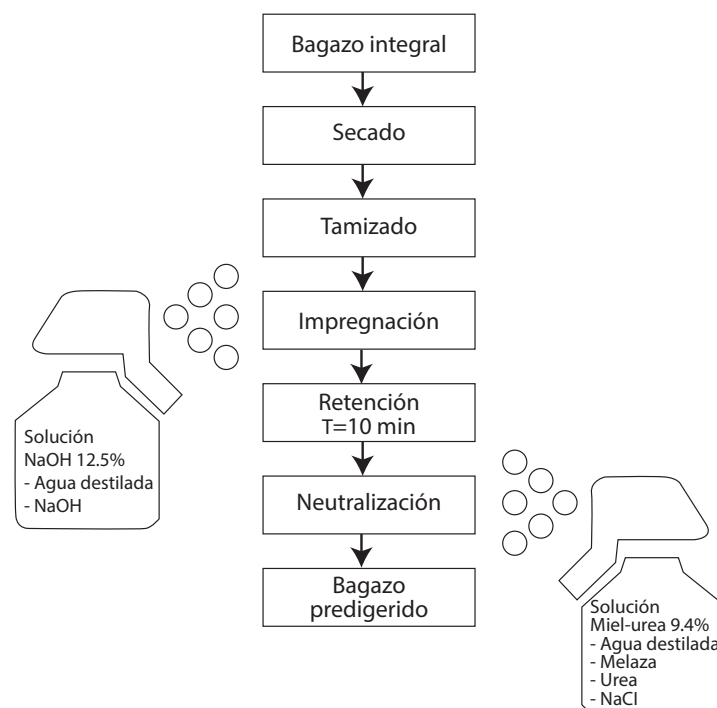


Figura 3. Metodología experimental. (Elaboración propia)

Pre-tratamiento alcalino

El tratamiento alcalino consistió en la aplicación por aspersión dentro de una mezcladora para alimentos en movimiento continuo, de una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 12.5%, al bagazo de caña de azúcar preparado (seco y tamizado), permitiendo su impregnación durante 10 minutos y finalmente neutralizando la reacción con una solución de miel-urea al 9.4%; tanto la preparación del bagazo, como el pre-tratamiento alcalino se ilustran en la Figura 3, a manera de diagrama de bloques.

Evaluación del pre-tratamiento

- *Microscopía Confocal con Barrido Láser (MCBL)*

Es una microscopía capaz de obtener secciones ópticas, lo que permite el estudio tridimensional de las muestras, además de producir imágenes con mayor nitidez, contraste y resolución que la microscopía óptica tradicional. Para observar los cambios en la fibra producidas por el tratamiento alcalino, se analizó el bagazo integral y el bagazo pre-digerido. Se trabajó con un microscopio modelo LSM 710 marca *Carl Zeiss*, con un láser 405 nm.

- *Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)*

Esta técnica hace incidir un haz de electrones emitidos por un cátodo de tungsteno, que pasan a través de una columna en condiciones de vacío, a manera de pincelada o barrido sobre la superficie de una muestra, permitiendo apreciar los cambios morfológicos y texturales que sufre un material al ser expuesto a un tratamiento determinado, como en el caso del tratamiento alcalino. Para este trabajo se utilizó un microscopio marca *Quanta 3DFEG*, a condiciones de bajo vacío (de 10 a 130 Pa), con 150 kV, a una distancia de 10 mm.

- *Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (IRTF)*

Esta técnica hace incidir un haz de luz infrarroja sobre una muestra, provocando, entre otros efectos, estiramientos característicos de los grupos funcionales presentes. De esta manera se logró observar el efecto del tratamiento alcalino sobre la estructura de la molécula de lignina. Se estudió el espectro en la región de 900 a 1200 cm^{-1} , que corresponde a la región de absorción del bagazo de caña de azúcar, el equipo que se utilizó fue un *Horiba 50BW* y *VON LabRam* Modelo HR80.

- *Digestibilidad in vitro (DIIV)*

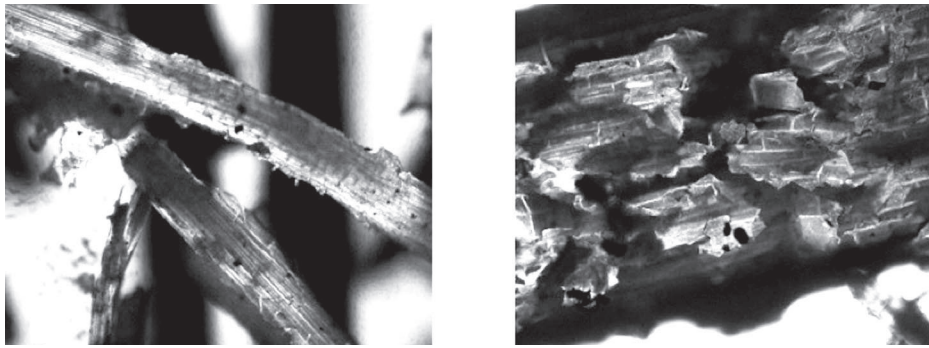
Éste análisis permite conocer el grado de aprovechamiento nutricional potencial de un alimento, reproduciendo las condiciones ruminales, utilizando saliva artificial (saliva de *McDougall* 1948) y una muestra de líquido ruminal extraído de un animal fistulado.

Para esta determinación se realizaron análisis al bagazo integral y al bagazo pre-tratado alcalinamente, comparando los resultados con los del pasto estrella, típico de la región sur del estado de Tamaulipas.

Resultados y discusión

- *Microscopía Confocal con Barrido Láser (MCBL)*

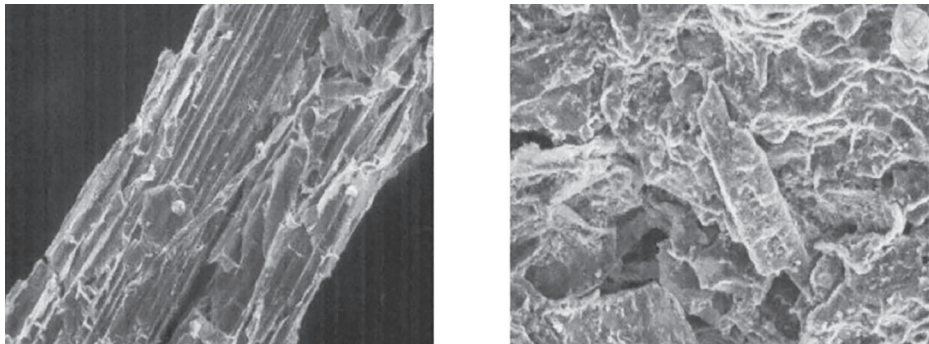
En la Figura 4 se puede apreciar una comparación de las micrografías de (4a) bagazo integral y (4b) bagazo pre-tratado, pudiéndose apreciar la fragmentación del material fibroso por la acción del agente alcalino, se aprecia la delignificación de la fibra debido a la fluorescencia de la lignina (Tiango, 2014).



a. b.
 Figura 4. Micrografías MCBL
 (Elaboración propia)

• *Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)*

En la Figura 5 se puede apreciar el efecto del tratamiento alcalino sobre la fibra del bagazo de caña de azúcar, en las micrografías de (5a) bagazo integral y (5b) bagazo pre-tratado, pudiéndose de igual manera, observar la fragmentación del material fibroso.



a. b.
 Figura 5. Micrografías MEB
 (Elaboración propia)

• *Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (IRTF)*

En el espectro IR del bagazo sin tratamiento (BP0) de la figura 6, se observan absorciones características de los grupos OH⁻ alcohólico de polisacáridos y OH⁻ fenólicos de la lignina en la región de 3400 cm⁻¹, así mismo se pueden observar las propias para los grupos carbonilo en 1 124 cm⁻¹ y éster en 1730 cm⁻¹ (Rezende, 2011), todos ellos, grupos funcionales característicos de la lignina. Tales señales se observan disminuidas en el espectro del bagazo pre-digerido (BPS), fundamentalmente en la banda de los grupos carbonilo.

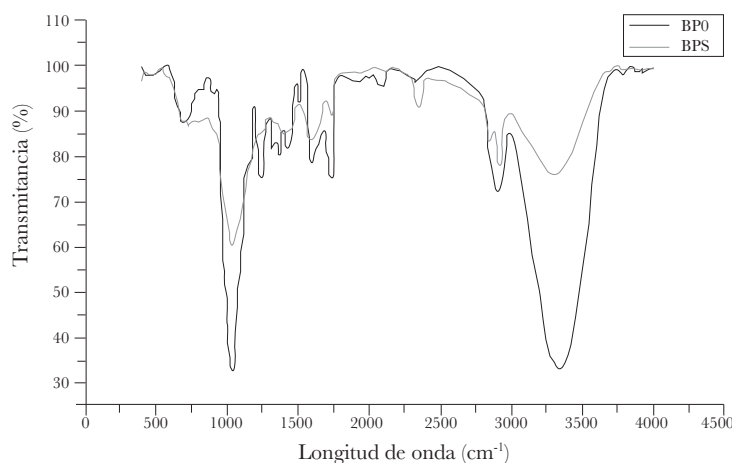


Figura 6. Espectros BP0 y BPS de IRTF (Elaboración propia)

- *Digestibilidad in vitro (DIIV)*

En la prueba de DIIV (Mishra, 2000) se observa un aumento de la digestibilidad del bagazo integral con 32% al bagazo pre-digerido con un 60.33 %, cuyos resultados son notablemente mayores al del pasto estrella, que reporta una digestibilidad de 51%.

Conclusiones

El pre-tratamiento alcalino, basado en una solución al 12.5% de NaOH, con un tiempo de retención de 10 minutos, permitió la pre-digestión del componente fibroso del bagazo de caña de azúcar, mostrando en los estudios morfológicos por MCBL y MEB cambios y rupturas en la textura de la fibra, de igual manera, se puede observar por IRTF una disminución en los grupos funcionales característicos de la lignina, indicando una despolimerización, siendo la información complementada con el aumento significativo del porcentaje de la digestibilidad en DIIV.

Bibliografía

- Bals B, Rogers C, Jin M, Balan V, Dale B. (2010) Evaluation of ammonia fiber expansion (AFEX) pretreatment for enzymatic hydrolysis of switchgrass harvested in different seasons and locations. *BiotechnolBiofuels*. 3 (1): 1-11. Available from: <http://www.biotechnologyforbiofuels.com/content/3/1/1>.
- Berman Delgado, Josué Benito (2011) Desarrollo de alimento animal melazado enriquecido proteicamente con sub-productos no convencionales y subproductos de la caña de azúcar, para engorde de ganado bovino en etapa de finalización. Tesis de Maestría en Tecnología de Avanzada. CICATA-IPN-Altamira, Tam., México Pp 22-25
- Chen WH, Ye SC, Sheen HK. (2011) Hydrolysis characteristics of sugarcane bagasse pretreated by dilute acid solution in a microwave irradiation environment. *Appl Energ*. 2011; 93: 237-244.
- Curtis Helena, Adriana Schnek, Curtis. (2008) *Biología* Ed. Médica Panamericana, ISBN 9500603349, 9789500603348.
- Ferrer, et al., (2002). Kinetics of the acid hydrolysis of sugar cane bagasse pith. *La Universidad de Zulia (LUZ)*, 19: 23-33, p. 24.
- Hernández Leal, Rocío (2013) Conversión de la cachaza azucarera en un co-producto de valor agregado para la alimentación de ganado bovino en un marco de desarrollo sustentable. Tesis de Maestría en Tecnología de Avanzada. CICATA-IPN-Altamira, Tamaulipas. Pp. 70-76
- Lois Correa, Jorge A., (2015) Consideraciones de base para una propuesta de diversificación de la agroindustria del azúcar de caña. Extenso de conferencia magistral en el marco del 7 ° *Congreso Internacional de la Academia Mexicana Multidisciplinaria Ciencia, Tecnología e Innovación en Movimiento*.
- Llanes Gil López, Diana I. (2012) Desarrollo Técnico y económicamente viable de harinas forrajeras pre digeridas y enriquecidas proteicamente a partir de bagazo de caña de azúcar. Tesis de Maestría en Tecnología de Avanzada. CICATA-IPN-Altamira, Tam., México. 2012, pp. 90-91.

- McDougall E. I (1948). Studies on ruminant saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva, *Biochem J.* 1948; 43(1): 99–109.
- Mishra A.S., O.H. Chaturvedi, Ananta Khali, R. Prasad, A. Santra, A.K. Misra, S. Parthasarathy, R.C. Jakhmola (2000) Effect of sodium hydroxide and alkaline hydrogen peroxide treatment on physical and chemical characteristics and IVOMD of mustard Straw. *Animal Feed Science and Technology* 84 (2000) 257±264
- Orta Guzmán V. (2015) Cogollo de caña de azúcar tratado alcalinamente y suplementado para alimento de ganado bovino. Extenso de conferencia en el marco del 27 ° *Encuentro Nacional de Investigación Científica y Tecnológica del Golfo de México.*
- Öhgren K, Vehmaanperä J, Siika-Aho M, Galbe M, Viikari L, Zacchi G. (2007) High temperature enzymatic prehydrolysis prior to simultaneous saccharification and fermentation of steam pretreated corn stover for ethanol production. *Enzyme Microb Technol.* 2007; 40 (4): 607-613.
- Ortiz-Rubio, M.A., E.R. Ørskov, J. Milne, H.M.A. Galina. (2007) Effect of different sources of nitrogen on *in situ* degradability and feed intake of Zebu cattle fed sugarcane tops (*Saccharum officinarum*) *Animal Feed Science and Technology Volume 139, Issues 3–4, 15 December 2007, Pages 143–158.*
- Rezende, C. A., de Lima, M. A., Maziero, P., de Azevedo, E. R., Garcia, W., & Polikarpov, I. (2011). Chemical and morphological characterization of sugarcane bagasse submitted to a delignification process for enhanced enzymatic digestibility. *Biotechnology for Biofuels*, 4, 54. doi:10.1186/1754-6834-4-54.
- Rocha GJM, Martin C, Soares IB, Souto-Maior AM, Baudel HM, Moraes CA. (2011) Dilute mixed-acid pretreatment of sugarcane bagasse for the ethanol production. *Biomass Bioenergy.* 2011; 35: 663-670.
- Rocha GJM, Gonçalves AR, Oliveira BR, Olivares EG, Rossell, CEV. (2012) Steam explosion pretreatment reproduction and alkaline delignification reactions performed on a pilot scale with sugarcane bagasse for bioethanol production. *Ind Crop Prod.* 2012; 35: 274-279.
- Rodríguez-Chong A, Ramírez JA, Garrote G, Vázquez M. (2004) Hydrolysis of sugarcane bagasse using nitric acid: a kinetic assessment. *J Food Eng.* 2004; 61: 143-152.
- Rodríguez-Couto S, Rodríguez A, Paterson RRM, Lima N, Teixeira JA. High laccase activity in *Siverson A.*, C.F. Vargas-Rodríguez, B.J. Bradford. (2014) *Short communication:* Effects of molasses products on productivity and milk fatty acid profile of cows fed diets high in dried distillers grains with solubles. *Journal of Dairy Science* Volume 97, Pages 3860–3865. doi:10.3168/jds.2014-7902.
- Subirós Ruiz Fermín, (1995) Cultivo de la Caña de Azúcar, Editorial EUNED, ISBN 9977648115, 9789977648118.
- Sun Y, Cheng J. (2002) Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bio resour Technol.* 2002; 83: 1-11.
- Talebnia F, Karakashev D, Angelidaki I. (2010) Production of bioethanol from wheat straw: an overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation. *Bioresour Technol.* 2010; 101: 4744-4753.

Tiago A. Chimenez • Marcelo H. Gehlen • Karen Marabezi • Antonio A. S. Curvelo (2014)

Characterization of sugarcane bagasse by autofluorescence microscopy. *Cellulose* (2014) 21:653–664 DOI 10.1007/s10570-013-0135-9.

Potencial de los fertilizantes biológicos fermentados para la producción sustentable de hortalizas en el sur de Tamaulipas

Potential Biological Fermented Fertilizer for Sustainable Vegetable Production in Southern Tamaulipas

*Hermilo Lucio Castillo¹⁰
Epifanio Míreles Rodríguez
Joel Ávila Valdez
Sergio Castro Nava¹¹
Rolando Ávila Ayala¹²

Resumen

¹⁰Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica Multidisciplinaria Mante Centro. Blvd. Enrique Cárdenas González # 1201 Pte, CP 89840. El Mante Tamaulipas.

¹¹Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería y Ciencias, Centro Universitario Adolfo Ruiz Cortínez

¹²INIFAP CIR Noreste Campo Experimental San Luis. *Contacto: helucioc@uat.edu.mx

La nutrición en el cultivo suele convertirse en un problema relevante cuando existe poco uso de fertilizantes y desconocimiento en la forma de suministrarlos. Se reconoce que un eficiente empleo de los mismos, entre otras ventajas, permite acelerar el crecimiento vegetativo, aumentar la precocidad en la floración y promover una conveniente relación simbiótica con hongos endomicorrízicos.

Existe un sinnúmero de fertilizantes líquidos orgánicos fermentados (FLOF) como leche o suero, sales minerales, estiércol de rumiantes y el agua. Los FLOF son abonos foliares que se producen de la fermentación y descomposición de materiales orgánicos como el estiércol, frutas y otros, gracias a la labor realizada por microorganismos especializados. Dicho abono provoca un efecto positivo en el crecimiento y nutrición de las plantas, lo cual aumenta la productividad de las mismas. Además sirve de repelente de insectos y minimiza el impacto al medio ambiente (Mazariegos y Colindres, 2002). Los FLOF son productos que son fáciles de elaborar por los productores en sus unidades de producción pecuaria (UPP) con materias primas obtenida de la misma UPP lo cual reducirá los costos por compra de fertilizantes foliares comerciales y además el daño que puede provocar estos productor tanto para la salud del productor y su familia como del medio ambiente.

Los microorganismos utilizados en los biofertilizantes son clasificados dentro de dos grupos: El primer grupo incluye microorganismos que tienen la capacidad de sintetizar sustancias que promueven el crecimiento de la planta, fijando nitrógeno atmosférico, solubilizando hierro y fósforo inorgánico y mejorando la tolerancia al stress por sequía, salinidad, metales tóxicos y exceso de pesticidas, por parte de la planta. El segundo grupo incluye microorganismos los cuales son capaces de disminuir o prevenir los efectos de deterioro de microorganismos patógenos (Bashan y Holguin, 1998; Lucy et al., 2004).

Tamaulipas cuenta con 1 millón 665 mil 554 has dedicadas a la actividad agrícola, de las cuales 1 millón 109 mil 648 son de temporal y 555 mil 906 de riego; esta superficie representa al 21% del territorio estatal. En este subsector se concentra el 71% de los productores del sector agropecuario y pesquero del

estado, al contar con poco más de 98 mil 900 productores. A nivel nacional Tamaulipas aporta el 3% del valor de la producción agrícola del país, y ocupa destacadas distinciones en la producción de sorgo, maíz, soya, algodón, cártamo, cebolla, okra, chile verde, naranja y caña de azúcar. La entidad cuenta con una superficie de 4 millones 809 mil 434 hectáreas dedicadas a la actividad pecuaria, de las cuales 3 millones 703 mil 207 hectáreas son de agostadero y 1 millón 106 mil 227 hectáreas de praderas, esta superficie representa al 60% del territorio estatal. En este subsector se concentra el 22.5% de los productores del sector agropecuario y pesquero del estado, al contar con poco más de 31 mil 500 productores (Anónimo, 2003).

Palabras claves: Fertilizantes biológicos, sustentable, biofertilizantes.

Abstract

Nutrition in culture often becomes a significant problem when there is little use of fertilizers and lack of knowledge in how to provide them. It is recognized that an efficient use of them, among other benefits, accelerates vegetative growth, increasing precocity in flowering and promoting appropriate endomycorrhizal symbiotic relationship with fungi.

There are countless of fermented organic liquid fertilizer (FLOF) as milk or whey, minerals, ruminant manure and water. The FLOF foliar fertilizers are produced from the fermentation and decomposition of organic materials such as manure, fruit and others, thanks to the work done by specialized microorganisms. Such payment causes a positive effect on growth and plant nutrition, which increases the productivity of the same. It also serves as insect repellent and minimizes the impact on the environment (Mazariegos and Colindres, 2002). The FLOF are products that are easy to make by producers of livestock production units (UPP) with raw materials obtained in the same UPP which will reduce costs by purchasing commercial foliar fertilizers and also the damage that can cause these producer both to the health of farmers and their families and the environment.

The microorganisms used in the biofertilizer are classified into two groups: The first group includes microorganisms having the ability to synthesize substances that promote plant growth, fixing atmospheric nitrogen, solubilizing iron and inorganic phosphorus and improving tolerance to drought stress, salinity, excess toxic metals and pesticides, by the plant. The second group includes microorganisms which are capable of reducing or preventing the deleterious effects of pathogens (Bashan and Holguin., 1998; Lucy et al, 2004).

Tamaulipas has a “surface” of 1 million 665,554 hectares. They engaged in agricultural activity, of which 1 million are 109 648 554 temporary and 555,906 irrigation; This area represents 21% of the state territory. In this subsector, 71% of the producers of the agriculture and fisheries sector is concentrated state, to have little more than 98 thousand 900 producers. Nationally Tamaulipas contributes 3% of the value of agricultural production in the country, and occupies leading distinctions in the production of sorghum, corn, soybean, cotton, safflower, onions, okra, green pepper, orange and sugar cane. The company has an area of 4 million 809, 434 hectares dedicated to the

cattle activity, of which 3 million 703 207 hectares are pasture and 1 million 106, 227 hectares of grassland, this area represents 60% of the state. In this subsector 22.5% of the producers of the agricultural and fisheries sector is concentrated state, to have a little over 31 thousand 500 producers (Anonymous, 2003).

Keywords: organic, sustainable fertilizers, bio-fertilizers.

Microorganismos utilizados como biofertilizantes

Los microorganismos que intervienen en la fijación biológica de nitrógeno atmosférico (FBNA) consistente en la reducción enzimática de nitrógeno (N_2) a amonio (NH_4), podemos clasificarlos en dos grupos a) microorganismos (bacterias hongos y algas) que fijan nitrógeno en forma no simbiótica o de vida libre y b) microorganismos que fijan el nitrógeno en forma simbiótica con plantas leguminosas y no leguminosas (gramíneas y otras), las mayores cantidades de nitrógeno atmosférico fijado surgen de leguminosas en asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium* (Richards, 1987). En las bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre se encuentran los géneros más estudiados que son *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia* y *Klebsiella*, los cultivos en donde ha sido más estudiado este proceso de fijación de nitrógeno son: caña de azúcar, arroz, sorgo, trigo y pastos tropicales forrajeros, donde la fijación de N_2 por bacterias asociativas y de vida libre es importante (Döbereiner et al., 1995).

La biofertilización es una tecnología que está vinculada con la inclusión de microorganismos en las semillas (inoculación), dentro de los que se encuentran las micorrizas versículo arbusculares (MVA). Estos microorganismos aportan nitrógeno y fósforo a los vegetales, y también tienen otras funciones no menos importantes: desarrollo radical más abundante y efecto protector contra enfermedades fúngicas de la raíz (Gabriel, 2009 citado por Espinoza et al, 2000). La utilización de los biofertilizantes en los sistemas agrícolas productivos es una alternativa viable para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible. De esa manera, se han incrementado para la introducción de organismo y componentes biorreguladores del suelo y las plantas. La inoculación con bacterias rizosféricas, hongos endomicorrizógenos, la adición de materia orgánica y otras prácticas de cultivo, son alternativas que pueden ser empleadas con éxito en la agricultura actual, teniendo una repercusión favorable en la producción y el ambiente (Terry et al, 2002).

¿Qué son los biofertilizantes?

Los biofertilizantes, son súper abonos líquidos con mucha energía equilibrada y en armonía mineral, preparados a base de estiércol de vaca. Es un producto muy fresco, disuelto en agua y enriquecido con leche, melaza y ceniza, que se ha colocado a fermentar por varios días en toneles o tanques de plástico, bajo un sistema anaeróbico y muchas veces enriquecido con harina de rocas molidas o algunas sales minerales; como los sulfatos de magnesio, zinc, cobre, etc.

El lombricompost es una opción sustentable para el mantenimiento de suelos saludables y productos resistentes, como resultado de la lombricultura que consiste en la utilización de la lombriz roja californiana para el reciclaje del material orgánico. La técnica de la lombricultura es una biotecnología en la que se usa un ser vivo y una técnica como el riego, alimentación y composteo

del alimento, adecuado para el trato de esta lombriz. El material orgánico, consumido por la lombriz, produce un humus o abono orgánico que sirve como fertilizante para todo tipo de cultivos, que ofrece como una de sus propiedades la formación de micorrizas, que son pequeñas raíces que permiten afianzarlas y asegurarles una buena absorción de agua (Míreles, 2014).

Esta lombriz puede comer hasta cartón, sin embargo, en el manejo que se realiza, privilegia la nutrición de hortalizas, que proporcionan micro elementos como zinc, boro y hierro, así como estiércol, que brinda al compuesto nitrógeno, fósforo y potasio, elementos requeridos para un sano crecimiento de las plantas. El fertilizante resultado de este proceso, se puede encontrar en dos formas: sólido y líquido.

El fertilizante líquido, puede ser utilizado en los sistemas de riego en plantíos, mientras que el sólido se utiliza cuando la tierra es muy salina, así como para brindar micro elementos a las plantas durante el trasplante.

¿Para qué sirven los biofertilizantes?

Sirven para nutrir, recuperar y reactivar la vida del suelo, fortalecer la fertilidad de las plantas y la salud de los animales, al mismo tiempo que sirven para estimular la protección de los cultivos contra el ataque de insectos y enfermedades. Además sirven para el aumento de la capacidad del suelo para retener agua, mejores condiciones físicas para el desarrollo de las raíces y aumentar la actividad microbiana en el suelo. Sirven para sustituir los fertilizantes químicos altamente solubles de la industria, los cuales son muy caros y vuelven dependientes a los campesinos, haciéndolos cada vez más pobres (Rivera, 2007).

Hay dos tipos de biofertilizantes, los aeróbicos que se producen en presencia de oxígeno y los anaeróbicos que se elaboran en ausencia del mismo. También existen los biofertilizantes enriquecidos, cuando se les añaden compuestos o elementos minerales para tener un producto que aporte nutrientes a las plantas (FAO, 2013).

¿Cómo funcionan los biofertilizantes?

Funcionan principalmente en el interior de las plantas, activando el fortalecimiento del equilibrio nutricional como un mecanismo de defensa de las mismas, a través de los ácidos orgánicos, las hormonas de crecimiento, antibióticos, vitaminas, minerales, enzimas y co-enzimas, carbohidratos, aminoácidos y azúcares complejas, entre otros, presentes en la complejidad de las relaciones biológicas, químicas, físicas y energéticas que se establecen entre las plantas y la vida del suelo. Los biofertilizantes enriquecidos con cenizas o sales minerales, o con harina de rocas molidas, después de su periodo de fermentación (30 a 90 días), estarán listos y equilibrados en una solución tampón y coloidal, donde sus efectos pueden ser superiores de 10 a 100 000 veces las cantidades de los micronutrientes técnicamente recomendados por la agroindustria para ser aplicados foliarmente al suelo y a los cultivos (Rivera, 2007).

La preferencia por estos abonos líquidos estriba en:

- a) Que pueden aplicarse de muchas maneras incluyendo el agua de riego que puede ser por gravedad o presurizada.
- b) Fácil manejo por las motobombas que reducen jornales.

c) No requieren equipo especializado para su almacenamiento y aplicación

d) Se tiene mejor control de la cantidad aplicada al manejarse en volumen y no en peso (Armenta-Bojórquez, et al. 2010)

Generalidades de la agricultura orgánica

La agricultura orgánica es la implementación agropecuaria en sistemas de producción que no utilizan productos químicos sintéticos, los cuales minimizan el impacto sobre el ambiente. Estos sistemas son capaces de producir alimentos sanos y abundantes.

El objetivo primordial de la agricultura orgánica es producir al menor costo, de forma más segura, amigable con el ambiente y mantener la salud tanto de las plantas, del suelo y del agricultor (Restrepo, 1998 citado por Mazariegos y Colindres, 2002).

Se tiene conocimiento que la agricultura orgánica es una pequeña parte de la actividad económica mundial. Sin embargo, en países como Austria y Suiza ha llegado a representar hasta un 10% de la seguridad alimentaria. En Estados Unidos, Japón, Francia y Singapur, se registran tasas anuales de crecimiento en el sector agrícola mayores al 20% (FAO, 1999).

La agricultura orgánica es una buena alternativa para la exportación ya que los precios superan un 20% a los productos convencionales (FAO, 1999).

La demanda de productos orgánicos ha creado también nuevas oportunidades de exportación para el mundo en desarrollo. Como ningún país puede satisfacer la demanda de una variedad de alimentos orgánicos producidos dentro de sus fronteras durante todo el año, muchos países en desarrollo han comenzado a exportar con éxito productos orgánicos, por ejemplo, frutas tropicales para la industria europea de los alimentos infantiles, hierbas de Zimbabwe a Sudáfrica; seis países de África exportan algodón a la Comunidad Europea.

La rotación de los cultivos propicia la diversidad de los cultivos alimenticios, la producción de forrajes y una utilización insuficiente de algunas plantas, lo que además de mejorar la producción global y la fertilidad de los ranchos puede contribuir también a la conservación de recursos fitogenéticos en ellas. La integración de la ganadería en el sistema hace que aumenten los ingresos gracias a la carne, los huevos y los productos lácteos, así como a la fuerza de tracción animal. La arboricultura y la silvicultura integradas en el sistema agrícola proporcionan sombra y abrigo contra el viento, al tiempo que suministran alimentos, ingresos, combustible y madera. Diversos sistemas de agricultura orgánica incorporan también la agricultura y la acuicultura.

Perspectivas de los biofertilizantes

El aumento de la concientización sobre el cuidado del medio ambiente y la evidencia del deterioro ambiental que causan los agroquímicos ha hecho que los productores agrícolas, vean como buena alternativa la aplicación de los biofertilizantes ya que en la actualidad se usan bacterias promotoras de crecimiento de las plantas y hongos micorrízicos, entre los productores de plántulas en invernaderos y viveros, así como el incremento de microempresas

productoras de abonos orgánicos que incluyen los biofertilizantes y la producción de estos insumos por los propios productores, que los introducen a un manejo más sustentable del suelo, estas prácticas van en aumento tanto en agricultura orgánica como convencional, sobre todo en el noroeste del país, aun siendo donde se tiene la tecnología agrícola más avanzada. Se está adoptando una estrategia de suministro de nutrientes a los cultivos (hortalizas y cultivos de grano), integrando una inteligente combinación de fertilizantes orgánicos, humus de lombriz y biofertilizantes; todo ello dentro del marco de la sustentabilidad, para reducir los daños causados al ambiente y a la salud del hombre y los animales por los métodos irracionales que se han empleado en las últimas décadas (Fundación Produce, 2006).

Conclusiones

La utilización de cepas nativas de microorganismos en la elaboración de biofertilizantes, presentan mayor posibilidades de efectividad en el campo, por estar adaptados a las condiciones del suelo de cada región.

La recomendación del uso de biofertilizantes, debe hacerse inicialmente como un complemento a la fertilización sintética, con visión de sustituirla a mediano o largo plazo de acuerdo a las condiciones de suelo, manejo y respuesta del cultivo.

El fósforo es uno de los nutrientes más limitados en nuestra agricultura y de gran importancia para la nutrición vegetal. Actualmente se realiza un esfuerzo global por desarrollar plantas y asociaciones planta-microorganismos que permitan el uso más eficiente del fósforo de suelo y de los fertilizantes. La eficiencia con la cual las plantas son capaces de acceder al fósforo del suelo a través de los microorganismos pudiera ser de considerable beneficio tanto económico como medioambiental.

Bibliografía

- Armenta-Bojórquez, A.D; García, G, C., Camacho, B, J. R., Apodaca, S.M. A., Montoya, L. G. Y Nava, P. E. 2010.
- Anónimo, 2003. Fundación Produce Tamaulipas, AC. Identificación de las Cadenas Productivas Prioritarias en el estado de Tamaulipas.
- Bashan Y. and Holguin, G. 1998. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol PGBP (plant growth-promoting bacteria) and PGBP. *Soil Biol. Biochem.* 30, 1225-1228.
- Dobereiner, J. & et al. 1995. Alternatives for nitrogen of crop in tropical agriculture. *Nitrogen Economy in tropical soil. Fertilizar Research.* 42:339-346.
- Espinosa Moreno, Jorge A.; Gaytán Acuña, E. Araceli; Becerril Román, A. Enrique; Jaén Contreras, David; Trejo López, Carlos. Fertilización Química y Biológica de *Phalaenopsis* (orchidaceae) en Condiciones de Invernadero *Terra Latinoamericana*, vol. 18, núm. 2, abril-junio, 2000, pp. 125-131 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.

- FAO. 1999. La agricultura orgánica. La demanda de productos orgánicos ha creado nuevas oportunidades de exportación para el mundo en desarrollo (en línea) consultado 25 junio 2015 disponible en <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/esp/revista/9901sp3.HTM>
- FAO. 2013. Los Biopreparados para la producción de hortalizas en la agricultura urbana y periurbana. (en línea) consultado 25 junio 2015 disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3360s>
- Lucy, M., Reed, E., Glick, B.R. 2004. Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Antonie Van Leeuwenhok*. 86, 1-25.
- Mazariegos, S y Colindres, C, 2002. Producción de chile picante (*capsicum frutescens* L) con y sin presencia de arvenses y bajo 5 concentraciones de abonos líquidos orgánicos fermentados en las Mercedes de Guácimo, Costa Rica, Guácimo Costa Rica EART. 44.p
- Míreles, A. F. 2014. Producen fertilizantes de lombrices. Periódico La Verdad de Tamaulipas. Fecha 10-04-2014. (en línea) Consultado 26 junio disponible. Laverdad.com.mx/desplegar_noticia.php?seccion=LOCAL¬a=183904.
- Richard, B. N. 1987. The microbiology of terrestrial ecosystem. LST; John Wiley and Sons. Inc. New York. 327-329.pp
- Rivera, R. J.; 2007. Manual Práctico; ABC de la Agricultura Orgánica y Panes de Piedra. Cali, Colombia. P.106.
- Terry, E, Z., Z, Terán, R, Martínez-V y Pino, M, A. 2002. Biofertilizantes, una alternativa promisoría para la producción hortícola en organopónicos. En: Cultivos tropicales. Vol. 23 no.3 La Habana Cuba. p.43-46

Inocuidad y calidad alimentaria

Food safety and quality

Nubia R. Rodríguez Durán¹³
Ofelia Bustos Vázquez
Alfredo del Ángel
Nadia A. Rodríguez Durán
*Ma. Guadalupe Bustos Vázquez

Resumen

¹³Unidad Académica Multidisciplinaria Mante- Centro. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Blvd. E. C. González 1201 Col. Jardín. Cd. Mante, Tamaulipas. CP. 89840. Contacto: gbustos@gmail.com

La calidad de los alimentos puede medirse mediante atributos sensoriales, nutricionales, funcionales, comerciales y de inocuidad, un alimento de calidad es aquel que satisface las necesidades del cliente y cumple con la normatividad y estándares internacionales. La calidad de los alimentos se puede ver afectada por agentes del medioambiente, fallas en los procedimientos y errores humanos. La inocuidad de los alimentos es de suma importancia debido a que las enfermedades transmitidas por alimentos tienen gran impacto en la salud pública. Los alimentos pueden contaminarse en cualquier eslabón de la cadena que va desde la producción hasta el consumo, los peligros pueden ser físicos, químicos y biológicos y se deben reducir o eliminar, para ello es necesario implementar un programa de aseguramiento de la inocuidad y calidad alimentaria.

Abstract

The food quality can be measured by sensory, nutritional, functional, commercial and safety attributes, is a quality food that meets customer needs and comply with regulations and standards. The food quality can be affected by environmental agents, faulty procedures and human errors. The food safety is paramount because food borne diseases have major impact on public health. Food can become contaminated at any link in the chain from production to consumption; hazards can be physical, chemical and biological and should reduce or eliminate, It is therefore necessary to implement a safety assurance and food quality.

Introducción

La población mundial crece aceleradamente y la agricultura debe crecer con ella para satisfacer la demanda de productos de origen vegetal y animal, por ello se ha incrementado la producción industrial de alimentos en los últimos años. El comercio internacional ha permitido que las personas y las naciones tengan acceso a más cantidad y variedad de alimentos frescos y procesados, pero en este crecimiento acelerado no se debe perder de vista la inocuidad y calidad de los alimentos, ya que en el afán de aumentar la productividad de los cultivos agrícolas y la producción pecuaria se podría incurrir en malas prácticas que además de ser una competencia desleal para otros productores pueden originar problemas de salud.

El tema de la inocuidad de los alimentos es de suma importancia debido al impacto que las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) tienen en la salud pública, esto se relaciona directamente con condiciones insalubres de obtención y manejo de los alimentos y agua para consumo, y también con un procesamiento, almacenamiento y transporte inadecuado.

Es importante destacar que en México la cultura de la inocuidad de los alimentos requiere ser reforzada en todos los niveles de la producción de alimentos: desde el campo hasta la mesa. Con la educación adecuada y suficiente en cada uno de los participantes de la cadena alimentaria se tomará conciencia de las acciones necesarias para garantizar la prevención y salud de las personas (Jiménez, 2013).

Los conceptos de inocuidad, calidad y seguridad alimentaria se han prestado a confusión, e inclusive se han empleado indistintamente. La calidad involucra diversos atributos de los alimentos entre ellos nutricionales, sensoriales, de inocuidad y servicios. La inocuidad hace referencia a ausencia de contaminantes, adulterantes y cualquier agente negativo para la salud, un alimento inocuo no es dañino para el ser humano, y también se puede decir que es seguro. En el presente trabajo se realiza un análisis más profundo de estos conceptos, los peligros para la inocuidad de los alimentos, los factores que alteran la calidad así como los programas y sistemas de aseguramiento de la calidad que podemos implementar en las cadenas agroalimentarias para ofrecer al consumidor alimentos inocuos y satisfacer la demanda actual.

Seguridad alimentaria

Al hablar de seguridad alimentaria existen dos conceptos diferentes que se pueden llegar a confundir, principalmente al realizar una traducción inglés - español, uno de ellos trata del derecho que tiene el ser humano a una alimentación adecuada en inglés se emplea el término “Food Security” y podríamos referirnos a él cómo Seguridad de Abastecimiento Alimentario (SAA), y el otro concepto hace referencia a la higiene, en inglés “Food Safety” y en español lo podemos llamar Seguridad Sanitaria Alimentaria (SSA). Ambos términos se suelen traducir de la misma manera, seguridad alimentaria, y al leer o escribir un artículo en español es necesario tomar en cuenta el contexto para evitar confusiones (Ver figura 1). Ambos son conceptos relacionados, pero, podemos decir que lo primero es disponer del alimento (SAA) y posteriormente exigir las condiciones de inocuidad, higiénico-sanitarias adecuadas (SSA) (Briz 2004).

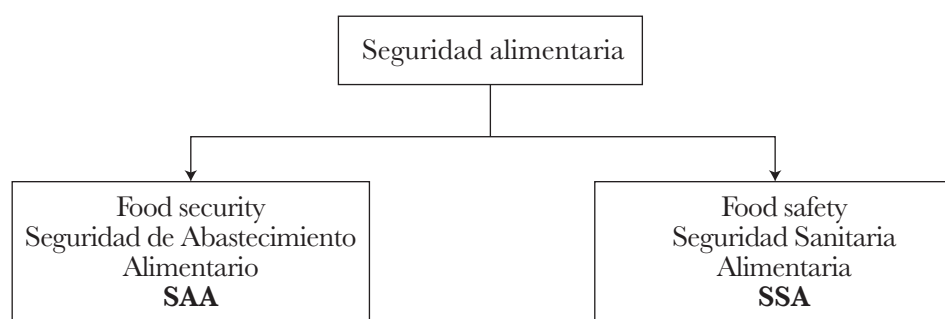


Figura 1. Seguridad alimentaria. Fuente: elaboración propia.

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, en La Cumbre Mundial sobre la Alimentación de 1996 estableció que “La seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana”(FAO 2015). Ésta es la definición aceptada de manera internacional en materia de Seguridad Alimentaria. La definición plantea cuatro dimensiones primordiales de la seguridad alimentaria: la disponibilidad física de los alimentos, el acceso económico y físico a los alimentos, la utilización de los alimentos, la estabilidad en el tiempo de las tres dimensiones anteriores. Para que puedan cumplirse los objetivos de seguridad alimentaria deben realizarse simultáneamente las cuatro dimensiones. (FAO 2011).

Para avanzar hacia la consecución de las metas relativas a la seguridad alimentaria y la nutrición, es preciso que haya alimentos disponibles, que éstos sean accesibles y que su cantidad y calidad sean suficientes para garantizar buenos resultados nutricionales. Una nutrición adecuada contribuye al desarrollo humano, ayuda a las personas a desarrollar su potencial al máximo y aprovechar las oportunidades que ofrece el proceso de desarrollo (FAO, FIDA y PMA. 2015)

El tema del abasto de los alimentos es de suma importancia, y compete en gran medida a los gobiernos de los países y a las organizaciones internacionales, pero no menos importante es el asunto de que estos alimentos sean inocuos y de buena calidad.

El comercio internacional hace más fácil el abasto de alimentos frescos y procesados, pero se requiere de políticas y normas para que exista una seguridad sanitaria alimentaria, de lo contrario podríamos transportar alimentos con patógenos y sustancias nocivas para la salud y diseminar enfermedades transmitidas por alimentos, tema que preocupa a todos los países y del cual se ha ocupado en la Organización Mundial de la Salud, y en México la Secretaría de Salud.

Las interconexiones de las actuales cadenas alimentarias mundiales hacen que los patógenos presentes en los alimentos se transmitan más ampliamente y a mayores distancias, aumentando la frecuencia de las enfermedades transmitidas por los alimentos y el número de lugares afectados por ellas. La rápida urbanización existente en todo el mundo también aumenta los riesgos, puesto que los habitantes de las zonas urbanas consumen más comidas preparadas fuera de casa, que pueden ser manipuladas o preparadas de manera inadecuada y entre las que se incluyen los alimentos frescos, los pescados, las carnes y las aves (OMS 2009)

El tránsito de alimentos representa grandes desafíos, el aplicar y hacer cumplir las normas sanitarias a los productores, exportadores e importadores de alimentos ha provocado que se vean los esfuerzos por asegurar la inocuidad y calidad alimentaria como una barrera al comercio, por esto es necesario redoblar esfuerzos no solo para hacer cumplir las normas, sino para dar información y capacitación a los productores, para que les sea posible y fácil implementar programas de SSA y también disfruten de los beneficios que esto conlleva.

Factores que afectan la calidad de los alimentos

La calidad es un concepto que se ha ido transformando con el paso del tiempo, al igual que su medición, control y gestión. En la actualidad se considera que un producto es de calidad cuando satisface las necesidades del cliente, pero en el caso de los alimentos esto no es suficiente, también se debe cumplir con las normas y legislación vigente, para asegurar la inocuidad y calidad.

De las características de los alimentos se pueden señalar los siguientes atributos de la calidad: Nutricionales, se refiere a la aptitud de los alimentos para satisfacer las necesidades de energía y nutrientes del ser humano; sensoriales, se corresponde con las características organolépticas del alimento como la apariencia, el olor, color, textura y sabor; servicios, está relacionada con características del alimento como su presentación, el empaque, la facilidad para su elaboración o empleo, la disponibilidad en el mercado, entre otros y la inocuidad. Este último atributo es considerado un requisito básico de la calidad que implica la ausencia de contaminantes, adulterantes, toxinas y cualquier otra sustancia que pueda hacer nocivo el alimento para la salud, o bien unos niveles inocuos o aceptables de los mismos (Mercado 2007).

Los alimentos pueden sufrir modificaciones durante su elaboración, manipulación, almacenamiento y transporte, de tal forma que puedan ser adecuados o inadecuados para su consumo al presentar contaminaciones o alteraciones que pueden ser físicas, biológicas o químicas.

Existen diversos factores que pueden alterar la calidad de los alimentos, entre ellos el contacto con personas, agentes del medioambiente, utensilios y maquinaria, procedimientos mal aplicados, instalaciones inadecuadas. Se debe vigilar la calidad integral del alimento, no solamente la sanitaria, es importante cuidar desde el empaque, las campañas publicitarias, la elaboración, hasta la atención al cliente final, cada uno de estos aspectos contribuye a la calidad final al alimento.

Es necesario tener el enfoque de la calidad total en la empresa, ya sea productor agropecuario, industria de transformación o de servicios, se debe implementar la calidad total, de esta manera cada uno de los actores involucrados en la empresa coadyuva a cumplir con las políticas y objetivos de calidad, no solo los empleados que tocan los alimentos. En el caso de una industria procesadora de alimentos, es indispensable que los proveedores y transportistas también cumplan con los estándares necesarios de calidad, e inclusive los comercios que venden los productos al consumidor final, de no ser así, se podría elaborar un alimento de calidad y no llegar así al consumidor.

Peligros para la inocuidad de los alimentos

En el tema de producción, elaboración y manipulación de alimentos, la inocuidad es un componente esencial de la calidad total. En las industrias alimentarias, la inocuidad de los productos debe considerarse sin ninguna duda, la prioridad máxima. Que un alimento sea inocuo es frecuentemente uno de los requisitos no escritos incluido en muchas de las especificaciones de los clientes. Esto es evidente y no es negociable, a diferencia de otras características del producto (como el aspecto, el sabor o el costo). Los consumidores demandan y confían en que la inocuidad esté presente en todo tipo de alimento, sea manufacturado,

mínimamente procesado, o fresco y la industria agroalimentaria tiene la responsabilidad legal y moral de cumplir con esas expectativas (Arispe 2007).

En los últimos años esta responsabilidad se ha hecho extensiva a manipuladores de alimentos como restauranteros y servicio de comedores industriales y hospitalarios, así como a transportistas y cualquier involucrado en la cadena agroalimentaria. Un alimento inocuo es aquel que no es dañino para el ser humano, por lo que debe tener características de composición química, estructura física y extrema limpieza para que cumpla con su cometido. Existen diversos peligros para los alimentos que pueden hacerlo perder su carácter de inocuo, los podemos clasificar de la siguiente manera:

Peligros físicos. Pueden ser piedras, trozos de madera, de vidrio, de plástico, virutas de metal, fibras, cabellos, huesos, piezas de máquinas, efectos personales o cualquier materia extraña al alimento que pueda estar presente

Peligros químicos. Se consideran contaminantes químicos aquellos que no deben estar presentes según la composición del alimento fresco o procesado, como residuos de detergentes y otros limpiadores, reactivos químicos, residuos de medicamentos, de fertilizantes, plaguicidas, toxinas, uso excesivo o ilícito de aditivos, gases. Las sustancias químicas contaminantes pueden ser añadidas o producirse en el alimento como resultado de un mal procesamiento o almacenamiento.

Peligros biológicos. Lo constituyen insectos, roedores, protozoarios, virus, bacterias, hongos. Algunos de estos son causantes de alteraciones en alimentos como fermentación y putrefacción, pero también podemos encontrar patógenos que son organismos capaces de producir enfermedades en el ser humano, lo cual tiene gran importancia hablando de salud pública.

Entre los casos documentados se tienen brotes por *E. coli* y *Salmonella*, pero aplicando correctamente técnicas de higiene y conservación de alimentos podemos reducir el riesgo, sin embargo existen patógenos tales como *Campylobacter jejuni*, *Vibrio parahaemolyticus* y *Yersinia enterocolitica*, que pueden adaptarse a condiciones usuales de conservación, como el almacenamiento en refrigeración. Estos patógenos, aunque conocidos con anterioridad, son ahora considerados «emergentes», ya que tienen actualmente una mayor incidencia dado el alto consumo de alimentos refrigerados. Otros patógenos como *Listeria monocytogenes* y *Clostridium botulinum* han vuelto a surgir debido a nuevas formas de elaboración y envasado de alimentos de alto riesgo (Arispe 2007). En cuanto a los organismos genéticamente modificados (OGM), existe el debate de si son nocivos para la salud o no, así que no está claro si se les debe considerar como un peligro. Y por último los alérgenos, éstos pueden ser sustancias inocuas para unas personas y mortales para otras, así que no se puede impedir su uso pero si se ha venido regulando en el etiquetado.

Contaminación en la cadena agroalimentaria

La cadena agroalimentaria es un conjunto de acciones y actores que intervienen y se relacionan técnica y económicamente desde la actividad agrícola primaria hasta la oferta al consumidor final, incorporando procesos de empaque, industrialización o transformación y de distribución (IICA, 2005). La cadena agroalimentaria puede representarse de forma lineal iniciando en la producción

de alimentos en el campo, posteriormente se lleva a cabo actividades de transformación, seguido de distribución y comercialización, pero hay que tomar en cuenta el abasto de insumos, y todos los servicios que se pueden ver involucrados (ver Figura 2).

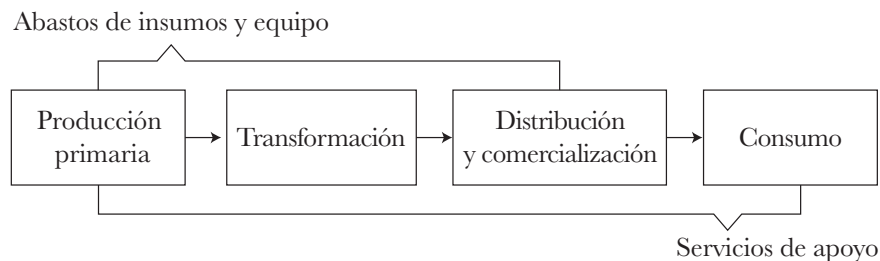


Figura 2. Cadena Agroalimentaria. Fuente: elaboración propia.

Los alimentos pueden contaminarse en cualquier eslabón de la cadena que va desde la producción hasta el consumo. Todos los participantes en la cadena de suministro deben tomar medidas para mantener la inocuidad de los alimentos, desde el productor hasta el consumidor, pasando por el procesador y el vendedor. La manipulación en el hogar es igualmente imprescindible para prevenir brotes de enfermedad (OMS 2009).

En el primer eslabón de la cadena tenemos la producción primaria, que puede ser agrícola, pecuaria o acuícola, ésta produce alimentos frescos para consumo y suministra materias primas para la industria, es responsabilidad del productor emplear las Buenas Prácticas Agrícolas y observar las normas vigentes nacionales o internacionales en caso de ser exportador, pero también la industria debe exigir materias primas de calidad e inocuas. La contaminación puede proceder del agua, suelo, aire y el contacto con personas y animales. Si en esta primera etapa se presenta una contaminación inicial de los alimentos existe riesgo para la salud de los consumidores de productos frescos y en la industria será más difícil elaborar alimentos inocuos.

El proceso de transformación de los alimentos en una industria es una etapa en la cual las materias primas si han sido bien seleccionadas no deben estar altamente contaminadas y mediante los procesos de conservación de alimentos se reducen o eliminan la mayoría de los microorganismos, y se protege al producto de futura contaminación, mediante empaques y almacenamiento apropiado, pero si estos procesos de fabricación no son bien empleados, si ocurre alguna falla del equipo, personal o proceso, puede llevar a tener alimentos de mala calidad cuya inocuidad se encuentre comprometida. La contaminación puede darse por el contacto con el personal, el equipo o maquinaria, sustancias químicas, y también la llamada contaminación cruzada que ocurre cuando se ponen en contacto alimentos inocuos con alimentos crudos o contaminados. Es indispensable implementar un sistema de control de la calidad.

En el tercer eslabón de la cadena se encuentra la distribución y comercialización, en esta etapa se deben vigilar las buenas prácticas de transporte y almacenamiento, una situación negativa que puede ocurrir es, cuando se rompe la cadena de frío para alimentos refrigerados o congelados, provocando que en éstos al no ser estériles, se reproduzcan los microorganismos existentes y cuando el consumidor adquiera su alimento éste ya no será inocuo.

Otra actividad importante es monitorear los productos en el punto de venta para retirar alimentos caducos o con empaques rotos y no debe ser responsabilidad solo del comercio sino de la empresa que lo fabrica ya que el consumidor considera este aspecto como una característica de calidad de la empresa o marca que fabrica el alimento, no de la tienda.

En el último eslabón de la cadena se encuentra el consumidor o usuario final, y es responsabilidad suya transportar y almacenar los alimentos adquiridos en condiciones adecuadas pero es un problema de salud pública el que no lo haga. Los alimentos envasados deben tener etiquetas con información clara acerca de cómo deben almacenarse, rangos de temperatura y humedad, y una fecha para su consumo, sin embargo por una cuestión cultural existen consumidores que no respetan estas indicaciones poniendo en riesgo su salud. Además de los eslabones principales de la cadena, deben considerarse el abasto de los insumos y los servicios de apoyo, ambos pueden facilitar la contaminación o la inocuidad de los alimentos, para esto se debe elegir empresas que demuestren responsabilidad por la inocuidad y calidad alimentaria.

Aseguramiento de la inocuidad

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) crearon, en los años sesenta, una normativa internacional llamada Codex Alimentarius, cuya finalidad es garantizar alimentos inocuos y de calidad a todas las personas y en cualquier lugar (Codex Alimentarius 2015) mediante sus directrices que han sido adoptadas por muchos países, y en años más recientes se han creado otras normas, programas y sistemas para asegurar la inocuidad y calidad de los alimentos como las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), Buenas Prácticas de Manufactura, (BPM), Procedimientos Estandarizados de Saneamiento (POES), el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de control, (APPCC o HACCP, siglas en inglés), y la norma ISO 22000.

En México existen dos agencias principales que se encargan de la inocuidad de los alimentos tanto frescos, como procesados. Dichas agencias son responsabilidad de dos secretarías de estado, la Secretaría de Salud (SSA) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). La SSA se encarga de los aspectos de inocuidad a través de la Comisión Federal para la Prevención de Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), y la SAGARPA se encarga de los aspectos de inocuidad a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) (FAO 2005). Estas agencias han desarrollado Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que son de observancia obligatoria, para determinar la inocuidad de los alimentos y las prácticas agrícolas, sin embargo es de todos conocido que en el país se comercializan alimentos, en su mayoría de manera informal, que no cumplen con estas normas.

Las BPA, BPM y POES se han implementado por productores y empresas que quieren mejorar o asegurar la calidad de sus productos, en ocasiones con fines de exportación, ya que en el extranjero se solicita que apliquen estos procedimientos para tener la certeza de que adquieren alimentos inocuos. En los últimos años se ha empezado a solicitar que la empresa productora de alimentos

cuenta con certificaciones de calidad, entre ellas la más solicitada es HACCP o APPCC como se le conoce en español y algunas industrias se están preparando en la norma ISO 22000.

El sistema de APPCC, que se aplica a la gestión de la inocuidad de los alimentos, tiene fundamentos científicos y carácter sistemático, establece siete principios (ver figura 3) que contemplan identificar los peligros específicos y las medidas necesarias para su control, con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos, se realizan acciones correctivas y de comprobación del sistema además de un proceso de documentación. El APPCC se basa en la prevención, en vez de en la inspección y la comprobación del producto final. Este sistema puede aplicarse en toda la cadena alimentaria, desde el productor primario hasta el consumidor. Además de mejorar la inocuidad de los alimentos, la aplicación del APPCC conlleva otros beneficios como: un uso más eficaz de los recursos, ahorro para la industria alimentaria y el responder oportunamente a los problemas de inocuidad de los alimentos. El APPCC aumenta la responsabilidad y el grado de control de los fabricantes de alimentos. En efecto, un sistema de APPCC bien aplicado hace que los manipuladores de alimentos tengan interés en comprender y asegurar la inocuidad de los alimentos, y renueva su motivación en el trabajo que desempeñan. (FAO 2002). El sistema APPCC es el predilecto para el aseguramiento de la inocuidad y calidad alimentaria.

Principios del Sistema de APPCC

1	Realizar un análisis de peligros
2	Determinar los Puntos Críticos de Control (PCC)
3	Establecer los límites críticos
4	Establecer un sistema de monitoreo de los PCC
5	Establecer medidas correctivas
6	Establecer procedimientos de comprobación
7	Establecer un sistema de documentación

Figura 3. Principios del sistema APPCC. Fuente: elaboración propia.

ISO 22000 es una Norma Internacional que incorpora los principios del APPCC y los programas prerrequisito como BPA, BPM y POES dentro de un sistema de gestión del tipo ISO 9001, y se puede establecer en cualquier etapa de la cadena agroalimentaria. Industrias de alimentos que ya cuentan con la certificación ISO 9001 y APPCC pueden incorporar fácilmente la norma ISO 22000.

En México se han establecido sellos de certificación, entre éstos se encuentra México calidad suprema, Certificación tipo inspección federal y México GAP (Good Agricultural Practice). Los sellos de certificación promueven el consumo de alimentos sanos, de la más alta calidad y que contribuyen a una buena alimentación. Además constituyen un sistema reconocido mundialmente como sinónimo de calidad, inocuidad, higiene y buenas prácticas en el

sector agroalimentario mexicano (SAGARPA, 2015). El Distintivo “H”, es un reconocimiento que otorgan la Secretaría de Turismo y la Secretaría de Salud, a aquellos establecimientos fijos de alimentos y bebidas: (restaurantes en general, restaurantes de hoteles, cafeterías, fondas etc.), por cumplir con los estándares de higiene que marca la Norma Mexicana NMX-F605 NORMEX 2004 para reducir las ETA en turistas y mejorar la imagen de México en el extranjero (SECTUR, 2015).

Para asegurar la inocuidad de los alimentos es muy importante la trazabilidad que se entiende como el rastreo del producto, se refiere a la metodología que permite conocer la evolución histórica de la situación y trayectoria que ha seguido un producto o lote de productos a lo largo de la cadena alimentaria. Tiene un enfoque integral, desde el consumidor al productor (trazabilidad ascendente), o en sentido contrario, del productor al consumidor (trazabilidad descendente) (Briz, 2014). Para lo cual es necesario rotular o identificar los productos con etiquetas, códigos de barras, etc., y mantener un sistema documentado, esto facilita el retiro de productos de vigencia vencida, alterados o no seguros para su consumo, y ha resultado ser de suma importancia para evitar o contener brotes de ETA.

Conclusiones

En la actualidad existe una gran demanda de alimentos frescos, procesados y mínimamente procesados, pero es necesario que estos productos sean seguros para el consumidor. La inocuidad y calidad alimentaria deben ser temas prioritarios para agricultores e industriales, porque además de reducir el riesgo de brotes de ETA, pueden posicionar mejor sus productos y tener mayores ganancias. En México ya se emplean las BPA, BPM, POES y el sistema APPCC para asegurar la inocuidad y calidad alimentaria, lo cual se puede aplicar a lo largo de toda la cadena agroalimentaria y tiene la ventaja de reducir costos y pérdidas en la producción, además que pone a los productores y empresarios mexicanos la altura del mercado internacional. Aún hay trabajo que hacer para mejorar la cultura por la inocuidad, pero vamos por buen camino.

Bibliografía

- Arispe, I. y Tapia, M. S. (2007) Inocuidad y calidad: requisitos indispensables para la protección de la salud de los consumidores. *Revista Agroalimentaria*, vol. 13, núm. 24, enero-junio, 2007, pp. 105-117 Universidad de los Andes Mérida, Venezuela. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199216580008>
- Briz, J. y de Felipe, I. (2004). Seguridad alimentaria y trazabilidad. Universidad Politécnica de Madrid. ETSI Agrónomos 28040 Madrid. España. Disponible en: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/5063/briz.pdf>
- Codex Alimentarius. (2015). Organización Mundial de la Salud OMS, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO,. Disponible en: <http://www.codexalimentarius.org/about-codex/es/>

- Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura, IICA (2005). Cadenas Alimentarias, políticas para la competitividad. Revista Comunica Edición N° 3 2005. Disponible en: <http://www.iica.int/Esp/prensa/Comuniica/Comuniica/2005/n3-esp/n3.aspx>
- Jiménez, E. M. y Chaidez, Q. C. (2013). La inocuidad de los alimentos en México. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012, SAGARPA-SEDESOL-INSP-FAO
- Mercado, C. E. (2007). Los ámbitos normativos, la gestión de la calidad y la inocuidad alimentaria: una visión integral. Revista Agroalimentaria, vol. 13, núm. 24, enero-junio, 2007, pp. 119-131. Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=199216580009>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO (2005). Conferencia Regional FAO/OMS sobre Inocuidad de los Alimentos para las Américas y el Caribe. Sistemas nacionales para la inocuidad de los alimentos en México –Análisis de la situación. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/010/afl79s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO (2015). Cumbre Mundial Sobre la Alimentación 1996. Depósito de documentos de la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x2051s/x2051s00.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Fondo internacional de desarrollo agrícola FIDA y Programa Mundial de Alimentos PMA. 2015. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2015. Cumplimiento de los objetivos internacionales para 2015 en relación con el hambre: balance de los desiguales progresos. Roma, FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/publications/en/>
- Organización Mundial de la Salud, OMS (2009). 10 datos sobre la inocuidad de los alimentos. Disponible en: http://www.who.int/features/factfiles/food_safety/facts/es/
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (2002). Sistemas de calidad e inocuidad de los alimentos – manual de capacitación. Grupo Editorial Dirección de Información de la FAO. Roma.
- Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, SAGARPA (20015). México produce. Sellos de confianza. Disponible en: <http://www.mexicoproduce.mx/sellos.html>
- Secretaría de turismo, SECTUR. (2015). Distintivo H. Disponible en: <http://www.sectur.gob.mx/tramites-y-servicios/certificacion-turistica/distintivo-h/>

Germinación y aptitud agronómica de cuatro ecotipos de chile piquín (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) en el Sur de Tamaulipas

Germination and agronomical fitness for four ecotypes of wild chilli (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) in the south of Tamaulipas

*Epifanio Mireles-Rodríguez¹⁴

Rolando Salazar-Hernández

Hermilo Lucio-Castillo

Clarisa Pérez Jasso

Sergio Castro-Nava¹⁵

Norma Leticia Moctezuma-Balderas

Resumen

¹⁴Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica Multidisciplinaria Mante. *Contacto: epimireles@uat.edu.mx

¹⁵Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Ingeniería y Ciencias. Centro Universitario Adolfo López Mateos. Ciudad Victoria, Tamaulipas

Evaluar el porcentaje de germinación y la aptitud agronómica expresado en la longitud de plántula en cuatro colectas silvestres de chile piquín (*Capsicum annum* var. *aviculare*) procedentes de Ocampo, El Chamal, Jaumave y Tula, Tamaulipas. Se realizó una caracterización preliminar de las semillas considerando el peso de la semilla, número de frutos por semilla y peso individual de la semilla. Los resultados indican que los biotipos de Ocampo y Chamal obtuvieron el mayor número de semillas por fruto en el análisis de caracterización de fruto. El morfotipo de Ocampo logró romper la latencia de la semilla a los 17 días después de la siembra, esto se generó con 6 minutos de exposición a 50° C de hidrotermia y con 5 000 ppm de AG₃. El tratamiento de la semilla con 5000 ppm promovió una mayor germinación, a su vez que incrementó notablemente el crecimiento inicial y final de las plantas en el semillero. Los biotipos de Ocampo y Jaumave, Tamaulipas obtuvieron el mejor desempeño en la germinación y aptitud agronómica de las plántulas en el semillero.

Abstract

The objective was to evaluate the percentage of germination and agronomic suitability expressed in seedling length of four collections wild chili powder (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) collections of Ocampo, El Chamal, Jaumave and Tula, Tamaulipas were evaluated. Was carried out a preliminary characterization of the seeds considering the seed weight, number of fruits per single seed and seed weight. Furthermore, the results indicate that biotypes and Chamal Ocampo obtained the largest number of seeds per fruit in the fruit characterization analysis. On the other hand, the morphotype Ocampo managed to break the seed dormancy at 17 days after planting, it was built with six minutes of exposure to 50° C hidrotermia and 5 000 ppm AG₃. The seed treatment with 5000 ppm promoted greater germination, which in turn significantly increased the initial

and final growth of plants in the nursery. In this sense biotypes and Jaumave Ocampo, Tamaulipas they obtained the highest performance and agronomic suitability germination of seedlings in the nursery.

Introducción

El chile silvestre es considerado el ancestro original de los chiles que se comercializan en la actualidad como híbridos y variedades. Su importancia radica en sus bondades organolépticas, principalmente por su pungencia, sabor, olor y que su consumo no irrita el tracto digestivo (Montes et al., 2006). Esta especie se encuentra distribuida de manera silvestre y abundante en el noreste de México, en Nuevo León y Tamaulipas, pero también crece en Veracruz, Tabasco, Campeche, San Luis Potosí, Quintana Roo, Yucatán, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Colima, Sinaloa, Sonora, Coahuila e Hidalgo (Medina et al., 2005). El fruto, que se comercializa en estado fresco, seco y encurtido, proviene de recolecciones que se realizan en zonas montañosas de forma estacional, después del periodo de lluvias ya que no existen siembras comerciales por carecer de tecnologías de producción adecuadas principalmente por la baja germinación provocada por la latencia de la semilla (Rodríguez, 2004).

El chile piquín es preferido por el consumidor, siendo favorable para la economía del país (Montes et al., 2006), su precio en el mercado resulta atractivo comparado con los chiles serranos y jalapeños, pues llega a superar hasta 40 veces su precio en el mercado nacional y el 100% en los mercados especializados de productos orgánicos. Dada la naturaleza silvestre de esta especie, su fruto se obtiene por recolección en el campo y no de plantaciones comerciales, lo que podría amenazar su diversidad genética. Algunos esfuerzos aislados por promover la siembra de esta especie para obtener mejores rendimientos y calidad de fruto se han realizado, pero la baja tasa de germinación de sus semillas (Hernández-Verdugo et al., 2010; Medina-Martínez et al., 2002; Medina-Martínez et al., 2010) ha dificultado su domesticación, lo que se le ha atribuido a la impermeabilidad y dureza de la cubierta seminal, a la baja permeabilidad del endospermo y a una latencia profunda del embrión (Bañuelos et al., 2008; Araiza et al., 2011), aún en condiciones que favorecen la germinación de semillas ortodoxas.

La latencia de la semilla es influenciada por factores como la morfología, color y tamaño de fruto, así como la temperatura, altitud, latitud, tipo de suelo, entre otros (Wall et al., 2002), por lo que aún se le considera una especie de difícil propagación. Estudios indican que la germinación de la semilla sin precondicionamiento no rebasa el 10% y que el mejor tratamiento para lograr el 50% de germinación es el tratamiento con 5000 ppm de ácido giberélico (INIFAP, 2011). Rodríguez-Del Bosque (2003) menciona que la baja germinación en condiciones naturales es inferior al 5%. Ramírez-Meraz, (2001) logró incrementarla en 80% en pruebas con ácido giberélico a 5 000 ppm. Lo anterior, se debe a la cera epicuticular y una capa externa dura que contiene la semilla evitan la absorción de agua (Besnier 1989, Rodríguez-Del Bosque 2003); esto favorece la supervivencia de la especie en su hábitat natural, ya que aunque exista humedad, no todas las semillas germinan a la vez; sin embargo, es una limitante para el establecimiento en explotaciones comerciales. (Almanza, 1993, Ramírez-Meraz, 2001, Rodríguez-Del Bosque 2003). Las semillas recién cosechadas de algunas variantes de: *C. annum*, *C.*

frutescens, *C. chacoense*, *C. chinense*, *C. baccatum* y *C. pubescens*; pueden mostrar latencia y se requieren alrededor de 6 semanas después de cosechadas para remover dicha latencia, entre ellas la variedad *minimum* (Randle y Honma, 1980).

Para mejorar la germinación, en otras especies y géneros se han utilizado tratamientos químicos, debido a las ventajas que ofrecen, como facilidad y costos relativamente bajos de aplicación, inclusive en lotes grandes de semilla (Shim et al., 2008). Existen diferentes métodos y técnicas para romper la latencia de semillas de *Capsicum sp.*, entre ellas; prelavado: 5 h, 21°C y presecado 22° C, 32°C, 37° (Watkins y Cantliffe 1983a), luz incandescente e infrarroja, nitrato de potasio al 0.2%, ácido indolacético a 1000 ppm (Watkins and Cantliffe 1983a), ácido giberélico GA4/7 de 10-100 ppm (Watkins y Cantliffe 1983b), Kinetin: de 10-100 ppm y remoción de las estructuras de la cubierta (Watkins y Cantliffe 1983b). Los tratamientos químicos de acondicionamiento metabólico más utilizados en semillas de especies hortícolas se hacen con los compuestos: peróxido de hidrógeno (H₂O₂; Flores et al., 2008), nitrato de potasio (KNO₃; Jarma et al., 2007; Marín et al., 2007; Andrade-Rodríguez, 2008) y ácido giberélico (AG₃; Magnitskiy y Ligarreto, 2007; García et al., 2010; Araiza et al., 2011). Mediante inmersión de semillas en una solución acuosa de AG₃, a 5 000 ppm por 24 h, Ramírez (2008) logró incrementar de 8 a 82% la germinación de dos poblaciones silvestres de chile piquín provenientes del centro de Tamaulipas.

Los mecanismos de acción de cada tratamiento de acondicionamiento de semillas no se conocen en detalle; sin embargo, se han postulado algunas teorías. Por ejemplo, Ogawa e Iwabuchi (2001) propusieron que la degradación del H₂O₂ activa mecanismos de recolección de moléculas de oxígeno que pueden ser utilizadas para la respiración mitocondrial. Shim et al., (2008) sugirieron que el KNO₃ promueve la reparación metabólica de tejidos y el aumento de respiración, con lo cual se mejora la tasa de crecimiento y la germinación. Según Chen y Bradford (2000), el AG₃ es una fitohormona que activa proteínas que degradan el endospermo de la semilla, lo que permite la movilización de reservas del endospermo al embrión. De acuerdo con Richards et al. (2001), el AG₃ actúa directamente sobre genes que limitan la germinación. Los tratamientos de acondicionamiento metabólico no son universales para todas las especies, por lo que pueden funcionar para algunas especies de un género, pero no necesariamente funciona para todas. Por tal motivo, esta investigación comparó diversas colectas de chile piquín en cuanto a capacidad germinativa de las semillas, de tal forma que se determinará si la escasa germinación de las semillas de chile piquín se debe a una restricción morfológica que limite la absorción de agua durante la imbibición (latencia física), o se debe a algún tipo de latencia fisiológica que pueda ser rota mediante tratamientos de pre-acondicionamiento.

Ramírez-Meraz (2008), recomienda el uso de AG₃ a 5 000 ppm, para inducir la germinación uniforme de la semilla de chile piquín; con el siguiente procedimiento: se realiza la inmersión la semilla en esta solución durante 24 horas a una temperatura de 25 a 30° C; la semilla se extrae de la solución, se enjuaga con agua y se pone a secar para facilitar su siembra. El tratamiento a la semilla debe realizarse de preferencia 72 horas antes de la siembra. Las giberelinas, tienen un sinnúmero de efectos sobre el desarrollo vegetal; como estimular el rápido crecimiento de tallos, inducir divisiones mitóticas en las hojas de algunas especies,

e incrementan la tasa de germinación de la semilla. Otro método recientemente utilizado como promotor de la germinación, es la inmersión de la semilla en agua caliente (hidrotermia), la cual se utiliza comúnmente como técnica fitosanitaria, pero que ha favorecido una mayor germinación, combinada con AG₃ a un bajo costo pero con resultados inconsistentes (Carter y Vavrina 2000). En la presente investigación se planteó el siguiente objetivo: evaluar la germinación y la aptitud agronómica de cuatro colectas de chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. *aviculare*), mediante el uso combinado de las técnicas de hidrotermia y tratamiento con ácido giberélico en condiciones de laboratorio e invernadero.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en los invernaderos propiedad de la Unidad Académica Multidisciplinaria Mante-Centro en el Municipio de El Mante, Tamaulipas; ubicado en los paralelos 22° 44' de latitud norte y 98° 58' de longitud oeste, a una altura de 80 m. El municipio en su mayoría tiene un relieve uniforme con uso del suelo principalmente agrícola y ganadero. Las diferentes unidades de suelo son litosol con redzina de textura fina, vertisol pélico de textura pesada y textura fina.

Colectas de chile piquín. Se utilizaron frutos secos de chile piquín obtenidos de recolecciones provenientes de San Carlos, Jaumave, Ocampo y el Chamal, Tamaulipas. Las semillas se obtuvieron de colectas manuales hechas en el mes de octubre del 2013 de diferentes zonas serranas con matorral bajo espinoso y sub montañoso, cosechando frutos maduros en el árbol a punto de desprenderse de la planta madre. A continuación se describen las características climáticas de cada localidad donde se realizaron las colectas.

San Carlos, Tamaulipas. El sitio de colecta fue en la cabecera municipal la cual se encuentra a los 24° 31' latitud norte y a una altitud de 432 metros sobre el nivel del mar. El municipio se localiza en plena Sierra de San Carlos, el clima es semiárido y extremoso con temperatura que varían entre los 6° C y los 45° C; con frecuentes heladas invernales en las partes elevadas.

Jaumave, Tamaulipas. El origen de la colecta fue el ejido San Antonio, el cual se localiza a 23° 25' de latitud norte y 99° 23' longitud oeste. El clima es semicálido subhúmedo con lluvias en verano, en la zona norte cambia a templado subhúmedo con lluvias en verano y en el extremo noroeste, el más elevado, a subfrío subhúmedo con lluvias en verano, temperatura de 18 a 20° C en la zona central y sur del territorio, el noreste tiene un promedio entre 20 y 22° C, al oeste 16 a 18° C en la zona más elevada es inferior a 12° C; la precipitación es inferior a los 500 mm anuales.

Ocampo, Tamaulipas. Está situado al suroeste del estado de Tamaulipas, localizado entre los paralelos 22° 50' de latitud norte y a los 99° 22' de longitud oeste; a una altura de 340m sobre el nivel del mar, colinda al norte con Jaumave. El clima semicálido con fuertes lluvias en verano con una precipitación pluvial de 800 mm anuales, la temperatura promedio es de 23° C.

Chamal, Tamaulipas. Esta localidad se encuentra en la latitud norte a 22° 08" y longitud 99° 02" de longitud oeste a una altura de 144 msnm colinda al norte con Jaumave y al sur con El Mante, el clima es semicálido con fuertes precipitaciones en verano que van de los 800 a 1200 mm anuales y cuanta con una temperatura promedio de 23.5°C y una mínima de 15°C.

Tratamiento de la semilla y caracterización de frutos. Una vez cosechada y seleccionada la semilla del lugar de la colecta, ésta se trasladó a las instalaciones de la UAM-MANTE, en el laboratorio de suelos de la misma unidad, donde se conservó en refrigeración a 4° C durante noviembre de 2013. La preparación de la semilla consistió en la selección de frutos de tamaño uniforme y de buen aspecto fitosanitario para luego remover la pulpa con la ayuda de un tamiz metálico del número 2. Para evitar la proliferación de patógenos después de la selección de frutos y extracción de la semilla ésta se separó por colectas para hacer un lavado con agua corriente e hipoclorito de sodio al 10%; con el fin de eliminar el mucílago. Cada colecta se sumergió por 24 horas en agua corriente para la selección de semillas viables y vanas. Una vez seleccionadas, se realizaron diferentes tratamientos con agua caliente para cada colecta como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamiento de semilla de chile piquín (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) mediante hidrotermia en el Mante, Tamaulipas durante Enero de 2014.

Tratamientos	Origen de las colectas	Tiempo de exposición (min)	Temperatura (°C)
I	Ocampo	6	50
II	El Chamal	9	55
III	Jaumave	12	60
Testigo	San Carlos	0	0

Tras exponer la semilla a la hidrotermia, se dejó secar por 24 horas a temperatura ambiente. Una vez seca se procedió a aplicar tratamientos de preacondicionamiento con AG3 con el producto comercial Gibiotin® mediante las siguientes concentraciones para cada colecta (Tabla2) (Flores et al., 2008).

Tabla 2. Tratamiento de semilla de chile piquín (*Capsicum annum* var. *Aviculare*) de cuatro colectas hecha con AG₃ en el Mante, Tamaulipas.

Tratamientos	Origen de las colectas	Partes por millón de AG ₃	Dosis de producto comercial (g)
I	Ocampo	5 000	0.73
II	El Chamal	9 000	1.3
III	Jaumave	13 000	1.90
Testigo	San Carlos	0	0

Siembra de las colectas y evaluación en campo. Para la siembra se emplearon charolas de unicel de 200 cavidades y como sustrato se utilizó Peat moss (Promix GTX®) a base de vermiculita y perlita, el cual se desinfectó con el fungicida sistémico carbendazim a dosis de 1.5 g por litro de agua. Se utilizaron dos charolas para cada colecta sumando un total de 400 cavidades sembradas por colecta. En cada orificio de la charola se colocó una semilla previamente tratada a una profundidad aproximada de 0.5 cm. Posteriormente se colocaron las charolas bajo sombra a una temperatura de 25° C y un periodo de 10 horas

luz y 14 horas de oscuridad. El aporte de agua se realizó de manera manual cada 72 h durante las primeras semanas hasta la emergencia de la plántula.

Variables respuestas evaluadas

Después de establecido el experimento el 10 de enero de 2014 y 15 días después de la siembra (DDS) se procedió a evaluar la germinación a nivel semanal. Para ello se tomaron las siguientes variables respuesta.

Germinación y altura de plántulas. Esta variable se determinó cuando comenzó la emergencia de la plúmula de la semilla a partir del 24 de enero de 2014 contando el número de plántulas emergidas por colecta y transformando los datos a porcentaje, posterior a la germinación se tomaron parámetros de crecimiento como altura de plantas y área foliar tomando un promedio de 30 plantas por charola. Para cuantificar estas variables se utilizó una regla graduada y se realizaron mediciones semanales de cada colecta desde la base de las plántulas hasta el extremo apical de las mismas.

Diseño experimental. El diseño experimental propuesto para la presente investigación fue al azar al no existir fuentes externas de variación en el invernadero ni en laboratorio. Se consideró para cada colecta un total de 300 plántulas por tratamiento con cuatro repeticiones y como unidad experimental se consideró 30 plantas emergidas.

Análisis de la información. Para el análisis de la información se utilizó el software Microsoft Excel 2007®, para calcular las medias de tratamiento y desviación estándar. El análisis de varianza se ejecutó mediante el programa estadístico SAS (SAS Institute®) con base al diseño experimental propuesto, además se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey con una $P\alpha \leq 0.05$ cuando hubo diferencias estadísticas entre medias de tratamientos.

Resultados y discusión

Análisis de caracterización de las colectas

El análisis de caracterización de las colectas evaluadas mostró que no existió variabilidad entre el peso del fruto y el peso de la semilla al no existir diferencias significativas, (Tabla 3).

Origen de las colectas	Peso fruto (g)	No. semillas por fruto	Peso de la semilla (g)
Ocampo	0.052 a	14 b	0.029 a
El Chamal	0.063 a	13 b	0.032 a
Jaumave	0.066 a	17 a*	0.029 a
San Carlos	0.053 a	12 b	0.030 a
C.V.	12.4	22.1	19.0

Tabla 3. Análisis de caracterización de las colectas evaluadas de Chile piquín en el sur de Tamaulipas.

C.V. Coeficiente de variación.

Valores con distinta literal por columna difieren estadísticamente entre sí para cada tratamiento a una $P\alpha \leq 0.05$.

El número de semillas por fruto presentó variabilidad para la localidad de Jaumave con diferencias significativas donde se obtuvieron 17 semillas. El resto de las localidades se mantuvieron homogéneas con promedios de 12 semillas para San Carlos, 13 para Chamal y 14 para Ocampo. Es posible inferir que esta diferencia

se debió quizás a que en la localidad de Jaumave y San Carlos existe más presión de la especie ya que los períodos de recolección se incrementan por la cercanía a los lugares de mercadeo como Ciudad Victoria. Aunado a las condiciones climáticas donde crecen bajo condiciones áridas con menos precipitación y más condiciones adversas.

Germinación

La germinación de semilla de chile piquín es regulada por hormonas, en particular por AG, pues al intervenir en enzimas hidrolíticas reblandecen el endospermo o la cubierta, inducen la movilización de reservas y estimulan la germinación (Bewley y Black, 1994). A continuación se presenta el análisis de la germinación y emergencia de las colectas evaluadas, donde se observa una tendencia a un menor periodo de latencia de la semilla en la localidad de Ocampo, Tamaulipas a través del tiempo, rompiendo la latencia el día 17 de la siembra. El día 25 después de la siembra germinó en el Chamal con 4.63%, seguido de Jaumave con apenas 0.69%, por último la localidad de San Carlos germinó el día 39 de la siembra. Este comportamiento coincidió con el porcentaje de germinación donde se observa que hubo una alta significancia estadística entre colectas, obteniendo los mayores porcentajes Ocampo y Chamal, seguido de Jaumave y por último San Carlos Tamaulipas. Con 75, 71, 20 y 0.66% respectivamente al día 54 del ensayo en campo (cuadro 4). Se puede corroborar que el tratamiento de la semilla con AG3 tuvo una influencia positiva al promover una mayor germinación en las colectas de Ocampo y Chamal obteniendo los máximos valores, esta tendencia se ha estudiado por (Hernández, 2004) quien obtuvo germinaciones similares con tratamientos de 400 a 5000 ppm de AG₃. Los resultados coinciden con la germinación obtenida por Ramírez-Meraz et al., (2003) empleando 5 000 ppm de AG y lograron 66 % de germinación, mientras que Hernández-Verdugo et al., (2006) encontraron mayor efectividad con 250 y 500 ppm de AG, con promedios de 46 y 43% de germinación en dos años de estudio. En contraste, el aumento en la concentración de AG disminuyó la germinación de Jaumave y San Carlos al obtener el 22 y 0.69 % al día 54 del estudio (Tabla 4).

Tabla 4. Días posteriores a la germinación y emergencia de plántulas de cuatro colectas de chile piquín en el 2014.

C.V. Coeficiente de variación. Valores con distinta literal por columna difieren estadísticamente entre sí para cada tratamiento a una $P \leq 0.05$.

Origen de las colectas	AG ₃ ppm	% de germinación					
		Día 17	Día 25	Día 32	Día 39	Día 46	Día 54
Ocampo	5 000	14.29	53.57	69.05	72.62 a	72.62 a	75.00 a
El Chamal	9 000	0.00	4.63	62.04	67.59 b	72.22 b	72.22 b
Jaumave	13 000	0.00	0.69	1.39	4.17 b	15.28 c	22.22 c
San Carlos	0	0.00	0	0.00	0.35 d	0.69 d	0.69 d
C.V.	34.66	44.43	22.1	11.22	11.21	10.14	21.44

Los resultados obtenidos por (Wall et al., 2002) coinciden con lo estudiado en el presente ensayo al tratar la semilla con AG₃ quienes indican que ayuda a aumentar la germinación y emergencia ya que su función es promover el crecimiento y la elongación celular, esta hormona estimula las células de la semillas germinantes

a producir moléculas, es una potente fitohormona que controla el desarrollo de la planta, las aplicaciones a bajas concentraciones pueden resultar con efectos muy favorables (Figura 1).

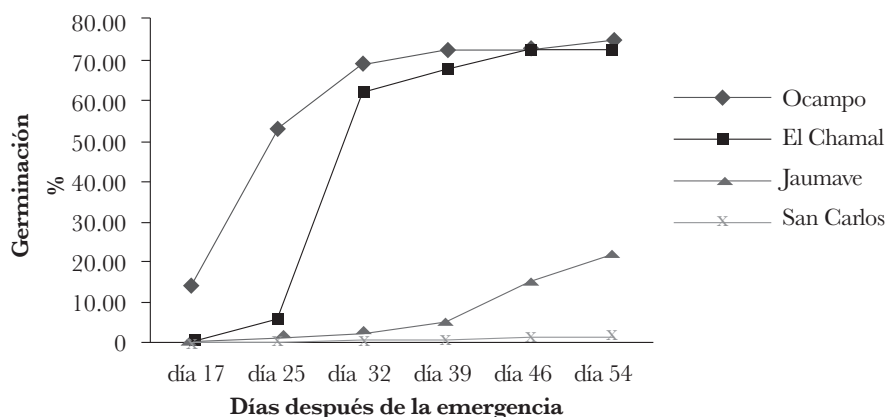


Figura 1. Porcentaje de germinación de cuatro colectas de Chile piñon en el sur de Tamaulipas durante 2014.

Crecimiento y aptitud agronómica de las colectas

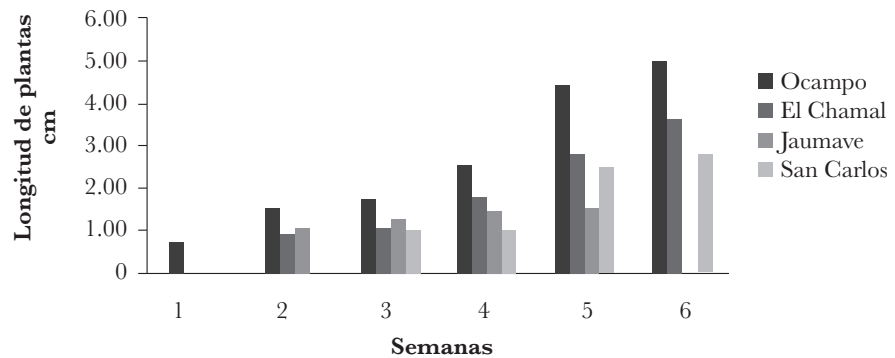
Al evaluar el crecimiento de plántulas, una vez concluido el proceso de germinación se estableció como factor de aptitud agronómica al crecimiento de las plántulas en invernadero. El análisis de varianza aplicado a los seis muestreos semanales indica que la colecta con una mayor aptitud agronómica coincide con el tratamiento hecho con AG_3 de 5 000 partes por millón al obtener una mayor tasa de crecimiento semanal al inicio y al término del estudio (1.71 cm y 5.01 cm respectivamente). Al parecer, el incremento en la dosis de AG_3 provoca la disminución del crecimiento de las plántulas recién emergidas al obtener una menor aptitud agronómica los tratamientos del Chamal, Jaumave y San Carlos, Tamaulipas (Tabla 5).

		Longitud de plántulas (cm)					
		Semanas					
Origen de las colectas	AG_3 ppm	1	2	3	4	5	6
Ocampo	5 000	0.71	1.53	1.72	2.55	4.45	5.01
El Chamal	9 000	0	0.90	1.07	1.79	2.80	3.66
Jaumave	13 000	0	1.05	1.28	1.50	1.54	3.80
San Carlos	0	0	0	1.00	1.00	2.50	2.85

Tabla 5. Aptitud agronómica (crecimiento de plantas) de cuatro colectas de Chile piñon en el Mante Tamaulipas en 2014. C.V. Coeficiente de variación. Valores con distinta literal por columna difieren estadísticamente entre sí para cada tratamiento a una $Pa \leq 0.05$.

Al analizar la aptitud agronómica de las colectas evaluadas en la gráfica se observa que el tratamiento con AG_3 promueve no sólo una mayor germinación y rompimiento de la latencia de la semilla sino también favorece un mayor crecimiento de las plántulas en el invernadero, disminuyendo el tiempo de permanencia de las plantas en el semillero. Así mismo, el incremento en la dosis de AG_3 , actúa como un inhibidor de la germinación y crecimiento de plántulas por lo que su aplicación se debe realizar cuidadosamente.

Figura 2. Aptitud agronómica de cuatro colectas de chile piquín en el sur de Tamaulipas durante 2014.



Conclusiones

Los biotipos de Ocampo y Chamal obtuvieron el mayor número de semillas por fruto en el análisis de caracterización de fruto. El biotipo de Ocampo rompió la latencia de la semilla a los 17 días después de la siembra, esto se logró con seis minutos de exposición a 50° C de hidrotermia y con 5 000 ppm de AG₃. El tratamiento de la semilla con 5 000 ppm promovió una mayor germinación, a su vez promueve notablemente el crecimiento inicial y final de las plantas en el semillero. Los biotipos de Ocampo y Jaumave, Tamaulipas obtuvieron el mayor desempeño en la germinación y aptitud agronómica de plántulas en el semillero.

Bibliografía

- Almanza, E. J.G. 1993. El chile piquín (*Capsicum annuum* L. var. Aviculare Dierb. (D. & E.): Estudio Etnobotánico, Biología y Productividad. Tesis sin editar. Facultad de Ciencias Biológicas. U.A.N.L. México.
- Andrade-Rodríguez M., J.J. Ayala-Hernández. I., Alia-Tejagal. H. Rodríguez-Mendoza, C.M. Acosta-Durán & V. López-Martínez. 2008. Efecto de promotores de la germinación y sustratos en el desarrollo de plántulas de papayo. Revista de la Facultad de Agronomía. 25:617-635.
- Araiza L.N., L.E. Araiza & M. J. G. Martínez. 2011. Evaluación de la germinación y crecimiento de plántula de chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. Glabriusculum) en invernadero. Revista Colombiana de Biotecnología 13:170-175
- Bañuelos N, P.L & A. Salido - Gardea. 2008. Etnobotánica del chiltepín. Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. Estudios Sociales (Hermosillo, Son.) 16:177-205
- Besnier, F. 1989. Semillas: Biología y tecnología. Mundi-Prensa, Madrid. 355 p
- Bewley, J. D. & M. Black. 1994. Seeds: physiology of development and germination. Plenum Press. New York. 367 p.
- Carter, A. K. & C. S. Vavrina. 2000. High temperature inhibits germination of Jalapeño and Cayenne pepper. URL: www.imok.ufl.edu/veghort/docs/trans_temp.pdf.

- Chen F. & K.J., Bradford. 2000. Expression of an expansion is associated with endosperm weakening during tomato seed germination. *Plant Physiology* 124:1265-1274 de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/handle/123456789/1001> (consultado agosto 2013)
- Flores G.A., Álvarez M.J.G., Rodríguez de la O J.L. y Corona A.A. 2008. Germinación in vitro de semillas de *Nolina parviflora* (H.B.K.) Hemsl. *Foresta Veracruzana* 10:27-33
- García F.A. H.S., L.J.A Montes, M.E. Rangel García & E.M. Mendoza. 2010. Respuesta fisiológica de la semilla chile piquín (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum* (Dunal) Heiser & Pickersgill) al ácido giberélico e hidrotérmita. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1:203-216.
- Hernández-Verdugo S., R.G. López-España, F. Porras., S. T Parra-Terraza., M.Villarreal-Romero & T. Osuna-Enciso. 2010. Variación en la germinación entre poblaciones y plantas de chile silvestre. *Agrociencia* 44:667-677.
- Hernández-Verdugo S., P. Sánchez-Peña, & M. Villareal Romero. 2006. Variación entre poblaciones y años: algunos factores que promueven o regulan la germinación de semillas en chile silvestre. 3ª Convención Mundial de Chile. Chihuahua y Delicias, Chihuahua, México. 105-111 pp.
- INIFAP. 2011. Generación de tecnologías de producción de chile piquín (*Capsicum annuum* var. *Aviculare*). Folleto informativo p. 434.
- Jarma A.J., J.C. Arbeláez. & J. Clavijo. 2007. Germinación de *Ischaemum rugosum* Salisb., en respuesta a estímulos ambientales y químicos. *Temas Agrarios* 12:31-41.
- Magnitskiy S.V. & G. A. Ligarreto. 2007. El efecto del nitrato de potasio, del ácido giberélico y del ácido indolacético sobre la germinación de semillas de agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 1:137-141
- Marín, S.J., C.J.A. Mejía, L.A. Hernández, C.A. Carballo & L.A. Peña. 2007. Acondicionamiento osmótico de semillas de cebolla (*Allium cepa* L.). *Agricultura Técnica en México* 33:63-71.
- Medina M.T., M. H. Villalón., V.M. Lara, G.G. Gaona, H.L. Trejo & E.A. Cardona. 2000. Informe Técnico de Proyecto, Sireyes 95/111.
- Medina-Martínez T., L. A. Rodríguez del Bosque, H. Villalón-Mendoza, O. Pozo-Campodónico, M. Ramírez-Meraz, R. López de León, M. Lara-Villalón, G. Gaona-García, A. Cardona-Estrada & A. Mora-Olivo. 2002. El chile piquín (*Capsicum annuum* var. *aviculare*) en el noreste de México. Aspectos ecológicos y socioeconómicos. *Revista BIOTAM*. 13:1-14.
- Medina-Martínez T., H. Villalón-Mendoza, J.M. Pérez-Hernández, R.G. Sánchez & S. Salinas-Hernández. 2010. Avances y perspectivas de investigación del chile piquín en Tamaulipas, México. *Ciencia UAT* 4:16-21.
- Ogawa K. & M. Iwabuchi. 2001. A mechanism for promoting the germination of *Zinnia elegans* seeds by hydrogen peroxide. *Plant and Cell Physiology* 42:286-291

- Ramírez, M., M. 2001. Manual para la producción de hortalizas menores en el sur de Tamaulipas. Campo Experimental Sur de Tamaulipas. CIR Noreste-INIFAP. Folleto para Productores No. 1. Junio de 2001. 49 p.
- Ramírez, M.M. 2008. Chile piquín. 1. Tecnología para incrementar germinación y conservar especies silvestres de chile piquín. Ficha Tecnológica por Sistema Producto. Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, INIFAP/CIRNE. 23 p
- Ramírez-Meraz, M., C. O Pozo, & L. A. Rodríguez del Bosque. 2003. Tecnología para inducir la germinación en chile piquín. In: Rodríguez del Bosque, L. A. (ed). Memoria del 1er. Simposium regional de chile piquín: avances de investigación en tecnología de producción y uso racional del recurso silvestre. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Río Bravo, México. Publicación especial. Núm. 26. 35-36 pp.
- Randle W. M. & S. Honma. 1980. Inheritance of low temperature emergence in *Capsicum baccatum* var. pendulum Euphytica Volume 29, Issue 2, pp 331-335
- Richards D.E., K.E. King, T. Ait-ali, & N.P. Harberd. 2001. How gibberellin regulates plant growth and development: A molecular genetic analysis of gibberellin signaling. Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology 52:67-88
- Rodríguez del Bosque, L.A., M. Ramírez - Meraz, & O. Pozo - Campodonico. 2004. Tecnologías de producción de chile piquín en el Noreste de México. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Rio Bravo. Folleto técnico número 29, Tamaulipas México. 33 p.
- Rodríguez, B.L.A. 2003. Memoria del 1er Simposio Regional de Chile Piquín: Avances de Investigación en Tecnología de Producción y Uso Racional del Recurso Silvestre. INIFAP-CIRNE. Campo Experimental Río Bravo. Publicación Especial Núm. 26. 54 p.
- Shim S.I., J.C. Moon, C.S. Jang, P. Raymer & W. Kim. 2008. Effect of potassium nitrate priming on seed germination of seashore paspalum. HortScience 43:2259-2262.
- Wall, A. D., R. Kochevar, & R. Phillips. 2002. Chile seed quality. New Mexico chili task force. New Mexico State University and United State Department of Agriculture. Report 4. 6 p.
- Watkins J.T. & D.J Cantliffe. 1983. Hormonal control of papper seed germination. Hortscience 18. 342-343

Virus y geminivirus transmitidos por el biotipo b de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*), análisis de la situación actual

Virus and geminivirus transmitted by the biotype b of the whitefly (*Bemisia tabaci*), analysis of the current situation

*Epifanio Mireles-Rodríguez¹⁶

Rolando Salazar-Hernández

Hermilo Lucio-Castillo

Clarisa Pérez Jasso

Sergio Castro-Nava¹⁷

Resumen

¹⁶Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica Multidisciplinaria Mante – Centro. Blvd. Enrique Cárdenas González # 1201 Pte. CP. 89840., El Mante, Tamaulipas. *Contacto: epimireles@uat.edu.mx

¹⁷Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Ingeniería y Ciencias. Centro Universitario Adolfo López Mateos

La mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) (MB) es una de las plagas más importantes y dañinas para las hortalizas cultivadas en México. Su principal impacto es como transmisor de enfermedades virales. El biotipo B es considerado el más importante debido a su amplia gama de plantas huésped, velocidad reproductiva y generación de resistencia a insecticidas. La MB es una plaga de importancia mundial, en las regiones tropicales y subtropicales. Aunque puede causar problema por daño directo; en Mesoamérica y el Caribe actúa como vector de geminivirus muy destructivos en chile, frijol y tomate. *B. tabaci* puede actuar como plaga directa, por sus desmesuradas poblaciones, o como vector de geminivirus, lo cual ha justificado grandes esfuerzos en investigación básica y en métodos para su manejo (Cock, 1986; Ohnesorge y Gerling, 1986; Gerling, 1990; Gerling y Mayer, 1996). En la presente revisión se realizó un análisis de la problemática actual en el impacto de BT en los sistemas agrícolas actuales, sobre todo de su capacidad para la transmisión de virus y Geminivirus, los daños, el manejo racional de insecticidas y técnicas de manejo integrado y sustentable de la plaga. Se concluye que los sistemas de producción actual tienden al manejo y control racional de plagas mediante el uso de plaguicidas biológicos, hongos entomopatogenos y productos químicos selectivos para disminuir la resistencia de BT.

Abstract

Whitefly (*Bemisia tabaci*) (MB) is one of the most important pests causing damage to vegetables grown in Mexico. Its main impact transmitter is as viral diseases. Specifically biotype B, it is considered the most important, because of their wide range of host plants, reproductive rate and generation of insecticide resistance. The MB is a globally important pest in tropical and subtropical regions. Although it can cause direct damage problem; in Mesoamerica and the Caribbean acts as a vector of very destructive geminiviruses in chilli, beans

and tomato. *B. tabaci* can act as a direct pest populations for their excessive, or as vector of geminivirus, which has justified great efforts in basic research and methods for management (Cock, 1986; Ohnesorge and Gerling, 1986, Gerling, 1990; Gerling & Mayer, 1996). In this review I conducted an analysis of the current problems in the impact of BT in the current agricultural systems especially its capacity for transmission of viruses and Geminivirus, damages, the sound management of insecticides and techniques for integrated management and sustainable Plague. It is concluded that current production systems tend to management and rational pest control using biological pesticides, entomopathogenic fungi and selective chemicals to decrease the resistance of BT.

Key words: Whitefly, geminivirus, transmission, damage.

Introducción

Los sistemas de producción de hortalizas presentan varias características que dificultan la aplicación de programas de manejo integrado de plagas (MIP). La alta rentabilidad de sus productos, su corta temporada de producción, y el ataque de insectos y patógenos con gran capacidad reproductiva y de diseminación. Esto hace que los agricultores apliquen plaguicidas en forma excesiva (muchas frecuencias y altas dosis), puesto que la inversión se puede recuperar a corto plazo. Sin embargo, sus altos beneficios económicos pueden ser pasajeros, pues el abuso en el uso de plaguicidas desencadena procesos y fenómenos inconvenientes en aspectos agrícolas, económicos y ambientales por la conversión de plagas secundarias en primarias, y el desarrollo de resistencia. Un ejemplo de esto es la crisis provocada en el último decenio por la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) (Homóptera: Aleyrodidae) en varias hortalizas y otros cultivos anuales, especialmente en los sistemas agrícolas de las regiones tropicales y subtropicales (Brown, 1994; Brown y Bird, 1992; Ioannou 1997).

La mosca blanca (*Bemisia tabaci*) (MB_{Bt}) es una de las plagas que ocasiona mayor daño a las hortalizas cultivadas en México. Su principal impacto es como transmisor de enfermedades virales. El biotipo B, es considerado el más importante, debido a su amplia gama de plantas huésped, velocidad reproductiva y generación de resistencia a insecticidas. La MB_{Bt} es una plaga de importancia mundial, en las regiones tropicales y subtropicales. Aunque puede causar problemas por daño directo; en Mesoamérica y el Caribe actúa como vector de geminivirus muy destructivos en chile, frijol y tomate. *B. tabaci* puede actuar como plaga directa, por sus desmesuradas poblaciones, o como vector de geminivirus, lo cual ha justificado grandes esfuerzos en investigación básica y en métodos para su manejo (Cock, 1986; Ohnesorge y Gerling, 1986; Gerling, 1990; Gerling y Mayer, 1996).

En América Latina y el Caribe, aunque hay serios problemas de daño directo (debilitamiento y alteraciones fitotóxicas), así como de fumagina, en algodón, melón, sandía, soya y tomate, los mayores problemas se deben a geminivirus, especialmente en chile, frijol y tomate (Brown, 1994; Brown y Bird, 1992; Hilje y Arboleda, 1993; Hilje, 1996).

La mosquita blanca y su impacto en los sistemas de producción

La mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) es una de las plagas más distribuidas en regiones tropicales y subtropicales del mundo donde afecta más de 600 especies de plantas cultivadas y silvestres. Los daños que causa se deben a diversos efectos del insecto en las plantas atacadas, como el debilitamiento de la planta por la extracción de nutrientes; problemas fisiológicos causados por el biotipo B de *B. tabaci* (e.g. madurez irregular en tomate y plateado en cucurbitáceas); la excreción de sustancias azucaradas que favorecen el crecimiento de hongos sobre las plantas (i.e. fumagina); y la transmisión de begomovirus (figura 1) (Geminiviridae) (Brown et al., 1995; Morales y Anderson 2001; Oliveira et al., 2001).

Mound y Halsey (1978); Greathead (1986); Secker et al. (1998) ratifican que la mosquita blanca se encuentra muy extendida en México. (MB_{BI}) *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1899) (Homóptera: Aleyrodidae). Su principal impacto es como transmisora de enfermedades virales. El biotipo B (figura 2), es considerado el más riesgoso debido a su amplia gama de plantas huésped, velocidad reproductiva y generación de resistencia a insecticidas.

Figura 1. Impacto de los daños ocasionados por mosquita blanca (*Bemisia tabaci*)

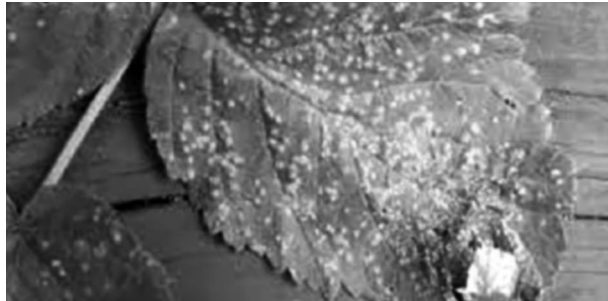


Figura. 2. Biotipo B. de mosquita blanca, el más importante por sus daños y la eficiencia en la transmisión de virosis.



Daños directos e indirectos

En las últimas tres décadas, *B. tabaci* ha causado millones de dólares en pérdidas de cultivos en agroecosistemas a lo ancho del mundo (Brown et al., 1995; Morales y Anderson, 2001; Oliveira et al., 2001). No obstante, la estimación real del impacto económico de sus poblaciones en la agricultura mundial ha sido difícil de cuantificar debido a la gran cantidad de áreas afectadas, el número de cultivos y plantas ornamentales involucradas y los diferentes sistemas monetarios. El daño a los cultivos se debe a su alimentación directa en el floema, a los desórdenes fisiológicos causados por el biotipo B, y de modo indirecto, a la excreción de melaza que favorece el crecimiento de hongos (e.g. *Capnodium spp.*) (figura 3), y a la transmisión de virus. Estos son factores que afectan el rendimiento de los cultivos en términos cuantitativos y cualitativos.



Figura 3. Daños indirectos causados por mosquita blanca: fumagina (Capnodium sp) en pimiento morrón

La magnitud de la infestación, la especie y variedad de planta, la época del año, el sitio geográfico y el biotipo de *B. tabaci* determinan los daños causados sobre un cultivo (Oliveira et al. 2001; Byrne et al. 1990). Igualmente, la magnitud del daño causado por virus, depende de este mismo tipo de factores (Brown y Bird 1992; Cohen 1990; Galvez y Morales 1994a; Morales y Niessen 1988). La alimentación de unas pocas ninfas por planta induce fitotoxicidad o desórdenes fisiológicos (Costa et al. 1993) en una variedad de especies de plantas, y los síntomas varían de acuerdo con la especie del hospedero y los diferentes cultivares (Brown et al., 1995).

El desorden más reportado es el plateado de las cucurbitáceas (Costa et al., 1993; Mc Auslane et al., 2004). Otros desórdenes incluyen la madurez irregular en el tomate, también conocido como arco iris (Schuster et al., 1990; Morales et al., 2003), el rayado blanco longitudinal en los tallos de col y la deformación en las hojas y clorosis en el tallo de lechugas (Brown et al., 1995; Quintero et al., 1998), y más recientemente la decoloración o albinismo de los tejidos jóvenes y de las vainas del frijol (Hassan y Sayed, 1999; Rodríguez et al., 2005).

En condiciones de campo, estos síntomas han sido definitivos para la identificación y confirmación de la presencia del biotipo B (Quintero et al., 1998; Morales et al., 2003).

Virus transmitidos por *Bemisia tabaci*

Uno de los daños indirectos y quizá el mayor problema generado por este insecto es la transmisión de virus. *B. tabaci* transmite virus pertenecientes a siete grupos que incluyen Begomovirus, Carlavirus, Ipomovirus y Crinivirus (Jones, 2003). Los virus más importantes por el daño causado son los Begomovirus y los Crinivirus (Closteroviridae: Crinivirus). A pesar de que la mayoría de los virus que infectan plantas (80 a 90%) tienen ARN de cadena sencilla como componente genético, los begomovirus poseen ADN de cadena sencilla, con una o dos moléculas de ADN circular y de reducidas dimensiones (aproximadamente de 2.6 a 2.8 kb). El tamaño total del genoma varía de 2.7 a 5.4 kb, lo cual coloca a los geminivirus como uno de los virus más pequeños en poseer genomas de replicación independiente, y como uno de los únicos virus de ADN en poseer el genoma dividido. El nombre de los Geminivirus proviene de la morfología característica de su cápside, la cual asemeja dos poliedros regulares idénticos (gemelos o geminados) fusionados por una de sus caras (Fig. 1a). El tamaño de los viriones es de 18 x 30 nanómetros (Harrison, 1985).

De acuerdo con su estructura genómica, el vector que los transmite y los hospederos que infectan, la familia Geminiviridae está dividida en cuatro géneros:

El primer género, Mastrevirus, deriva su nombre de su virus tipo Maize streak virus. Estos virus solo tienen un componente genómico, infectan exclusivamente monocotiledóneas y son transmitidos por cicadélidos (Mullineaux et al., 1984). El segundo género, Curtovirus, nombre derivado del virus tipo Beet curly top virus poseen un solo componente genómico, infectan dicotiledóneas y son también transmitidos por cicadélidos (Stanley et al., 1986). El tercer género, Begomovirus, nombre derivado del virus tipo Bean golden mosaic Gvirus (Howart et al., 1985), posee uno o dos componentes genómicos, solo infectan dicotiledóneas y son transmitidos por *B. tabaci*. El virus del enrollamiento de la hoja del tomate y varios aislamientos del virus del enrollamiento amarillo de la hoja del tomate, son begomovirus atípicos porque poseen genomas monopartitas. Un cuarto género, Topocuvirus incluye únicamente el Tomato pseudo-curly top virus, transmitido por el membrácido *Micrutalis malleifera* (Rojas, 2000).

Figura 4. Geminivirus en cucurbitáceas transmitidos por mosquita blanca



La transmisión de begomovirus por *B. tabaci*

Es considerado del tipo persistente circulativo, descrita para otros homópteros (Duffus, 1987). Los adultos necesitan un periodo de 20 minutos o más para adquirir el virus de plantas infectadas. Este período de adquisición relativamente prolongado (comparado con los 15-60 segundos requeridos para virus semi-persistentes), se debe a la localización de estos virus en el floema de las plantas afectadas. Una vez adquirido, el virus requiere un periodo de incubación en el vector, que varía de algunas horas a un día. Esta observación es la que sugiere que el virus circula en el insecto vector.

Figura 5. Begomovirus en tomate transmitido por el biotipo B de la mosquita blanca



El proceso de transmisión (inoculación), generalmente requiere un tiempo similar al de adquisición del virus. Esto se debe a que algunos virus transmitidos por mosca blanca, aparentemente pueden iniciar el proceso de infección en tejido no vascular. La persistencia del virus en la mosca blanca varía de algunos días hasta semanas, llegando a ser retenido de por vida en algunos adultos. Sin embargo, hay comúnmente pérdida de infectividad con el tiempo, lo cual sugiere que estos

virus no se multiplican dentro de la mosca blanca. Estos virus, sin embargo, parecen ser retenidos por los diferentes estadios del insecto hasta el adulto, a pesar de que solo el primer instar y el adulto son móviles (Morales, 1994a).



Figura 6. *Begomovirus* en hortalizas transmitidos por mosca blanca

Origen y distribución mundial

B. tabaci, también conocida como la mosca blanca del algodón, del tabaco o de la papa, fue originalmente observada en tabaco en Grecia, y fue descrita como *Aleyrodes tabaci*. En el Nuevo mundo fue colectada por primera vez en 1897 sobre *Ipomoea batata* (L.) Lam., en los Estados Unidos, donde se describió como *Aleyrodes inconspicua* Quaintance (Quaintance 1900, citado por Oliveira et al., 2001). Debido a la variación morfológica que sufre este insecto de acuerdo con el hospedero donde ha sido encontrado, se le han dado 22 nombres, los cuales hoy se consideran sinónimos de la especie *Bemisia tabaci*. Una detallada revisión de la nomenclatura que rodea el complejo de especies de *Bemisia* es presentada por Perring (2001). Algunos científicos sugieren que *B. tabaci* puede ser originaria de África tropical, desde donde se dispersó a Europa y Asia, y fue posteriormente introducida al Neotrópico, principalmente por transporte de material de plantas (Brown y Bird, 1992; Campbell et al., 1996). Sin embargo, otros científicos sugieren que esta especie puede ser nativa de India o Pakistán, donde se ha encontrado la mayor diversidad de especies de sus enemigos naturales (Brown et al., 1995). *B. tabaci* se extiende en un amplio rango de sistemas agrícolas, desde subtropicales hasta tropicales, pero también ocurre en áreas de climas templados. Es una especie distribuida globalmente y se encuentra en todos los continentes con excepción de la Antártica (Martin et al., 2000; Oliveira et al., 2001).

Biotipos

El término biotipo es usado para designar poblaciones que carecen de diferencias morfológicas, pero que poseen otras características que sirven para separarlas de otras (Claridge et al., 1997, citado por Perring 2001). Al respecto, se han usado diversas técnicas principalmente electroforesis de esterases no específicas, técnicas moleculares como RAPD-PCR y análisis de genes específicos (18S rARN, 16S rADN), para estudiar 41 poblaciones de *B. tabaci*; de estas poblaciones, 24 han recibido la designación de biotipos (Perring, 2001). Sin embargo, en estos estudios se han usado diversas herramientas para los análisis moleculares e interpretación de los resultados, lo cual causa dificultad para poder compararlos y dar conclusiones (Oliveira et al., 2001). En 1986 se encontró una nueva forma de *B. tabaci* en plantas de poinsetia (*Euphorbia pulcherrima* Willd.) mantenidas en invernaderos del estado de Florida. Esta nueva forma, llamada biotipo “poinsetia” o biotipo B, se introdujo al suroeste de los Estados Unidos,

rápidamente reemplazando la forma original, el biotipo A. Para 1991, el biotipo B había causado millones de dólares de pérdidas en los cultivos de California y Arizona (Anderson, 2000). Se ha demostrado que el biotipo B posee un rango más amplio de plantas hospedantes (Brown et al., 1995), una fecundidad mayor que la del biotipo A (Bethke et al., 1991), ingiere una mayor cantidad de savia del floema de las plantas durante la alimentación y consecuentemente excreta un mayor volumen de melaza que el biotipo A (Byrne y Miller, 1990); además, a diferencia del A, el biotipo B induce desórdenes fisiológicos (McAuslane et al., 2004). Con base en datos experimentales biológicos, morfológicos y genéticos, utilizando poblaciones de *Bemisia* de California, Perring et al. (1993) y Bellows et al. (1994), concluyeron que los biotipos A y B, eran especies distintas denominando el biotipo B como *Bemisia argentifolii* (Bellows y Perring). Sin embargo, esta conclusión no ha sido sustanciada al mirar más ampliamente las poblaciones de *B. tabaci* del Viejo y Nuevo Mundo (Brown et al., 1995). Estudios filogenéticos y reproductivos realizados por Campbell et al. (1993) entre los dos biotipos, no apoyan la existencia de dos especies. Por consiguiente, se considera que solo existe una especie, *Bemisia tabaci* (Gennadius) como un complejo de biotipos (Anderson, 2000).

Rango de hospederos

B. tabaci ha sido registrada alimentándose de más de 600 especies de plantas hospederas (Mound y Halsey, 1978; Greathead, 1986; Secker et al., 1998). Estas especies se ubican en 74 familias, incluyendo hortalizas, plantas ornamentales, cultivos industriales y numerosas especies silvestres. Entre los hospederos atacados por este insecto se encuentran comúnmente plantas que pertenecen a las familias Cruciferae, Cucurbitaceae, Solanaceae, Leguminosae, entre otras (Brown 1993). Aunque *B. tabaci* ha sido considerada como una especie polífaga, se han descubierto poblaciones monófagas (Brown et al., 1995; Perring, 2001; Thompson, 2003). Al respecto, se sugiere que existe un amplio rango de diferencias genéticas entre las poblaciones de *B. tabaci* que le permiten adaptarse a nuevos hospederos y climas en distintas regiones geográficas (Basu, 1995, citado por Oliveira, 2001), y que también podrían asociarse con las variaciones morfológicas que sufre la especie en las diferentes especies de plantas (Mohanty y Basu, 1986).

Manejo integrado de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*)

El MIP consiste en la combinación de varios métodos para mantener las plagas a niveles que no causen pérdidas de importancia económica, sin provocar serios perjuicios ambientales ni humanos. El MIP debe fundamentarse en el conocimiento de las interrelaciones entre el vector, los geminivirus, las plantas hospedantes y el ambiente físico, a continuación se presentan las causas de los problemas provocados por el complejo *B. tabaci*-geminivirus:

La premisa básica del MIP es que, por lo complejo que es enfrentar a las plagas, un solo método generalmente es insuficiente para tener el éxito deseado. A su vez, el MIP se sustenta en tres principios: convivencia, prevención y sostenibilidad, los cuales se pueden aplicar para el manejo de *B. tabaci*, ya sea como vector de geminivirus o como plaga directa. A continuación se ilustra la

aplicación de dichos principios para el tomate en Costa Rica, con base en el esquema de manejo sugerido por Hilje (1993). Sin embargo, varias de las ideas y prácticas discutidas aquí podrían aplicarse a otros cultivos presentes en América Latina y el Caribe. En primer lugar, para lograr la convivencia con el insecto, es preciso aceptar que siempre esté presente, incluso causando daño y pérdidas. Pero lo clave es que se puedan obtener rendimientos satisfactorios. Ello se puede alcanzar estableciendo y aplicando criterios de decisión. En el MIP es frecuente el concepto de umbral económico o umbral de acción, pero en el caso de *B. tabaci* como vector, aunque inicialmente se trata de establecer un umbral (Rosset et al., 1990), los autores reconocieron que no tiene sentido hacerlo, por tratarse de un vector de geminivirus, que alcanza densidades muy altas, sobre todo en la estación seca; actualmente se sabe que bastan densidades muy bajas para que se infecten todas las plantas en una parcela. En el caso de los síndromes causados por *B. tabaci*, en otros países se realiza investigación sobre umbrales de daño (Dr. Thomas Perring, 2000, Universidad de California, com. pers.). Otro tipo de criterio de decisión es la etapa fenológica durante la cual un cultivo es más susceptible a los geminivirus.

En el caso del tomate, el efecto de varios geminivirus sobre el rendimiento (período crítico) comprende los primeros 50-60 días desde la emergencia de la planta (Franke et al., 1983; Acutua, 1993; Schuster et al., 1996). Por tanto, las medidas de manejo se deben concentrar durante dicho intervalo, para retardar la epidemia viral, pues es imposible evitarla; así se ahorra dinero y se evita o reduce la contaminación mediante insecticidas. En cuanto a la prevención, la situación es compleja debido a los bajos umbrales y a las altas poblaciones comúnmente observadas en el campo. Por tanto, la clave será eliminar los reservorios de insectos y de geminivirus, los cuales normalmente son los campos viejos de tomate, debido a su extensión. Otras prácticas agrícolas preventivas son el establecimiento de períodos de veda y fechas de siembra estrictas, como se ha hecho con éxito en la República Dominicana (Álvarez y Abud-Antonn, 1995) y Florida (Dr. Philip Stansly, 2000, Universidad de Florida, com. pers.). Además, será deseable el desarrollo de cultivares resistentes o tolerantes a los geminivirus, en lo cual REDCAHOR (Red Colaborativa de Investigación y Desarrollo en Hortalizas) promovió investigaciones en Mesoamérica y el Caribe, en años recientes. Otra posibilidad son las prácticas agrícolas y utilización de sustancias repelentes/disuasivas, acerca de las cuales se discute posteriormente.

Variabilidad genética de la mosquita blanca

B. tabaci tiene 17 razas o biotipos, de los cuales al menos seis están en América (Brown et al., 1995; De Barro y Driver, 1997). El biotipo B, que es originario del Viejo Mundo (Brown et al., 1996), es considerado por algunos autores como una nueva especie, *B. argentifolii* (Bellows et al., 1994), pero sobre ello hay mucho debate. Contrasta con el biotipo A, que es el Original, en los siguientes aspectos: tiene mayor fecundidad, completa su desarrollo en el cultivo de tomate, ataca un mayor número de cultivos, tiene mayor tolerancia al frío, e induce varios síndromes particulares (Perring, 1996).

En México, aunque hasta hace pocos años, el patrón electroforético de isoenzimas revelaba la presencia, exclusiva para el país, del biotipo C, así como

la ausencia del biotipo B (Brown 1993, Brown et al., 1995), en las principales zonas productoras de tomate actualmente se conoce que predomina el biotipo A (Hilje et al., 2001a). Además, se ha confirmado la presencia del biotipo B, pero restringido a zonas muy delimitadas en el estado de Sinaloa, en campos de cucurbitáceas, como el melón (*Cucumis melo*), sandía (*Citrullus lanatus*) y pepino (*Cucumis sativus*), y de chile jalapeño (*Capsicum frutescens*). En cuanto a otros biotipos, se les ha detectado en tomate, chile dulce y chile jalapeño, a veces junto con el biotipo A, pero no se tiene certeza de si alguno de los biotipos desconocidos corresponde al que previamente se había denominado como biotipo C. Se ha observado que el biotipo A casi no se reproduce en el tomate, pero lo hace profusamente en el chile dulce (*Capsicum annuum*) (Hilje et al., 1993a).

Abundancia poblacional

En las regiones productoras de México, las poblaciones de *B. tabaci* son muy altas durante la estación seca (Hilje, 1995), lo cual depende del potencial reproductivo, que a su vez está determinado por la fecundidad, el tiempo generacional y la proporción de sexos. La fecundidad del biotipo B es cercana a 200 huevos/hembra, casi el doble del biotipo A (Bethke et al., 1991); el tiempo generacional (intervalo entre dos generaciones sucesivas) es de unos 40 días (Eichelkraut y Cardona, 1989; Salas y Mendoza, 1995); la proporción de sexos es muy variable, pero además las hembras pueden reproducirse sin fertilización, originando solo machos, mediante partenogénesis arrenotoquica (Byrne y Bellows, 1991). Asimismo, el biotipo B tiene mayor tolerancia al frío que el biotipo A, lo cual le permite invadir zonas ubicadas a mayores altitudes y latitudes, así como soportar períodos adversos y recuperar sus poblaciones en forma rápida, posteriormente (Perring, 1996). En algunos casos, estas poblaciones tan elevadas permiten al insecto causar daños directos, por extracción de savia y debilitamiento de las plantas, así como indirectos (fumaginas) (Schuster et al., 1996), los cuales dependen tanto de la presencia de ninfas como de adultos. Sin embargo, para la rápida diseminación de los geminivirus no se requieren altas densidades de adultos. Por ejemplo, en Costa Rica es frecuente observar el 100% de las plantas infectadas con el virus del moteado amarillo del tomate (ToYMoV) a pesar de las muy bajas densidades del vector; la menor cifra registrada hasta ahora es 0,3 adultos/planta, en promedio (Cubillo et al., 1999a).

Conclusión

Se concluye que debido a las altas tasas de reproducción, a la variabilidad genética, la habilidad para la búsqueda de alimento y la resistencia del Biotipo B de *B. tabaci* en los sistemas agrícolas actuales, los productores han optado en las últimas décadas por el abandono parcial o total de los cultivos.

No obstante, una estrategia viable y sostenible es el manejo racional de poblaciones mediante prácticas poco agresivas sustentadas en el MIP dentro de las que destacan, el control biológico, la rotación de cultivo, la aplicación de hongos entomopatogenos y la aplicación de insecticidas orgánicos y de bajo impacto ambiental.

Bibliografía

- Acuña, W.1993. Efecto de la infección de un geminivirus sobre el rendimiento del tomate (*Lycopersicon esculentum*) en diferentes estadios de desarrollo de la planta. Tesis Lic. Agr. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica, Sede del Atlántico. 73 p.
- Álvarez, P; Abud-Antun, A.1995. Reporte de República Dominicana. In Taller Latinoamericano sobre Moscas Bancas y Geminivirus (4, 1995, Tegucigalpa, Honduras). Memoria. Caballero, R; Pitty, A. Ed. Ceiba (Honduras) 36(1):39-47.
- Byrne, D.; Bellows, T; Parrella, M. 1990. Whiteflies in agricultural systems. In: Gerling, D. (ed.), Whiteflies: Their Bionomics, Pest Status and Management. New Castle, U.K. Atheneum. P. 227-251.
- Bethke, JA; Paine, T D; Nuessl y, G. S. 1991. Comparative biology, morphometrics, and development of two populations of *Bemisia tabaci* (*Homoptera: Aleyrodidae*) on cotton and poinsettia. Annals of the Entomological Society of America 84:407-411.
- Bellows, T S Jr; Perring, T M; Gill, R J; Headrick, D H.1994. Description of a species of *Bemisia* (Homoptera: Aleyrodidae). Annals of the Entomological Society of America 87: 195-206.
- Brown, JK.1993. Evaluación crítica sobre los biotipos de mosca blanca en América, de 1989 a 1992. In Las moscas blancas (*Homoptera: Aleyrodidae*) en América Central y el Caribe.
- _____ 1994. Current status of *Bemisia tabaci* as a plant pest and virus vector in agroecosystems worldwide. FAO Plant Protection Bulletin 42(1-2): 3-32.
- Brown, JK; Bedford, ID; Bird, J; Costa, HS; Frohlich, DR; Markham, PG. 1995. Characterization and distribution of esterase electromorphs in the whitefly, *Bemisia tabaci* (Genn.) (Homoptera: Aleyrodidae). Biochemical Genetics 33:205-213.
- Brown, J.K.; Bird, J. 1992. Whitefly-transmitted geminiviruses and associated disorders in the Americas and the Caribbean Basin. Plant Disease 76(3): 220-225.
- _____ 1992. Whitefly-transmitted geminiviruses in the Americas and the Caribbean Basin: Past and present. Plant Disease 76: 220-225.
- _____ 1992. White fly transmitted geminiviruses and associated disorders in the Americas and the Caribbean Basin. Plant Disease 76(3): 220-225.
- Brown, J. K.; Frohlich, D. R.; Rosell, R. C. 1995. The sweet potato or silver leaf whitefly: biotipes of *Bemisia tabaci* or a species complex? Annual Review of Entomology 40: 511-534
- Brown, JK; Bird, J; Frohlich, DR; Rosell, RC; Bedford, ID; Markham, PG. 1996. The relevance of variability within the *Bemisia tabaci* species complex to epidemics caused by subgroup III geminiviruses. In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. Gerling, D; Mayer, RT. Ed. United Kingdom, Intercept. p. 77-89.
- Campbell; B. C.; Stephen-Campbell, J. D.; Gill, R. 1996. Origin and radiation of whiteflies: an initial molecular phylogenetics assessment. In: Gerling.

- Cock, M.J.W. Ed. 1986. *Bemisia tabaci*- A literature survey. Silwood Park, UK. CAB Intl.Inst.Biol.Control.121 p.
- Cohen, S. 1990. Epidemiology of whitefly transmitted viruses. In: Gerling, D. (ed.), *Whiteflies: their Bionomics, Pest Status and Management*. Intercept, U.K., p. 210-225.
- Costa, H.S.; Ullman, D.E.; Johnson, M.W.; Tabashnik, B.E. 1993. Squash silverleaf symptoms induced by immature, but not adult, *Bemisia tabaci*. *Phytopathology* 83: 763-766.
- Cubillo, D; Sanabria, G; Hilje, L. 1999a. Eficacia de coberturas vivas para el manejo de *Bemisia tabaci* como vector de geminivirus, en tomate. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 51:10-20.
- De Barro, P.J; Driver, F. 1997. Use of RAPD PCR to distinguish the B biotype from other biotypes of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae). *Australian Journal of Entomology*. 36:149-152.
- D., Mayer, R. T. (eds.), *Bemisia: Taxonomy, Biology, Damage, Control and Management*. Intercept, UK, p. 29-52.
- Duffus, J.E. 1987. Whitefly transmission of plant viruses. In: *Current Topics in Vector Research*. Vol 4, Harris K.F. (ed.), Springer- Verlag, New York. p.73-91.
- Franke, G; Van Balen, L; Debrot, E. 1983. Efecto de la época desinfección por el mosaico amarillo sobre el rendimiento del tomate. *Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia (Venezuela)* 6(2):741-743.
- Gálvez, G.E.; Morales, F.J. 1994. Virus transmitidos por la mosca blanca. En: Corrales, P; Antonio, M.; Howard, S. (eds.). *Problemas de producción del frijol en los trópicos*. 2. ed. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). p. 435-464.
- Gennadius, P. 1889. Disease of tobacco plantations in the trikonia. The aleurodid of tobacco. *Ellenike Georgia (Grecia)* 5: 1- 3.
- Gerling, D. Ed. 1990. *White flies: Their bionomics, pest status and management*. New Castle, U K. Athenaeum Press. 348 p.
- Gerling, D; Mayer, RT. Ed. 1996. *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. United Kingdom, Intercept. 702 p.
- Greathead, A.H. 1986. Host plants. In: *Bemisia tabaci a Literature Survey on the Cotton Whitefly with an Annotated Bibliography*. Cock, M.J.W. (ed.). CAB International Institute, Biological Control. Silwood Park, UK. p. 17-26.
- Harrison, B.D. 1985. Advances in geminiviruses research. *Annual Review of Phytopathology* 23: 55-82.
- Hassan, A.A.; Sayed S.F. 1999. Chlorotic pod: a new physiological disorder of greenpodded snap bean, *Phaseolus vulgaris* L. associated with silverleaf whitefly infestation. *Egyptian Journal of Horticulture (Egipto)* 26(2): 213-228.
- Hilje, L; Arboleda, O. 1993. Las moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en América Central y el Caribe. Turrialba, Costa Rica, CAT I E Serie Técnica: Informe Técnico No. 205. 66 p.
- Hilje, L. 1993. Un esquema conceptual para el manejo integrado de la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) en el cultivo del tomate. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 29:51-57.

- Hilje, L; Lastra, R; Zoebisch, T; Calvo, G; Segura, L; Barrantes, L; Alpízar, D; Amador, R. 1993b. Las moscas blancas en Costa Rica. In Las moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae) en América Central y el Caribe. Hilje, L; Arboleda, O. Ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Técnica. Informe Técnico No. 205.66 p.
- Hilje, L.1995.Aspectos bioecológicos de *Bemisia tabaci* en Mesoamérica. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 35:46-54.
- _____ 1996. Introducción. In Metodologías para el estudio y manejo de moscas blancas y geminivirus. Hilje, L. Ed. Turrialba, Costa Rica, CATIE. Serie Materiales de Enseñanza No. 37. p. VII-XV.
- Hilje, L; Stansly, PA. 1998. Development of crop associations for managing geminiviruses vectored by whiteflies in tomatoes. First Annual Progress Report. Turrialba, Costa Rica, CATIE, U.S. Department of Agriculture (USDA). 49 p.
- _____ 1999. Development of crop associations for managing geminiviruses vectored by whiteflies in tomatoes. Second Annual Progress Report. U.S. Turrialba, Costa Rica, CATIE Department of Agriculture (USDA).98 p.
- Hilje, L. 2000. Use of living ground covers for the managing whitefly *Bemisia tabaci* as a geminivirus vector in tomatoes. In Proceedings British Crop Protection Council- Pest & Diseases (2000, Brighton,United Kingdom). v.1. p. 167-170.
- Hilje, L; Stansly, PA. 2001. Development of crop associations for managing geminiviruses vectored by whiteflies in tomatoes. Final Report. U.S.Turrialba, Costa Rica, CATIE Department of Agriculture (USDA). 132 p.
- Hilje, L; Ramírez, P; Sibaja, G ; Morales, F J ; Anderson, P K. 2001. Inventario de biotipos de mosca blanca (*Bemisia tabaci*) y de geminivirus en Costa Rica.(En preparación).
- Hilje, L; Costa, HS; Stansly, PA. 2001b. Cultural practices for managing whiteflies and associated viral diseases. Crop Protection (En prensa).
- Hilje, L; Cubillo, D; Segura, L.1993a. Observaciones ecológicas sobre la mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) en Costa Rica. Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica) 30:24-30.
- Hilje, L; Kass, D; Prins, K; Schlnvoigt, A; Carballo, M; Sánchez, V; Jones, J; Sanabria, G; Granados, R; Castro, OM; Del Valle, G. 2001c. Validación de tecnologías para el manejo del complejo mosca blanca-geminivirus en tomate, mediante investigación participativa. In. Taller Iberoamericano y del Caribe sobre Moscas Blancas y Geminivirus (10, 2001, Varadero, Cuba). Resúmenes. p. 224.
- Howarth, A.J.; Caton, J; Bosset, M.; Goodman, R.M. 1985. Nucleotide sequence of bean golden mosaic virus and a model for gene regulation in gemini viruses. Proceedings of the National Academy of Sciences USA. 82: 3572-3576.
- Ioannou, N. Ed. 1997. Management of the whitefly-virus complex. Rome, Italy, FAO Plant Production and Protection Paper No. 143.
- Jones, D. 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. European Journal of Plant Pathology 109: 197-221.

- Martin, J. H.; Mifsud, D.; Rapisarda, C. 2000. The whiteflies (Hemiptera: Aleyrodidae) of Europe and Mediterranean basin. *Bulletin of Entomological Research* 90: 407-448.
- Mc Auslane, H.J.; Cheng, J.; Carle, R.B.; Schmalstig, J. 2004. Influence of *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae) infestation and squash silverleaf disorder on zucchini seedling growth. *Journal of Economical Entomology* 97(3): 1096-1105.
- Morales, F.J. 1994a. Mosaico Dorado del Fríjol Avances de Investigación 1994. Palmira, Valle del Cauca, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 193 p.
- Morales, F.J.; Anderson, P.K. 2001. The emergence and dissemination of whitefly-transmitted geminiviruses in Latin America. *Archives of Virology* 146: 415- 441.
- Morales, F. J.; Martínez, A. K.; Velasco, A. C. 2003. Nuevos brotes de begomovirus en Colombia. *Fitopatología Colombiana* 26(1): 75-79.
- Morales, F.J.; Niessen, A. 1988. Comparative responses of selected *Phaseolus vulgaris* germoplasm inoculated artificially and naturally with bean golden mosaic virus in *Phaseolus vulgaris* L. *Euphytica* 52: 113-117.
- Mound, L.A.; Hasley, S.H. 1978. Whitefly of the World: a Systematic Catalogue of the Aleyrodidae (Homoptera) with Host Plant and Natural Enemy Data. Wiley, New York, 340 pp.
- Mullineaux, P.M.; Donson, J.; Morris-Krsinich, B.A.M.; Boulton, M.I.; Dacies, J.W. 1984. The nucleotide sequence of maize streak virus DNA. *EMBO Journal* 3: 3063-3068.
- Ohnesorge, B; Gerling, D. Ed. 1986. *Bemisia tabaci*- Ecology and control. Special issue. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 17:1-152.
- Oliveira, M. R. V.; T.J. Henneberry; Anderson, P. 2001. History, current status, and collaborative research projects for *B. tabaci*. *Crop Protection* 20: 709-723.
- Perring, T.M. 1996. Biological differences of two species of *Bemisia* that contribute to adaptive advantage. In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage, control and management*. Gerling, D; Mayer, R.T. Ed. United Kingdom, Intercept. p. 1-16.
- Perring, T. M. 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. *Crop Protection* 20: 725-737.
- Quintero, C.; Cardona, C.; Ramírez, D.; Jiménez, N. 1998. Primer registro del biotipo B de *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) en Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 24(1- 2): 23-28.
- Rodríguez, I.; Morales, H.; Bueno, J.M.; Cardona, C. 2005. El biotipo B de *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) adquiere mayor importancia en el Valle del Cauca. *Revista Colombiana de Entomología* 31(1): 21-28.
- Rojas, M.R. 2000. Los begomovirus. En: *El Mosaico Dorado y otras enfermedades del fríjol común causadas por geminivirus transmitidos por mosca blanca en la América Latina*. F. J. Morales (ed.). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia. p. 87-106.

- Rosset, P; Meneses, R; Lastra, R; González, W. 1990. Estimación de pérdidas e identificación del geminivirus transmitido al tomate por la mosca blanca *Bemisia tabaci* Genn. (Homoptera: Aleyrodidae) en Costa Rica. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 15:24-34.
- Salas, J; Mendoza, O.1995. Biology of the sweet potato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) on tomato. *Florida Entomologist* 78(1): 154-160.
- Secker, A.E.; Bedford, I.A.; Markham, P.G.; William M.E.C. 1998. Squash, a reliable field indicator for the presence of B biotype of tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*. In: Brighton Crop Protection Conference: Pests and Diseases. British Crop Protection Council, Farnham, UK. P 837-842. Secker et al. (1998).
- Schuster, D. J; Mueller, TF; Kring, JB; Price, JF. 1990. Relationship of the sweetpotato whitefly to a new tomato fruit disorder in Florida. *HortScience* 25(12):1618-1620.
- Schuster, D. J; Stansly, PA; Polston, JE. 1996. Expressions of plant damage of *Bemisia*. In *Bemisia 1995: Taxonomy, biology, damage control and management*. Gerling, D; Mayer, RT. Ed. Hants, UK, Andover. p. 153-165.
- Stanley, J.; Marham, P.G.; Callis, R.J.; Pinner, M.S. 1986. The nucleotide sequence of an infectious clone of the geminivirus beet curly top virus. *EMBO Journal* 5: 1761-1767.
- Bisaro D. M. 1996. Geminivirus DNA replication. Pp:833- 854. *DNA Replication in Eucaryotic Cells*. Vol. 31. Cold Spring Harbor Laboratory Press. New York, USA. 1058p.
- Morales F. J and Anderson P. K. 2001. The emergence and dissemination of whitefly-transmitted geminiviruses in Latin America. *Archives of Virology* 146:415–441.
- Czosnek H. 2007. Interactions of Tomato yellow leaf curl virus with its whitefly vector. Pp:157-170. In: Czosnek H. (ed.). *Tomato yellow leaf curl virus Disease: Management, Molecular Biology, Breeding for Resistance*. Vol. VIII. Springer. Dordrecht, The Netherlands. 448p.

Desarrollo sostenible de alimento para engorda de ganado bovino a partir de *Pennisetumsp* (maralfalfa)

Sustainable development of food for beef cattle from *Pennisetumsp* (*maralfalfa*)

Gabriela Magdalena Ortega Mulia¹⁸

* Jorge Aurelio Lois Correa

Diana Isis Llanes Gil López

José Luis Horak Loya¹⁹

Resumen

¹⁸Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA-IPN). Carretera Tampico – Puerto Industrial Altamira km 14.5. CP 89600, Altamira, Tamaulipas. Contacto: *Contacto: joralois@yahoo.com

¹⁹Instituto Tecnológico de Altamira. Carretera Tampico – Mante km 24.5. CP 89600, Altamira, Tamaulipas

Durante la última década, los estados del norte y centro de la República Mexicana han atravesado por sequías fuertes y prolongadas, que causan la escasez de pastos y la baja calidad nutritiva de los que logran ser cultivados, generando pérdidas económicas de gran magnitud en los sectores agropecuario y ganadero. Por este motivo, se estudia la propuesta de formular un alimento para engorde de ganado bovino, usando como materia prima clave, el pasto maralfalfa (*Pennisetumsp*), que además de tener una alta producción de forraje, es capaz de crecer en condiciones de sequía. Se buscará realizar un tratamiento pre-digestivo al pasto adquirido en rollo seco (presentación comercial en la zona norte de Veracruz), con el fin de remover la concentración de lignina de la planta; posteriormente, se formulará el alimento, complementando el pasto pre-digerido con otros insumos de valor energético y proteico conocidos, usando las tablas de la *National Research Council* (NRC), buscando que el diseño tecnológico para el proceso de producción sea técnico-económicamente sustentable. El producto final será consumido por becerros de engorda en etapa de terminación y su efecto será evaluado comparando la ganancia de peso diario que se obtenga, con la de los animales que no consumen la formulación.

Abstract

Over the past decade, the northern and central states of Mexican Republic have gone through severe prolonged droughts, that cause the shortage of pasture and the low nutritional quality of those that manage to be cultivated, causing economic losses of great magnitude in the agricultural and livestock sectors as well. For this reason, the proposal to formulate a feed for fattening cattle using maralfalfa grass (*Pennisetum sp*) as key raw material, which besides having a high production of fodder, it is able to grow in drought conditions, is studied. It seeks to make a pre-digestive treatment to the grass, acquired in a roll dry (commercial presentation in the north of Veracruz), in order to remove the lignin concentration of the plant, then the food will be formulated, complementing pre-digested grass with other inputs of energy and protein known, using the tables of the National

Research Council (NRC), looking for that technological design for production process will be technical and economically sustainable. The final product will be consumed by calves fattening stage of completion and its effect will be evaluated by the daily weight gain that is obtained in comparison with the animals that do not consume the formulation.

Introducción

Según el glosario internacional de hidrología de la organización meteorológica mundial (OMM, 2012), la sequía se define como la “ausencia prolongada o escasez acusada de precipitación”, es durante este periodo, que se desencadena una serie de conflictos medioambientales, sociales y económicos (Esparza, 2014), teniendo efectos directos e indirectos sobre la agricultura y la ganadería, como la erosión del suelo que interfiere con el proceso de crecimiento de la vegetación, provocando una pobre producción de pastos para el consumo de animales de pastoreo, los cuales, frente al calor, el estrés y la falta de alimento, no desarrollan sus funciones metabólicas correctamente, deteriorando su salud y muriendo como consecuencia (SAGARPA, 2012). La comunidad científica investiga tecnologías que enfrenten y solucionen estos problemas desde distintas perspectivas, una de ellas es el desarrollo de complementos alimenticios para ganado bovino utilizando materias primas sustentables, como residuos de la agroindustria o pastos de gran producción de forraje, permitiendo que el alimento tenga bajos costos de elaboración y que genere beneficios económicos a largo plazo.



Figura 1. Maralfalfa (elaboración propia)

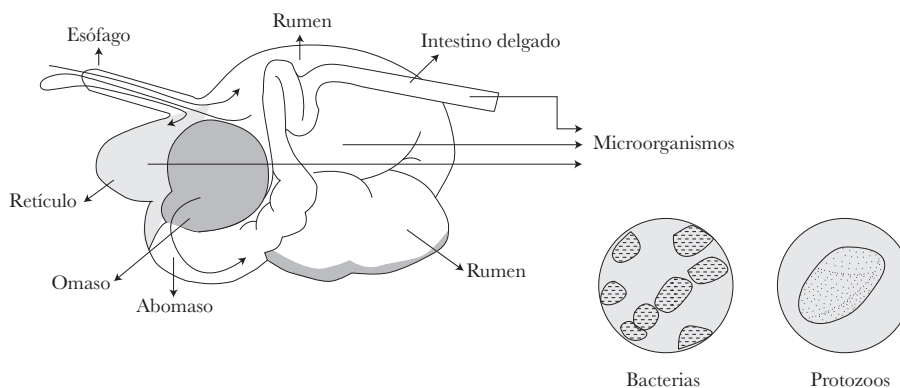
La maralfalfa (*Pennisetum sp*) (Figura 1) es un pasto perenne, que permite de dos a tres cortes al año, logrando una producción de más de 120 t/ha/año (Hinojosa Y, y otros, 2014), además, se ha reportado un contenido de entre 10 y 12% de proteína en etapa de crecimiento óptima (Citalán Cifuentes, y otros, 2012). Este capítulo abordará la propuesta tecnológica de utilizar maralfalfa como materia prima para la formulación de un complemento alimenticio para engorde de ganado bovino, en épocas de déficit hídrico.

Microbiología ruminal

Los rumiantes son capaces de convertir los carbohidratos fibrosos de las plantas, en nutrientes (Rinehart, 2008), degradando los alimentos por digestión fermentativa, gracias a la existencia de diferentes tipos de microorganismos (mo), tales como bacterias, protozoarios y hongos, que se encuentran alojados en sus cavidades estomacales, a diferencia de las especies no-rumiantes que utilizan enzimas

producidas en el mismo organismo (Relling & Mattioli, 2003). Estas cavidades conforman una cámara pre-gástrica formada por el retículo, el rumen y el omaso (Van Lier & Regueiro, 2008), que anteceden al abomaso (de función análoga al estómago monogástrico). En la Figura 2 se puede apreciar la distribución de los estómagos en el interior de un bovino.

Figura 2. Digestión poligástrica (elaboración propia)



Alrededor del 4% del volumen total del rumen es de contenido microbiano, del cual cerca del 50% es de origen bacteriano y 50% protozoario (Grudsky & Arias, 2015), siendo identificados 22 géneros y 63 especies de bacterias anaerobias, en una concentración de 10^9 a 10^{10} u/g de contenido ruminal y de aerobias facultativas en 10^4 u/g; así como 6 géneros y 16 especies de protozoarios con una concentración de 10^4 a 10^6 u/g. También, se han identificado 3 géneros y 4 especies de hongos, no obstante, su presencia en el rumen es mucho menor debido a su tasa de reproducción (Vargas, 2010). En el cuadro 1 se puede observar la clasificación de las bacterias ruminales, en función de los sustratos que utiliza, y los productos que genera.

Cuadro 1. Clasificación de las bacterias ruminales (Relling & Mattioli, 2003)

Grupo de bacterias	Característica funcional	Principales productos finales de su metabolismo
Celulolíticas	Fermentan hidratos de carbono estructurales de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y pectinas)	AGV (especialmente acetato)
Amilolíticas	Fermentan hidratos de carbono de reserva de granos de almidón	AGV (especialmente propionato)
Sacarolíticas	Fermentan hidratos de carbono simples (azúcares vegetales)	AGV (especialmente butirato)
Lactolíticas	Metabolizan el lactato	AGV (especialmente propionato)
Lipolíticas	Metabolizan las grasas	Ácidos grasos libres y AGV (especialmente propionato)
Proteolíticas	Degradan las proteínas	AGV y amoníaco (NH_3)
Metanógenas	Producen metano	Metano (CH_4)
Ureolíticas	Hidrolizan la urea	CO_2 y NH_3

Losmo presentes en el rumen, fermentan de forma anaerobia el alimento consumido, produciendo ácidos grasos volátiles (AVG), CH₄ y CO₂. Los AVGs sirven de fuente de energía y carbono para el animal, y los gases son expulsados por medio de la eructación, por su parte, la fermentación, proporciona a los mo energía para su desarrollo y división. El rumiante interviene durante el proceso, proporcionando las condiciones fisicoquímicas adecuadas para la operación de los mo, como la regulación del pH, la temperatura y el control de la tasa de renovación de los alimentos en el rumen.

Maralfalfa (*Pennisetum*sp): Generalidades

Existen varias teorías respecto al origen de la maralfalfa, una de ellas explica que es el resultado de una serie de ensayos realizados por el biólogo genetista José Bernal Restrepo, quien combinó varias fuentes forrajeras utilizando un procedimiento de diseño propio llamado Sistema Químico Biológico (SQB), sin embargo, los fundamentos de la metodología no son explicados por el autor, lo que le resta seriedad a sus publicaciones. En el cuadro 2, se muestra la combinación de pastos que Bernal propuso (Correa Cardona, Arroyave, Henao, López, & Cerón, 2015). Se cree que la maralfalfa podría corresponder a un *Pennisetum hybridum* comercializado en Brasil como *Elefante Paraíso Matsuda*. Lo que es claro, es que la maralfalfa es una planta herbácea y perenne de la familia de las gramíneas o *Poaceae*, una de las familias más importantes económicamente hablando, que cuenta con 6 subfamilias, 26 tribus, 30 subtribus, 206 géneros y más de 1000 especies (Valdés Reyna, Patricia, & Dávila, 1995).

Fuentes	Productos
Pasto elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>) + grama nativa de Colombia (<i>Paspalum macrophyllum</i>) = X X + Gramalote (<i>Paspalum fasciculatum</i>)	Gramafante (1965)
Gramafante + Guaratara (<i>Axonopus purpussi</i>)	Gramafante (1965)
Maravilla + Alfalfa Colombia [Alfalfa Peruana (<i>Medicago Sativa</i> Linn) + Brasileiro (<i>Phalarisazudinacea</i> Linn)]	Maralfalfa (1979)

Cuadro 2. Origen de la maralfalfa (elaboración propia)

Se desarrolla en regiones de clima tropical y subtropical, y se caracteriza por la fotosíntesis de tipo C4 (Lalama Vela & Ramírez Alava, 2009). Los tallos de la maralfalfa están compuestos por nudos y entrenudos; de los nudos inferiores surgen las raíces de manera adventicia y pueden presentarse varias cañas en la misma raíz. También de los nudos surge la vaina de la hoja, cubriéndolos de manera justa y traslapada, comúnmente presenta bordes libres y pilosos. La longitud y ancho de las hojas es variable dentro de la misma planta y la presencia de pelos en la hoja es característica de la especie. La lígula, que es la región que une el limbo con la vaina, presenta corona de pelos, otra característica de la especie. Los entrenudos son cortos en la parte inferior de la caña y se alargan hacia la parte superior. Tiene una flor similar al trigo y su altura puede llegar hasta los cuatro metros (Sevilla, 2011). En la Figura 3 se pueden observar algunas de estas características.

Figura 3. Características de la maralfalfa (elaboración propia)



Relación fibra– lignina

La fibra conforma la pared celular de las plantas y le brinda estructura y rigidez a las mismas. Está conformada principalmente por celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina, de igual forma, contiene cutina, sílice y otras sustancias en menor proporción (Gorosito, 1997). Esta estructura, está dispuesta en redes de lignina-hidratos de carbono y su composición es variable según la planta (Chávez-Sifontes & Domine, 2013). Los rumiantes deben consumir una cantidad determinada para estimular la rumia y la salivación, si el consumo es bajo, se produce un mayor llenado ruminal y una disminución en la tasa de pasaje, reduciendo el consumo de alimentos; si, por otra parte es excesivo, se pueden generar enfermedades como la acidosis, laminitis o desplazamiento del abomaso. La fibra solo se degrada en el rumen y de acuerdo con Bargo, Palladino, & Wawrzkiwicz (2006), el grado de lignificación de la pared celular es una de las principales limitantes a la digestión.

La lignina es un polímero natural complejo, formado principalmente por unidades monoméricas de p-cumanil, conifenil y sinapil, que se encuentran unidos entre sí por enlaces covalentes carbono-carbono y carbono-oxígeno-carbono (éter) siendo difícil de hidrolizar (Llanes Gil López, 2012).

Chávez-Sifontes & Domine, presentan algunas de las características de la lignina:

1. Son polímeros vegetales a base de monómeros fenilpropanoides.
2. Presentan, principalmente grupos metoxilo.
3. Son resistentes a la hidrólisis ácida.
4. Se oxidan fácilmente.
5. Son solubles en álcali caliente.
6. Se condensan fácilmente con fenoles o tioles.

Objetivo general

Formular un complemento alimenticio económicamente sustentable, que sea capaz de reactivar la microbiotaruminal, basado en maralfalfa (*Pennisetum sp*) pre-digerida y enriquecida con insumos de alto valor nutritivo, que al ser consumido por el ganado, le permita asimilar los nutrientes que necesite de su dieta regular, y aumentar su peso en época de sequía.

Objetivos específicos

1. Realizar un tratamiento químico pre-digestivo para aumentar la digestibilidad de la maralfalfa, a base de hidróxido de sodio (NaOH) y miel-urea.

2. Evaluar los cambios en la morfología y estructura química de la maralfalfa debidos al tratamiento pre-digestivo.

3. Formular un alimento a base de maralfalfa pre-digerida, complementada con otros insumos de valor energético y proteico conocidos.

4. Suministrar la formulación durante 40 días, en época de sequía, a cinco becerros de engorda suizos-cebú en etapa de terminación, en condiciones de pastoreo, evaluando su efecto en la ganancia de peso diario y la actividad microbiana del líquido ruminal por comparación con los de cinco testigos, bajo las mismas condiciones.

5. Realizar un diseño tecnológico y un análisis técnico-económico para determinar el grado de viabilidad de la producción del reactivador.

Resultados esperados

Se espera que el tratamiento pre-digestivo provoque una ruptura en la estructura de la lignina, pudiendo observarse mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (IR-FT) y Microscopía Confocal con Barrido Láser (MCBL), siendo evidencia de que el tratamiento permite aumentar la digestibilidad de la maralfalfa. De igual forma se espera que la administración del reactivador ruminal provoque un aumento de peso considerablemente mayor, en los becerros de estudio, en comparación con los testigos, que no consumieron el producto, así como el aumento en las poblaciones microbianas del líquido ruminal. Así mismo, se espera que al tratarse de un pasto de gran producción de forraje, la tecnología de producción del reactivador sea económicamente sustentable.

Agradecimientos

Al Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA-IPN) Unidad Altamira, al Instituto Tecnológico de Altamira (ITA), a los proyectos SIP-20140206 y SIP-20151141, a la Asociación Ganadera de Ozuluama, Veracruz y a la Beca de Estímulo Institucional de Formación de Investigadores (BEIFI).

Bibliografía

- Bargo, F., Palladino, A., & Wawrzkiwicz, M. (2006). La Fibra. Recuperado el 15 de Junio de 2015, de Sitio Argentino de Producción Animal: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/66-fibra.pdf
- Caballero, M., Lozano, S., & Ortega, B. (2007). Efecto invernadero, calentamiento global y cambio climático: Una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*.
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 15-46.
- Citalán Cifuentes, L., Domínguez Coutiño, B., Orantes Zebadúa, M. Á., Manzur Cruz, A., Sánchez Muñoz, B., De los Santos Lara, M. d., y otros. (2012). Evaluación nutricional de maralfalfa (*Pennisetum* spp) en las diferentes etapas de crecimiento en el rancho San Daniel, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. *Quehacer Científico Chiapas*, 19-23.
- Correa Cardona, H. J., Arroyave, H., Henao, Y., López, A., & Cerón, J. (2005). *Pasto maralfalfa: Mitos y realidades*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Esparza, M. (2014). La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras. Secuencia. *Revista de historia y ciencias sociales*, 193-219.
- Gorosito, R. (1997). *Cantidad, calidad y tamaño de fibra en la dieta de las vacas lecheras*. Recuperado el 15 de Junio de 2015, de Sitio Argentino de Producción Animal: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/70-fibra_en_lecheras.pdf
- Grudsky, R., & Arias, J. L. (24 de Febrero de 2015). *Aspectos generales de la microbiología del rumen*. Obtenido de Sitio argentino de producción animal: http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/12-microbiologia.pdf
- Hinojosa Y., L. A., Yopez N., D., Rodal C., F., Ríos O., A., Claros B., R., Suárez N., T., y otros. (2014). Producción y características agronómicas de cuatro variedades de pasto de corte del género *Pennisetum*, en Trinidad, Bolivia. *Agrociencias Amazonia No. 3*, 28-34.
- Lalama Vela, G. A., & Ramírez Alava, A. (2009). *Determinación de la calidad nutricional de la maralfalfa (*Pennisetum* sp) en la alimentación de ganado bovino en el valle de Chillos hacienda La Guadalupeana*. Ecuador, Quito: Universidad las Américas (Tesis de Licenciatura).
- Llanes Gil López, D. I. (2012). *Desarrollo técnico-económicamente viable de harinas forrajeras predigeridas y enriquecidas proteicamente a partir del bagazo de la caña de azúcar*. Altamira, México: Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA-IPN) (Tesis de Maestría).
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2012). *Glosario Internacional de Hidrología*. Ginebra, Suiza.
- Relling, A. E., & Mattioli, G. A. (2003). *Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes*. La Plata: EDULP.
- Rinehart, L. (2008). Nutrición para rumiantes en pastoreo. *ATTRA*.

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2012). México: El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático.
- Sevilla, P. (2011). La utilización de la maralfalfa como alimento principal en la explotación bovina de carne de la finca Pulpaná del Cantón Sigchos. Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Agronómica.
- Valdés Reyna, J., Patricia, E., & Dávila, A. (1995). Clasificación de los géneros de gramíneas (Poaceae) mexicanas. *Acta Botánica Mexicana*, núm. 33, 37-50.
- Van Lier, E., & Regueiro, M. (2008). Digestión en retículo-rumen. *Curso de anatomía y fisiología animal*. Montevideo, Uruguay.
- Vargas, L. (2010). Rumen: morfofisiología, trastornos y modulación de la actividad fermentativa. *Morfocinética ruminal*. Chile: América Ltda.

Factores presionantes sobre la sostenibilidad en la agroindustria de azúcar de caña en México

Factors that influence the sustainability in the sugar cane agro-industry of Mexico

*Jorge A. Lois Correa²⁰
Diana I. Llanes Gil López
Vanessa N. Orta Guzmán
María E. Sánchez Pardo²¹

Resumen

²⁰*Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología de Avanzada. CICATA-IPN. Km. 14.5 Carretera Tampico-Puerto Industrial Altamira. Altamira 89600, Tamaulipas, México. *Contacto: joralois@yahoo.com*

²¹*Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. ENCB-IPN. Campus Casco Santo Tomás. México DF*

Se mencionan y analizan las causas que determinan que la producción agroindustrial de la caña de azúcar en México esté aún lejos de ser sostenible a pesar de su carácter estratégico que mantiene productivas a casi 700 000 Ha con una producción anual de cerca de 5.0 millones de t de azúcar. Se expone su situación actual, las funciones económicas importantes que han caracterizado su desarrollo y el hecho de que representa una fuente de ingreso de más de 3.0 millones de mexicanos y la oportunidad de desarrollo económico y social en cerca de 230 municipios y 15 estados. Los factores que con mayor fuerza presionan la falta de sostenibilidad de esta industria son: a) La quema de caña previo a su cosecha, y la falta de reciclaje de los RAC (residuos agrícolas de caña), b) El excesivo consumo de energía y de productos químicos c) Las emisiones contaminantes, d) El deterioro del medio ambiente afectándose las condiciones laborales y de salud de los trabajadores, e) La ausencia de una política de diversificación y conversión de los subproductos en co-productos de valor agregado y f) Los elevados costos de producción. Igualmente, se proponen estrategias que coadyuven a enfrentar con éxito la competencia en el mercado de edulcorantes y bio-energéticos con productos de calidad provenientes de procesos rentables y sustentables.

Abstract

The causes for determining that Mexican sugar cane agro-industrial production is still far from being sustainable despite its strategic character that keeps productive almost 700 000 ha with an annual production of about 5.0 million t of sugar are mentioned and analyzed. Outlining its current situation, as well as the important economic functions that have characterized its development and the fact that it represents a source of income of more than 3.0 million Mexicans and an opportunity for economic and social development in more than 230 municipalities and 15 states. The factors that more forcefully push the lack of sustainability of this industry are: a) the burning of cane prior to harvest, and the lack of recycling of agricultural residues, b) excessive consumption of energy and chemicals, c) the emission of pollutants, d) the deterioration of the environment affecting the working conditions and health of workers, e) the absence of a policy

for diversification and conversion of the by-products in value-added co-products f) the high costs of production. Also, strategies that contribute to successfully face the competition in the market of sweeteners and bio-energy with products of quality from profitable and sustainable processes are proposed.

Introducción

Los humanos requieren el azúcar en su alimentación, al constituir éste un alimento perfecto, en una forma tal que permite ser asimilado por el organismo. Su valor principal estriba en ser un productor de energía y estar especialmente bien adaptado para su uso después de un fuerte ejercicio físico. Una gran industria azucarera se ha desarrollado relacionada con la extracción de azúcar de los tejidos de la planta, su purificación y refinación, y buena prueba de ello se refleja en el hecho de que adicionalmente, más de 10 mil diferentes co-productos químicos derivados se han sintetizado a través de su historia.

Las áreas cañeras del mundo están en la faja de 35° LS y 35° LN y la cosecha global de *Saccharum* spp., durante 2012, fue de 26 088 636 ha, cuyo cultivo es realizado en 113 países. El mayor productor mundial de caña de azúcar es Brasil, con 9 075 388 ha cultivadas (FAO-STAT, 2014 a;b) y con 421 ingenios (un ingenio produce azúcar, etanol y electricidad; ÚNICA, 2013; Jornal Cana, 2014). La importancia del cultivo de la caña de azúcar reside en la posibilidad de obtener numerosos co-productos, algunos de ellos de alto valor agregado. Ésta es la principal razón para cosecharla en forma mecanizada sin quemarla previamente, para no causar pérdidas económicas y ambientales, como se había creído originalmente (Cuba, 2012).

La caña de azúcar es una gramínea con un tallo grueso y fibroso, que crece hasta alcanzar los 6.0 m de altura. Las variedades comerciales de la caña de azúcar son híbridos complejos de varias especies dentro del género *Saccharum*. La especie más conocida es *Saccharum officinarum*. Las plantas de caña de azúcar almacenan sacarosa en la savia del tallo para llenar las semillas luego de la floración. Sin embargo, es importante que los cultivos de caña de azúcar no florezcan para que den altos rendimientos de azúcar. En el momento de la cosecha, la caña contiene aproximadamente 10% de azúcar, lo cual cambia según la variedad y la estación y el lugar.

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es uno de los cultivos más importantes de México, ya que genera alrededor de 440 mil empleos directos y 2.6 millones de empleos indirectos. Se adapta a casi cualquier tipo de suelo, aunque se desarrolla mejor en suelos francos, profundos y bien drenados. Se prefieren suelos con un pH de 7.4, pero se puede cultivar en un rango de 5.5 a 7.8 (Ramírez, 2008). En el país se tiene establecida una superficie aproximada de 680 mil ha. La agroindustria de azúcar de caña ha sido una rama importante para el desarrollo económico del país cumpliendo importantes funciones. Según los datos de FAO, en el mundo se sembraron cerca de 22.0 millones de hectáreas de caña de azúcar en el 2009, siendo Brasil el mayor con 8.0 millones de Ha, seguido por India (4.4×10^6 Ha), China (1.63×10^6 Ha) y Pakistán (1.03 Ha), por consiguiente Brasil (40,88%), India (20,9%), China (7,75%) y Pakistán (4,89%), son los que mayor área de siembra destinaron al cultivo.

Estos cuatro países siembran más del 74,42% de la superficie mundial (USAID, 2011). La producción de azúcar en México había permanecido estable en alrededor de 5.1 millones de toneladas en promedio durante los últimos 10 años. En la zafra 2011/12 la producción del edulcorante registró un volumen de 5.04 millones de toneladas, es decir, una reducción de 2.6% respecto a la zafra anterior, y en la zafra siguiente, 2012/13 el pronóstico nacional de producción del endulzante había sido 5.6 millones de toneladas, indicando un incremento de 12.3% a tasa anual respecto de la zafra previa. Dicho crecimiento obedecía a un aumento de 2.3% de la superficie de caña, 5.5% en el rendimiento, y de 7.8% en la caña industrializable (toneladas de caña molida). De esta forma, según los datos reportados pronosticados de azúcar para la zafra 2012/13 se esperaba que fuera la segunda mejor producción desde la zafra 1969/70. Entidades como Veracruz, Jalisco y San Luis Potosí habrían concentrado 58.6% de la producción de azúcar para esa zafra 2012/13 con un volumen estimado de 3.3 millones de toneladas. Sin embargo, en el período 2013-2014, México bajó en la producción de azúcar estimativamente, casi un millón de toneladas en relación con la zafra anterior; Estados Unidos también tuvo una merma en su producción de azúcar de caña y de remolacha, donde la región volvió a ser deficitaria en ese ciclo 2013-2014 (El Informante, 2013).

Importancia de la caña de azúcar

La caña de azúcar es un inmenso monocultivo (FAOSTAT, 2014_{ab}). El punto de saturación lumínica entre 8 000 a 10 000 pie velas. Ha llegado a producir altos rendimientos, pero ha causado grandes problemas de estabilidad ecológica de los agro-sistemas donde el cultivo es atacado por diversas plagas de enfermedades, roedores, nematodos, insectos y malezas invasoras (Córdova, 2014). La temperatura óptima para la caña de azúcar está entre 30 y 45 0 C. El punto de compensación de CO₂ de 0 a 10 mg kg CO₂ (Gliessman, 2002; Córdova, et. al, 2014). La tasa fotosintética máxima, de 30 a 45 mg CO₂ dm²·h, y la tasa de crecimiento máximo de la fitomasa de 4.0 g dm²·día⁻¹ (Gliessman, 2002; Martínez, 1995). La caña de azúcar ocupa un área de 20.42 millones de hectáreas en todo el mundo, con una producción total de 1 333 millones de toneladas métricas. El área cultivada con caña de azúcar y la productividad difieren considerablemente de un país a otro.

La industria azucarera mexicana ha sido históricamente una de las más importantes del país debido a la gran fuerza del sector agropecuario. En su desarrollo ha cumplido funciones económicas importantes, tales como producir un producto básico, abastecer de materias primas a otras industrias, generar empleos directos e indirectos, servir de mercado interno y a portar divisas, vía exportaciones, (Arguello-Zepeda, 2009). Los primeros ingenios eran trapiches de tracción animal y su capacidad de producción era muy limitada. Sin embargo, el posicionamiento político, la invasión del desarrollo urbano, el mayor control del medio ambiente, la competencia por el uso de la tierra de otros cultivos y la silvicultura, así como la diversidad existente entre las regiones productoras de azúcar son factores que han venido afectando la capacidad de esta industria en México para que pueda coincidir con los criterios de sostenibilidad. En el mundo globalizado es necesario que las actividades agropecuarias y pesqueras

vayan más allá de la producción de alimentos y materias primas. Para enfrentar los retos de la sociedad mundial es preciso diversificar y darle valor agregado a los productos del campo y del mar. Desafortunadamente, no se puede afirmar que exista en México una rigurosa aplicación reglamentaria acerca de la gestión del riesgo y la mejora continua de nuevas prácticas agrícolas que realizan los productores azucareros para la sostenibilidad económica, social y ambiental siendo el resultado de una insuficiente reinversión en las instalaciones fabriles, el exceso de empleados en algunos ingenios y de un alto consumo de energía, lo cual elevó los costos de producción del azúcar. Con ello se ha mermado el potencial competitivo de esta rama productiva en el contexto del TLC, a la vez que se han presentado algunos problemas ambientales, debido al ruido excesivo en la fábrica y a emisiones contaminantes de diversa índole que han venido deteriorando las condiciones laborales y de salud de los trabajadores del campo cañero y de la fábrica.

Materiales y métodos

Situación actual en México. La caña de azúcar se desarrolla, de acuerdo a las estadísticas, en 230 municipios de los 15 estados de la república y en los cuales, vive el 10 por ciento de la población nacional, y a su vez, de alguna manera la economía de esas regiones, vive de la producción de la caña de azúcar.

México, es uno de los diez países con mayor superficie cosechada y producción de caña de azúcar a nivel mundial. De acuerdo a estadísticas obtenidas del Senado de la República, la industria azucarera emplea alrededor de 3.0 millones de mexicanos y se extiende por cerca de 230 municipios en 15 estados de la república.

En todo el país más de 160 000 productores de caña dependen de esta industria, igual que la agroindustria depende de ellos. Lo mismo podemos decir de los más de 20 000 obreros; 175 000 cortadores que laboran en la zafra, 28 000 choferes de camiones y 16 000 empleados de oficinas. Esto sin considerar a las compañías distribuidoras y comercializadoras.

A pesar de su importancia económica, la producción y el procesamiento agroindustrial de la caña en México están aún lejos de ser una industria sostenible a pesar de ser actividades muy importantes en el país que impacta el 0.5 % del PIB. Con un rendimiento promedio de 73.15 ton/ha, las 42 547 000 ton de caña que se obtienen anualmente en México producen cerca de 5.0 millones de ton de azúcar (Lois-Correa, 2010). En la Tabla 1 se muestra el rendimiento agrícola de los principales países productores de caña de azúcar en la región (FAO, 2002-2006). México elevó sus estimaciones para la producción de azúcar en ese ciclo a lo que podría ser un nuevo récord de 6.68 millones de toneladas, debido a una mayor superficie sembrada y a un mejor rendimiento, dijo un comité sectorial en su más reciente proyección.

México esperaba producir 6.25 millones de toneladas en el ciclo 2012/13, según estimaciones del Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar (CONADESUCA), un organismo oficial que reúne a propietarios de ingenios, productores de caña y al gobierno. De llegar a alcanzar esa meta, la producción hubiera sido mayor al récord de 5.8 millones de toneladas alcanzadas en el ciclo 2004/05.

Tabla 1. Rendimiento agrícola de caña de azúcar por países. (Fuente: FAO Statistics. Promedios 2002-2006)

País	Ton/Hectárea
Perú	109.68
Guatemala	96.03
Colombia	91.57
Ecuador	73.72
Brasil	73.15
México	72.72
Venezuela	70.44
Argentina	65.21
República Dominicana	52.56
Cuba	30.79

Rezagos tecnológicos. Insuficientes remodelaciones y reinversiones en las instalaciones agro-industriales de los ingenios, y los excesivos consumos energéticos y de productos químicos, aunados a la elevación en los costos de producción, han sido las causas principales de los rezagos tecnológicos y del surgimiento de la crisis que ha venido afectando la industria azucarera mexicana en las últimas dos décadas. Otros factores no menos importantes son los problemas de impacto ambiental derivados del excesivo ruido de instalaciones en niveles de obsolescencia, las significativas emisiones contaminantes en el ingenio y también en el campo, han venido afectando la salud de los trabajadores del ingenio y los que laboran en el campo, así como a los habitantes de localidades cercanas (Arroche-Herrera, 2004). Pese a los modestos avances técnicos alcanzados en México, todavía existe una brecha tecnológica con respecto a otros países, tales como Perú, Guatemala y Colombia en cuanto al rendimiento de campo tal y como se puede apreciar en la Tabla 1 (FAO, 2002-2006).

Tabla 2. Datos del campo cañero mexicano.

Superficie cosechada	683 598 Ha
CO ₂ a la atmósfera por la quema de cañaverales	561 917 ton
CO ₂ recuperado por la fotosíntesis	449 534 ton
CO ₂ excedente a la atmósfera	724 767 ton /161.22%
Caña cosechada neta	56 865 076 ton
Caña perdida por transportación (17.6 %)	8 510 418 ton
Caña molida	48 354 649 ton
Residuos Agrícolas de la Caña de Azúcar (RAC)	64 258 ton

Existe aún un desarrollo heterogéneo de la industria azucarera mexicana, marcado por ingenios de alta, media y baja productividad (García y Escalante, 1997). Estas diferencias se originaron desde la fundación arbitraria de algunos ingenios en zonas no aptas para el cultivo de la caña, y también ha influido en ello la deficiente administración de los ingenios. Otros problemas recientes de la industria son la pérdida de empleos que trajo consigo la reconversión de esta industria en los años noventa, así como el deterioro del medio ambiente

que ocasionan los ingenios. En las Tablas 2 y 3 se muestran los principales indicadores productivos del campo y fábricas de azúcar mexicano en los que se puede apreciar que el total de emisiones de CO₂ solamente por la quema de caña supera las 560 mil ton que sumado al CO₂ excedente emitido a la atmósfera representa un total de 1.29 millones de t de CO₂ emitidos a la atmósfera.

Rendimiento en fábrica	11.11%
Agua utilizada para elaboración de azúcar	20 792 499 m ³
Cachaza obtenida	1 595 703 ton
Azúcar producida	5 467 098 ton
CO ₂ emitido por la elaboración de azúcar	500 000 ton
Excedente de CO ₂ emitido por los ingenios azucareros	50 466 ton
Miel final	1 257 220 ton
Bagazo	11 169 923 ton

Tabla 3. Datos promedio de la industria de azúcar de caña en México.

Resultados y discusión

Impacto medioambiental de la industria azucarera. Gran cantidad de factores de conjunto dictan la práctica agro-industrial. Por ejemplo, en la mayoría de las zonas azucareras, los incendios son comunes durante la cosecha de la caña esgrimiéndose variadas justificaciones en su aplicación, mientras que en otras regiones,- unas muy pocas,- desde hace años, los incendios de caña han sido reemplazados por la cosecha de caña verde, la mecanización y el encamado de los surcos con los RAC, residuos agrícolas de la caña (Aroche-Herrera, 2004).

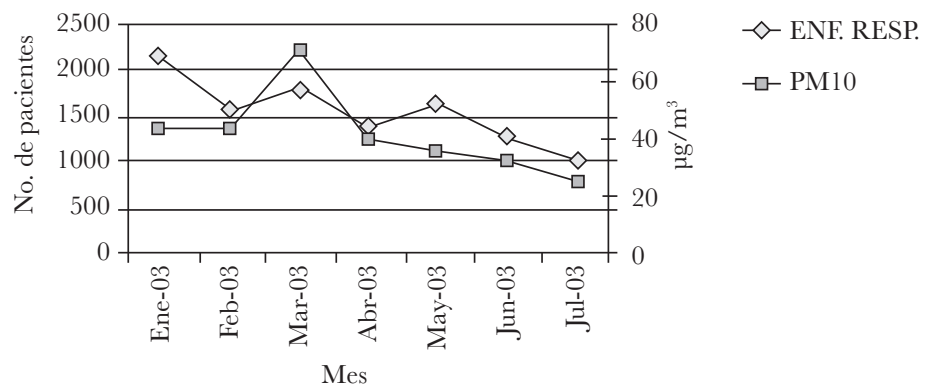
La quema de cerca de 700 mil Ha de superficie de caña cosechada en México, representa una significativa emisión de alrededor de 560 mil t de CO₂ a la atmósfera. Esto genera emisiones a la atmósfera, principalmente de PST y monóxido de carbono que, dependiendo de las condiciones locales y técnicas aplicadas de quema pueden tener incidencia en la salud humana. Debido a las condiciones climatológicas y las características aerodinámicas de las partículas emitidas por la quema de caña, éstas logran viajar largas distancias, por lo que sus concentraciones pueden afectar no solo regiones aledañas a la zona cañera. De acuerdo a modelos de dispersión analizados, las concentraciones pueden permanecer altas hasta distancias de aproximadamente 50 km.

Cuando se efectúa la quema de caña se produce contaminación. Puede ser vista en el día como una lluvia de trozos de cenizas que cae sobre toda la ciudad. Estas cenizas van acompañadas de una serie de gases no visibles y humo que agravan los problemas. La combustión produce gases como monóxido de nitrógeno que tiene efectos tóxicos sobre los humanos; anhídrido sulfuroso, que al unirse con el agua de la atmósfera forma las llamadas *lluvias ácidas* y tiene efectos irritantes en la vista y en concentración de 0,5 ppm elimina la vegetación; el anhídrido carbónico en reacción fotoquímica produce irritación en los ojos y afecta las vías respiratorias. También se producen cenizas que contienen potasio en altas cantidades y en presencia del agua tienen un alto poder corrosivo sobre diversas superficies (autos, casa, estantes, etc.), además

de manchar la ropa y crear contaminación estética (basura) que resulta costoso eliminar (García, R., 1997).

En un estudio realizado para determinar la incidencia del particulado provocado por la quema de caña sobre el número de pacientes por mes con enfermedades respiratorias y las concentraciones de PM10, se notó que al disminuir PM10 de mayo a junio decrecía también el número de pacientes; sin embargo, en los meses más fríos hay otros factores que influyen sobre las enfermedades respiratorias, pareciera ser que la elevación del nivel de PM10 en marzo tuviera relación con este tipo de enfermedades. En la Figura 1 se muestra cómo influye la presencia de PM10 sobre el número de pacientes (Ruiz, M., 2008).

Figura 1. Concentración de PM10 y Frecuencia de afecciones y enfermedades respiratorias (Fuente: Ruiz, 2008).



- **Contaminación por nutrientes y pesticidas.** El uso intensivo de agroquímicos para el cultivo de la caña de azúcar contamina cuerpos acuíferos pudiendo también afectar a organismos de poca importancia económica, pero esenciales para la formación de redes alimenticias complejas que contribuyen a la biodiversidad y estabilidad del ecosistema. Para ello, los organismos de protección del medio ambiente deberían ser más activos y la legislación más completa.

- **Generación de efluentes líquidos.** En la última etapa del proceso de producción de azúcar, en la fábrica se expide agua con una alta carga orgánica, aceites y grasa; sin embargo, no siempre se cuenta con eficientes sistemas de tratamiento de agua industrial.

- **Degradación de suelos.** El incremento de la acidez de los suelos es más frecuente en las plantaciones de caña debido al uso de fertilizantes nitrogenados como la urea y el sulfato de amonio. Cuando tienen lugar fuertes lluvias, se originan lixiviados de sulfatos que promueven la acidificación del suelo (García, L., 1997).

La causa básica de muchos de los problemas ambientales de las regiones azucareras de México, radica en que la legislación ambiental no se aplica como corresponde y en la baja capacidad para formular proyectos ambientales (Arguello-Zepeda, F.J., 2009).

Factores de riesgo. En la industria azucarera mexicana se registra una tasa de accidentes que oscila entre el 9 y 10 %, cuatro veces mayor al promedio nacional

en la industria manufacturera así como al de la economía en su conjunto La mayoría de los ingenios del país aún presenta una situación laboral riesgosa, debido a los siguientes factores (Espinosa, G. 2002):

a) Mal estado de las instalaciones, pues a pesar de la supuesta reconversión azucarera, el 39 % del total de ingenios sólo actualizaron sus equipos y parcharon maquinaria obsoleta.

b) Falta de uso del equipo de protección, bien por negligencia del ingenio o por la costumbre de los trabajadores.

c) Tipo de substancias que se impregnan en toda la fábrica, lo cual potencia la ocurrencia de accidentes.

En el campo cañero, no se puede afirmar que la situación sea mejor ya que los cortadores de caña afrontan condiciones de vida muy difíciles, su trabajo es temporal, con extenuantes jornadas laborales, su pago es a destajo, y se exponen a quemaduras por el medio en que se desenvuelven. A pesar de la tendencia existente a la mecanización de la cosecha de la caña (en mayor medida el alce que el corte), aún se presentan problemas serios de salud en los trabajadores obligados a recurrir a los servicios médicos disponibles. Según datos del IMSS, los cortadores que acuden en busca de atención presentan diversas enfermedades, de tipo nutricional, además de algunos padecimientos relacionados con riesgos físicos vinculados a las operaciones del corte y alza de la caña de azúcar. De aquí se infiere la necesidad de implementar una política ambiental que no sólo maneje la protección a la salud en el discurso, sino que busque los mecanismos reales para lograrla (Arguello-Zepeda, 2009).

Factores presionantes sobre la sostenibilidad. Sostenibilidad es un concepto que debe implicar tres factores esenciales: personas, planeta y beneficios. La caña de azúcar en México puede llegar a convertirse en una industria sostenible al igual que lo han logrado otros países como Brasil, que han alcanzado avances significativos en su sostenibilidad. Se demuestra que un ingenio típico de hoy día, puede procesar el doble de la caña de azúcar con el mismo equipo y con aproximadamente la misma energía, mantenimiento, mano de obra, agua, etc. de manera que sea factible producir tanto como el doble de producto (Fingerut, J., 2010).

Los principales problemas medioambientales que se registran son:

- Degradación de los suelos.
- Afectaciones a la cobertura forestal.
- Contaminación.
- Carencia de agua.
- Pérdida de la diversidad biológica.

En términos de impacto sobre el medio ambiente, se reconoce que toda actividad económica tiene en mayor o menor grado un impacto, pero en el caso de México la agroindustria de la caña constantemente demuestra que su producción y procesamiento son viables solamente en el largo plazo. Diferentes análisis económicos realizados han indicado más utilidad con caña verde (197%) en comparación con una vez quemada (143%) y dos veces quemada (100%) presentando la caña verde un 35% mayor cantidad de energía producida por unidad invertida.

Alternativas y acciones dirigidas al logro de la sostenibilidad azucarera

Es justo reconocer que muchas de las investigaciones en la industria del azúcar de caña en México tienen un enfoque de sostenibilidad. Existen enfoques de trabajo acerca de la reducción de las necesidades de fertilizantes, las mejoras en la focalización y la eficacia del uso de plaguicidas, tolerancia a la sequía de nuevas variedades y sistemas de cultivo con insumos más bajos y menores pérdidas, así como el formidable potencial económico y ambiental que brindarían los RAC como materia prima para el desarrollo de co-productos de valor agregado si se cambiara el sistema de cosecha en caña quemada por la de caña verde, son todos ejemplos de la investigación dedicada a mejorar la sostenibilidad expresada en términos de utilización integral de la caña. Sin embargo, no siempre se puede afirmar que la transferencia y aplicación de estos resultados en la práctica social haya sido exitoso ni que contribuyera a la creación de una sólida y verdadera cultura de desarrollo sostenible.

México debe cesar la nociva quema de caña y aprovechar todos los residuos agrícolas de la caña RAC, mediante su reciclaje en los campos de caña, así como en su aprovechamiento energético. El uso de energía y productos químicos en el procesamiento industrial también debe reducirse considerablemente.

El uso y conversión de las melazas, el bagazo de la caña de azúcar, y otros subproductos, en un amplio surtido de co-productos, algunos de ellos de alto valor agregado, la producción de bioplásticos y el establecimiento de una sólida base de producción de biocombustibles representan para México nuevos caminos para una mayor sostenibilidad. La totalidad de la cadena de producción mexicana de caña de azúcar tiene que estar muy bien preparada para un examen más intenso de la sostenibilidad (Lois-Correa, J., 2002).

En el campo cañero mexicano se observa el hecho de que la determinación y aplicación de las variedades de caña y de los herbicidas las decide el ingenio, sin considerar los intereses de los campesinos, que en su mayoría son ejidatarios minifundistas. En cuanto al aspecto industrial, se observa la falta de industrialización de muchos subproductos de la caña, que terminan como desechos industriales; existen también problemas de contaminación de ríos por los materiales que utilizan los ingenios azucareros y una falta de seguridad en las fábricas y en la zafra en general.

Algunos indicadores básicos que deben tomarse en cuenta para una buena gestión de sostenibilidad ambiental son los siguientes:

1. Adecuado funcionamiento y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de residuales azucareros.
2. Disminución de los riesgos de derrames de hidrocarburos y grasas en las distintas áreas de la industria.
3. Aprovechamiento de los sub-productos y su conversión en co-productos de valor agregado.
4. Disminución de consumos de sosa cáustica y ácido clorhídrico en la industria.
5. Segregación de las corrientes residuales de limpieza.
6. Implantación de eficientes sistemas de fertirriego.
7. Identificación y control de los puntos críticos del proceso que generan la contaminación.

8. Incluir en el proceso inversionista los indicadores de lucha contra la contaminación.
9. Aplicación de una política de producciones más limpias (PML).
10. Cultivo de la caña de forma intensiva y racional.
11. Mantenimiento preventivo de las calderas.
12. Evaluación del impacto ambiental provocado por el ruido en las instalaciones e implantar medidas tecnológicas para disminuirlas.
13. Inventariar y controlar las fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero.

Conclusiones

Los aspectos de sostenibilidad que con urgencia requiere México, y que se pueden destacar, en el procesamiento agroindustrial de azúcar de caña son:

- Productividad: Obtener más con el mismo equipamiento.
- Eficiencia: Alcanzar mayores niveles de productividad con la misma materia prima.
 - Reducción de las pérdidas y emisiones contaminantes.
- Energía: Producir más con la energía instalada.
- Agua: Aumentar la producción con la misma cantidad de agua.
- Productos químicos: Producir más con los mismos productos químicos.
 - Menos contaminación-polución.

Agradecimientos

A los proyectos **SIP20140206** y **SIP 20151141** del Instituto Politécnico Nacional IPN.

Bibliografía

- Argüello-Zepeda, F. J. (2009). Desarrollo tecnológico de la agroindustria azucarera mexicana, impactos sociales y formas de gestión ambiental [http://www.eumed.net/libros/2009a/476/Desarrollo tecnológico de la agroindustria azucarera mexicana impactos sociales y formas de gestión ambiental.htm](http://www.eumed.net/libros/2009a/476/Desarrollo_tecnologico_de_la_agroindustria_azucarera_mexicana_impactos_sociales_y_formas_de_gestion_ambiental.htm).
- Arroche-Herrera, D. (2004). Problemática y Crisis de la Industria Azucarera Mexicana en el Marco del Tratado de Libre Comercio de América del Norte TLC. Tesis Licenciatura. Relaciones Internacionales. Departamento de Relaciones Internacionales e Historia, Escuela de Ciencias Sociales, Universidad de las Américas, Puebla. México, Febrero.
- Borlaug, N. (2002). *La revolución verde: paz y humanidad*. N° 5 de Ciencia-Tecnología e Historia: Serie 2002. Editor Universidad Autónoma Chapingo, PIHAAA-CIESTAAM, 2002. 59 pp.
- Cuba. (2012). Caña de azúcar: *Las potencialidades de sus derivados*. Disponible en: <http://dcuba.net/rss/azucar-las-potencialidades-de-sus-derivados> (11 de abril de 2013). En: Córdova Sánchez S. et al (2014). *Saccharum spp. in Brazil. A review*. Avances en Investigación Agropecuaria 18(3): 49-64 ISSN0188789-0. Una revisión. Disponible en: <http://tropic.org/name/25509848> (Consultado el 30 de abril de 2015).
- El Informante de Veracruz. (2013). El sector cañero y la industria de la caña de azúcar, un ejemplo dentro de la agroindustria mexicana: *Carlos Blackaller*. <http://www.elinformantedeveracruz.com> p. 5. (2013)
- Espinosa, G. (2002), “Políticas de privatización: los saldos de una década en la industria azucarera” En Ma. Magdalena Saleme, et al (Comps.), Desarrollo regional, mercado laboral, sociedad rural en México, México: UAM-Xochimilco, División de Ciencias Sociales y Humanidades, pp. 221-240.
- Lois-Correa, J. (2010). Caña de azúcar y medioambiente. Conferencia dictada en la Semana Nacional por la Conservación del Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México Nov.23-27.
- FAO. Statistics 2002-2006. En: Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles. Una alternativa para la generación de empleos e ingresos. Módulo V: caña de azúcar. Servicio holandés de cooperación al desarrollo SNV, 1ra ed. Tegucigalpa, Honduras.
- FAOSTAT. (2014^a). Faostat Division. Área mundial cosechada de caña de azúcar. Disponible en: faostat.fao.org/site/567/Default.aspx?PageID=567#anchor (Consultado el 14 de mayo de 2015).
- FAOSTAT. (2014^b). Faostat Division. Área cosechada de caña de azúcar en Brasil. Disponible en: faostat.fao.org/site/567/Default.aspx?PageID=567#anchor (Consultado el 14 de mayo de 2015).
- Finguerut, J. (2010) Sustainability in sugarcane processing in Brazil. *Proceedings XXVII Congress of ISSCT*, marzo, Boca de Río, Veracruz, México, pp. 9.
- García, L. y R. Escalante (1997). La agroindustria azucarera de México en el marco de la apertura, Comercio exterior, Vol. 47, núm. 12, diciembre, pp. 975-983.

- García, R.; Espinoza, J. y Marcano, J. (1997). La contaminación ambiental causada por la quema de la caña de azúcar, al momento de la cosecha. FONAIAP Divulga, No. 5(1997). 7, Julio-Sept. (1997).
- Gliessman, S. (2002). Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. Edición en español: Rodríguez, E.; Benjamín, T.; Rodríguez, L. y Cortés, A. *Editorial Turrialba*, CATIE, C.R., 359 pp.
- Jornal Cana. (2014). Brasil possui 421 usinas e destilarias. Disponible en: <http://www.jornalcana.com.br/brasil-possui-421-usinas-e-destilarias> (Consultado el 10 de abril de 2014)
- Lois-Correa, J. (2002). Advantages of the Production and Use of Gasohol and Biodiesel as a Clean Renewable Energy Resource from Sugar Cane Juice, *Sugar Journal*, Oct., Louisiana, USA.
- Lois-Correa, J. (2010). Caña de azúcar y medioambiente. Conferencia dictada en la Semana Nacional por la Conservación del Medio Ambiente, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, Tamaulipas, México Nov. 23-27.
- Martínez, F.G. (1995). Elementos de fisiología vegetal. Relaciones Hídricas. Nutrición mineral. Transporte. Metabolismo. *Mundi Prensa* Madrid. Pp.627-629
- Ramírez M. Á. (2008). Cultivos para la producción sostenible de biocombustibles: una alternativa para la generación de empleos e ingresos. Módulo V: Caña de Azúcar. 1a ed. Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo SNV. Tegucigalpa, Honduras (Consultado el 18 de mayo del 2015).
- Ruiz, M. y O. Arroyo (2008). Estudio de la contribución de partículas suspendidas por la quema de caña en la calidad del aire. Instituto Tecnológico de Puebla, Estado de México.
- SAGARPA (2012). Programa de producción sustentable de insumos para bioenergéticos y de desarrollo científico y tecnológico. Gobierno Federal. www.gobierno.federal.gob.mx/www.sagarpa.gob.mx (2009-2012)

Pulpa fresca de cítricos: una alternativa para la alimentación de rumiantes

Fresh citrus pulp: an alternative for the feeding of ruminants

*Juan Carlos Martínez González²²

Benigna Faustino Lázaro

Froylán Andrés Lucero Magaña

Sonia Patricia Castillo Rodríguez

Resumen

²²Universidad Autónoma de Tamaulipas. Facultad de Ingeniería y Ciencias. Centro Universitario Adolfo López Mateos. Ciudad Victoria, Tamaulipas. México. CP. 87149. *Contacto: jmartinez@uat.edu.mx

La nutrición es un factor importante en los sistemas de producción animal, sobre todo en sistemas intensivos. Actualmente los concentrados han alcanzado precios que hacen poco competitiva la actividad pecuaria, sin embargo, existen subproductos agroindustriales que pueden ser usados para la alimentación animal. La pulpa fresca de cítricos es un subproducto que permite reducir los costos de alimentación y su aprovechamiento puede ser durante las épocas de escasez de alimentos (sequía). La pulpa fresca de cítricos presenta características nutritivas para usarse como forraje y/o alimento energético, ya que posee un alto contenido de energía y buena digestibilidad. Además, la pulpa fresca de cítricos se puede emplear natural, ensilada o seca.

Abstract

Nutrition is an important factor in animal production, especially in intensive systems. Currently have concentrates have reached a price that makes them uncompetitive to the livestock. However, there are agro-industrial by-products that can be an alternative for animal feeding. Fresh citrus pulp is a by-products that can reduce nutrition costs and can be used during times of shortage of food (dry season). Fresh citrus pulp presents nutritional characteristics with potential use forage or food energy, since it has a high content of energy and good digestibility. In addition, fresh citrus pulp can be used in fresh, ensiled or drying.

Introducción

Los sistemas de producción pecuaria atraviesan por problemas de rentabilidad ante el aumento constante de los costos de alimentación, principalmente de los granos que en muchas ocasiones se destinan para la elaboración de biocombustibles (Chuck-Hernández et al., 2011). Además, con la globalización de los mercados los productos finales que se obtienen como carne y leche deben satisfacer las normas de calidad e inocuidad. Esto obliga a los productores y técnicos de la alimentación a buscar nuevas fuentes de alimentos (alternativos) que sean de bajo costo sin afectar la eficiencia animal.

Las materias primas no convencionales disponibles en la región, ya sean

subproductos agrícolas o agroindustriales deben utilizarse como una alternativa cotidiana para disminuir los costos de producción (Pereira et al., 2008; Villanueva et al., 2013; Pinto et al., 2014; Ramírez-Cathí et al., 2014). Pero siempre tomando en cuenta los requerimientos nutricionales por etapa fisiológica del animal así como el tipo de producción (NRC, 2000, 2001, 2007).

En el mundo se producen más de 120 millones de toneladas de cítricos, de las que el 40% se destina a la industria alimentaria para la elaboración de zumos. Las plantas destinadas a la elaboración de estos productos sólo aprovechan la mitad de la materia prima. El resto, corteza, semillas y pulpa, se convierten en residuo. Sólo en la comunidad de Valencia, España estos desechos suponen más de 600.000 toneladas al año.

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015), en el anuario estadístico del cierre de la producción agrícola por cultivo para el año 2013, reportó una producción estimada de 7 279 630.46 t de cítricos. Mientras que para el estado de Tamaulipas de acuerdo a la Secretaría de Desarrollo Rural (SDR, 2014), la cosecha de naranja podría alcanzar las 400 000 t con una superficie de 35 000 ha de naranja valencia en el año 2014.

Gran parte de esta producción se destina a la industrialización de los cítricos que consiste en la producción de concentrado de jugo de cítricos (naranjas, toronjas-pomelos, mandarinas y limones), el residuo está constituido por pulpa, cáscara, semillas y frutos de desecho. Anteriormente estos subproductos eran secados y ofrecidos en el mercado como cascarilla de cítricos y eran un excelente suplemento en la dieta de los rumiantes. Hoy en día con el incremento en los costos de los combustibles fósiles no es una práctica muy rentable para las industrias del jugo, teniendo que desechar grandes cantidades de pulpa de cítricos al ambiente sin tratamiento alguno, convirtiéndose en una fuente de contaminación (Faustino-Lázaro et al., 2014).

La solución más extendida hasta ahora es administrar directamente este residuo al ganado sin pasar por un proceso de tratamiento. Sin embargo, su rápida fermentación hace de este subproducto un agente contaminante. El efecto secundario más común de utilizar la pulpa de cítricos como suplemento dietético es el trastorno digestivo conocido como paraqueratosis ruminal. Para prevenir el endurecimiento de los órganos digestivos, hay que garantizar el acceso a pastos ricos en fibra.

El problema del residuo cítrico se ha logrado transformar en un recurso para la industria agroalimentaria.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es discutir algunas ventajas y desventajas de la utilización de la pulpa fresca de cítricos en la alimentación de rumiantes.

Subproductos agrícolas y agroindustriales

Los cítricos son frutas que se consumen frescas o como jugos, ya sean refrigerados o concentrados (Spreen, 2001). El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-FAS, 2012), cita que la naranja fue el principal producto cítrico, alcanzando el 61.2% de la producción mundial de cítricos, de las cuales alrededor del 40% se procesó. Mientras que en México el Servicio de

Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015) cita que se produjeron alrededor de 4.5 millones de toneladas de naranja en el año 2014

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-FAS, 2012) y Martínez et al. (2008), añade que los cítricos, en su mayor parte, se procesan para la obtención de jugos, concentrados y aceites esenciales. Durante el procesamiento se generan grandes cantidades de subproducto, que representa del 45 al 60% del peso total del fruto procesado (Martínez et al., 2008), constituido principalmente por 60 a 65% de piel (cáscara), 30 a 35% segmentos del fruto (pulpa) y 0 a 10% de semillas (Calsamiglia et al., 2004; Bampides y Robinson, 2006; Mirzaei y Maheri, 2008) dando un contenido de 20% de materia seca (Macedo et al., 2007).

Los subproductos agrícolas y agroindustriales se han utilizado más en rumiantes, debido a la capacidad que tienen de consumir alimentos con alto contenido de fibra. Sin embargo, la falta de información sobre el uso y/o manejo adecuado de los subproductos limita su uso. Por ejemplo, la pulpa fresca de cítricos no se utiliza con frecuencia por lo complicado de su manejo (traslado y manipulación), causado por el alto contenido de humedad (Gasa y Castrillo, 1992; González-Reyna et al., 2013).

En los últimos años, la producción de cítricos destinada a las industrias para ser procesada (extracción de jugo), genera una gran cantidad de residuos (cáscara, semillas, pulpa, aceite e inclusive frutos de desecho), que debido al contenido de energía y calidad de la fibra, resultan útiles para la alimentación de los rumiantes (Bampidis y Robinson, 2006; Quintero et al., 2008; Villanueva et al., 2013).

México es uno de los países productores de cítricos, según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2015). La producción de naranja, limón, toronja-pomelo, mandarina, lima y limón real rondó 7.27 millones de toneladas en el 2013. Veracruz, San Luis Potosí, Tamaulipas, Michoacán y Nuevo León fueron los principales estados productores.

Composición química y contenido nutricional de la pulpa fresca de cítricos

La composición química de la pulpa fresca de cítricos depende de su origen, variedad y procesamiento (Villanueva et al., 2013) y/o las diferentes fracciones de subproducto utilizados, ya que al mezclar pulpa fresca de cítricos con fracciones del subproductos de limón, el contenido de pectina aumenta y la proteína cruda disminuye (Calsamiglia et al., 2004). De igual modo, la calidad nutritiva puede afectarse por los días de almacenamiento a cielo abierto (González-Reyna et al., 2013).

El contenido en lignina es del orden del 3% y el de cenizas de 6 a 8%, sin embargo, el contenido de ceniza varía en función de la cantidad de buffer neutralizante (óxido o hidróxido de calcio), que a menudo se usa para neutralizar el pH de este subproducto por lo que en proporción de minerales es muy variada, presentando niveles altos de calcio y bajos de fósforo, sodio, cloro y magnesio (Faustino-Lázaro et al., 2014). Finalmente, se tiene un subproducto con un elevado contenido de carbohidratos solubles y de pectinas (Calsamiglia et al., 2004).

En La Tabla 1, se presentan los valores de la composición bromatológica de la pulpa fresca de cítricos en diferentes presentaciones.

Subproducto	MS	PC	FB	EE	Ce	FND	FAD	Cita
Ensilado de naranja	19.4	7.2	13.8	3.3				Villanueva, 2013
Harina de cítrico deshidratada	88.0	7.4	17.7	2.9				González et al., 2003
Pulpa de cítrico prensado	24.4	7.4	16.7	3.2				Pereira et al., 2008
Pulpa de cítricos deshidratada	90.4	6.2	13.1			25.9	23.1	Belibasakis y Tsirgogianni, 1996
Pulpa de cítricos deshidratada	90.1	6.5	12.8	3.4				Chong, 1998
Pulpa de cítricos deshidratada	82.5	8.3	14.1	3.3	6.3	24.2	19.3	Calsamiglia et al., 2004
Pulpa de cítricos deshidratada	90.0	8.3	12.4	3.3				Gasa y Castrillo, 1992
Pulpa de limón	15.8	6.0	12.7					Chong, 1998
Pulpa de limón	15.7	5.8	13.6	0.9				Villanueva, 2013
Pulpa ensilada de cítricos	14.8	7.6	14.3	3.8				Montejo et al., 2008
Pulpa ensilada de naranja	15.0	8.3		3.3				Ítavo, 2000
Pulpa fresca de cítricos		8.0		3.5	7.0	22.5	19.0	Calsamiglia et al., 2004
Pulpa fresca de cítricos	19.7	7.2	10.9	3.0				Gasa y Castrillo, 1992
Pulpa fresca de cítricos	21.9	6.0	16.2	2.4	3.2	22.7	17.1	Villanueva et al., 2013
Pulpa fresca de naranja	16.7	6.5	14.4	1.6				Chong, 1998
Pulpa fresca de naranja	24.9	8.3			5.6			González-Reyna et al., 2013
Pulpa fresca de naranja		8.0		3.4		36.4		Macedo et al., 2007
Pulpa fresca de toronja	11.3	6.8	21.0					Chong, 1998
Pulpa fresca de toronja	18.4	9.4	2.4	2.4				Villanueva, 2013

Tabla 1. Composición bromatológica de la pulpa fresca de cítricos en diferentes presentaciones.

MS=materia seca;
 PC= proteína cruda;
 FB=fibra bruta;
 EE=extracto etéreo;
 Ce=cenizas;
 FND=fibra neutro detergente;
 FAD=fibra ácido detergente.

La pulpa fresca de cítricos además de ser un producto de alta palatabilidad, tiene un alto valor nutritivo, ya que es rico en energía bruta, con un valioso contenido de energía metabolizable, similar al del grano de cebada y la pulpa de remolacha, con una fermentación típicamente acética (Calsamiglia et al., 2004).

Digestibilidad de la pulpa fresca de cítricos

El conocimiento del valor nutritivo de los alimentos es fundamental para la nutrición animal. Además, hay que considerar los efectos de los procesos de digestión, absorción y metabolismo animal. Las pruebas de digestibilidad permiten estimar la proporción de nutrientes presentes en una ración que pueden ser absorbidos por el aparato digestivo (Church y Pond, 1994).

La alimentación de los rumiantes juega un papel importante dentro del sistema de producción animal, ya que al cubrir los requerimientos nutricionales de los mismos, éstos podrán manifestar su máximo potencial productivo y reproductivo. Parte importante de los alimentos es su digestibilidad (Basurto y Tejada, 1992; Ítavo et al., 2000; Lachmann y Araujo, 2006; Macedo et al., 2007; Faustino-Lázaro et al., 2014). Además, hay que considerar factores como consumo voluntario y valor nutricional de los alimentos (Lachmann y Araujo, 2006).

Un forraje, se considera de alta calidad cuando tiene un 70% de digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS), menos de 50% de fibra detergente neutra y más de 15% de proteína cruda (Di marco, 2011). En un forraje de mala calidad, la DIVMS disminuye a menos del 50% y los valores de fibra detergente neutra son menores del 65%, con un nivel de proteína cruda de menos del 8% (Di marco, 2011).

Tabla 2. Digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) de varios subproductos de cítricos.

Subproducto	DIVMS (%)	Cita
Ensilado de pulpa de cítricos	62.8	Villanueva, 2013
Harina de cítrico deshidratada	76.3	González et al., 2003
Pulpa de limón	64.5	Villanueva, 2013
Pulpa de limón deshidratada	78.7	Basurto y Tejada, 1992
Pulpa fresca de naranja	72.3	Villanueva et al., 2013
Pulpa fresca de toronja	62.6	Villanueva, 2013

La pulpa fresca de cítricos se puede considerar como un alimento de buena calidad y digestibilidad como se muestra en la Tabla 2. Por la alta digestibilidad y el valor de la energía de la pulpa fresca de cítricos se utiliza como un sustituto de cereales en las dietas integrales (Bampidis y Robinson, 2006; Villareal et al., 2006).

A diferencia de los cereales la energía no se basa en almidón, pero sí en carbohidratos solubles y fibra digerible, así como las pectinas, las cuales son fácilmente y ampliamente degradables. Además, por su contenido de fibra, la pulpa fresca de cítricos prolonga el tiempo de la rumia, resultando en mayores cantidades de saliva, lo cual tiene un efecto amortiguador en el pH del rumen (Faria et al., 2008). De igual modo, Basurto y Tejada (1992) encontraron que la digestibilidad de las fibras detergentes neutro y ácida fueron 71.0 y 77.1%, respectivamente.

Subproductos cítricos y su manejo

La pulpa fresca de cítricos es un subproducto que puede utilizarse en forma fresca, ensilada y deshidratada, considerando que las dos últimas permiten su conservación para épocas de estiaje. Sin embargo, con base en el contenido de humedad que presenta se dificulta su traslado y manejo (González-Reyna et al., 2013; Villanueva et al., 2013; Faustino-Lázaro et al., 2014).

La pulpa fresca de cítricos presenta un elevado contenido de humedad, dependiente del tipo de proceso al que se hayan sometidos los frutos para la obtención del jugo, por lo que se considera un subproducto perecedero. Por lo que su uso debe ser inmediato y preferentemente por las unidades de producción cercanas a la planta procesadora. Regularmente la pulpa fresca de cítricos es conservada en estibas o montones al aire libre por periodos muy cortos, dentro de las unidades de producción, el tiempo varía dependiendo del número de animales para ser alimentados y del sistema de alimentación en la explotación, así como de la cantidad de pulpa fresca de cítricos que se quiera almacenar de esta forma (Martínez et al., 2008; Quintero et al., 2008; González-Reyna et al., 2013).

El ensilaje de la pulpa fresca de cítricos (naranja, toronja, mandarina, limones, etc.) representa una opción para la conservación del subproducto en la unidad de producción, logrando una administración continua de este material, sin tener que depender de la estacionalidad del producto, situación importante, para optimizar el funcionamiento de los sistemas de producción animal (Juárez et al., 2012). Dependiendo de la infraestructura con que cuente la unidad de producción podrá optarse por silos tipo pastel dado que se trata de un subproducto con alto contenido de humedad y para garantizar una buena fermentación se requieren condiciones anaerobias, mediante el tapado y sellado hermético del silo (Villanueva, 2013) o en lugares más altos del terreno, con el fin de asegurar un buen escurrimiento y en consecuencia una buena fermentación, que produzca suficientes ácidos orgánicos naturales, para inhibir el desarrollo de microorganismos nocivos ya que este subproducto es rico en carbohidratos solubles (Len't, 1999).

El producto ensilado se mantiene por un largo periodo sin que cambie la calidad (Len't, 1999). Además, de favorecer ligeramente la velocidad de producción de gas en el ensilaje con el 100% del material, sufriendo cambios durante la conservación que pudieran mejorar su empleo, por los microorganismos del rumen (Pedraza et al., 2006).

Otra manera de mantener en buenas condiciones la pulpa fresca de cítricos, es someterla a un proceso de deshidratación. La pulpa de cítricos deshidratada comúnmente llamada cascarilla es un ingrediente común en las dietas de rumiantes en varias partes del mundo.

Pulpa fresca de cítricos en la alimentación rumiantes

La pulpa fresca de los cítricos es una fuente de alimentos alternativa para los rumiantes. Además, es un subproducto de muy bajo costo, pues en ocasiones solo hay que pagar el flete del traslado a la unidad de producción (Faustino-Lázaro et al., 2014).

Debido al contenido nutricional que presenta, se han obtenido buenos resultados en diversos trabajos realizados, utilizando la pulpa fresca de cítricos

(Rojas-Bourrillón et al., 2001; Quintero et al., 2008; Cienfuegos et al., 2010; Macías et al., 2010; Villanueva et al., 2013), como sustituto de fibra o granos. Es importante reconocer las ventajas que presenta su uso, así como la deficiencia de algunos nutrientes y la presentación de la misma (Chong, 1998; Macías et al., 2010; González-Reyna et al., 2013; Villanueva et al., 2013).

Como todo alimento la incorporación de la pulpa fresca de cítricos debe ser lenta, con el fin de permitir a los rumiantes adaptarse al nuevo alimento.

Belibasakis y Tsirgogianni (1996) encontraron que a medida que se aumentó el nivel del subproducto al utilizar pulpa deshidratada de cítricos, aumentó el contenido y la producción total de grasa en la leche de vacas Holstein. Asimismo, Rojas-Bourrillón et al. (2001) al alimentar vacas Holstein con pulpa deshidratada de limón no encontraron efecto de los niveles de sustitución ($p > 0.05$) sobre la producción de leche. Pero cuando fue corregida la producción de leche por el nivel de grasa (4%) la sustitución afectó el nivel de producción ($p < 0.05$), siendo mayor a medida que se aumentó la pulpa deshidratada de limón.

Los ovinos y caprinos son especies de pequeños rumiantes domésticos. Son fuente importante de alimentos para la humanidad (carne, leche y sus derivados), sobre todo para los países en vías de desarrollo. De tal forma, que la pulpa fresca de cítricos es una alternativa real para satisfacer las necesidades alimenticias para el mantenimiento, crecimiento, reproducción y producción de los ovinos y caprinos en las regiones cítricas del país.

A los corderos en desarrollo se les puede dar de 20 a 30% de ensilaje de pulpa de cítricos o hasta un 40% en forma fresca, en sustitución de heno de buffel (Cienfuegos et al., 2010; Macías et al., 2010; Villanueva et al., 2013). En su presentación fresca, posiblemente podría reemplazar parcialmente el grano o forraje en dietas integrales para corderos (Bampidis y Robinson, 2006). Además, de poseer la característica de satisfacer parte del requerimiento de agua.

En varios trabajos (Quintero et al., 2008; Cienfuegos et al., 2010; Macías et al., 2010; Villanueva et al., 2013), se consideró ventajoso utilizar la pulpa fresca de cítricos como fuente de forraje. En corderos de la cruce Pelibuey-Dorper se sustituyó el forraje de buffel (*Cenchrus ciliaris*) por la pulpa fresca de cítricos (0, 10, 20, 30 o 40%) de la dieta (40:60 forraje:concentrado), evaluándose el consumo, la digestibilidad y el rendimiento, en ese estudio se concluyó que la pulpa fresca de cítricos es una fuente de fibra de alta calidad y en combinación con heno de zacate buffel, mejora la calidad nutritiva de las dietas de engorda de corderos y los costos de alimentación (Macías et al., 2010).

En otro estudio de engorda de corderos de pelo, se observó que la sustitución de pulpa fresca de cítricos, aumentó la ganancia de peso, en un nivel de sustitución del 50 % (Pereira et al., 2008). Considerando que la pulpa fresca de cítricos es una buena fuente de fibra digestible debido a su alto contenido de pectina y bajo contenido de lignina, altamente fermentable en el rumen, libera energía de forma rápida, para que ocurra el crecimiento microbiano ruminal (Pereira y González, 2004; Bampidis y Robinson, 2006). Sin embargo, para engorda intensiva de ovinos Velásquez et al. (2012), mencionaron que la sustitución de alimento comercial por ensilaje de pulpa de naranja, puede ser hasta del 25% sin afectar la ganancia de peso y la rentabilidad económica.

Sin embargo, siempre se deben considerar algunas restricciones para el uso eficiente de la pulpa fresca de cítricos como: la infraestructura con que cuente la unidad de producción, la ubicación, la disponibilidad, la presentación del subproducto y los factores económicos (traslado).

Pulpa fresca de cítricos, una oportunidad de negocio

Para algunos emprendedores la pulpa fresca de cítricos ha dejado de ser un problema, el residuo cítrico se puede transformar en una oportunidad de negocio en la industria agroalimentaria. Gracias al tratamiento y valorización del residuo cítrico, además, de materia prima para la alimentación animal, se puede obtener aceite esencial D-Limoneno, agua pura y bioetanol de segunda generación.

La solución más utilizada hasta ahora es la de administrar directamente este residuo al ganado. Sin embargo, su rápida fermentación hace de este subproducto un agente contaminante.

Los subproductos que se obtienen en el proceso industrial son:

Pellets de cítricos: se trata de pulpa de cítrico deshidratada pelletizada que sirve como materia prima para producción de piensos con destino a la alimentación animal.

Bioetanol de 2ª generación: llamado así porque no tiene los problemas asociados a los primeros biocombustibles al no emplear alimentos como materia prima. El bioetanol es un combustible limpio y renovable, idóneo para su utilización en motores de gasolina.

Aceite D-Limoneno: es el aceite esencial responsable del aroma y del color del cítrico. El D-limoneno tiene un amplio uso en la industria farmacéutica y alimentaria como aromatizante y para dar sabor.

Agua purificada: como consecuencia de los procesos desarrollados, se puede recuperar el agua contenida en el residuo y transformarla en agua purificada.

Conclusiones

El uso de la pulpa fresca de cítricos se constituye como una fuente muy versátil como insumo alimenticio, en los sistemas de alimentación de rumiantes en las regiones citrícolas.

La pulpa fresca de cítricos es un subproducto con un alto valor energético en la nutrición de los rumiantes.

La pulpa fresca de cítricos presenta un nivel bajo de proteína cruda, por lo que en algunas etapas fisiológicas, se deberá añadir una fuente de proteína, según los requerimientos nutricionales de los rumiantes.

La pulpa fresca de cítricos es un recurso alimenticio que puede ser una herramienta para reducir los costos de alimentación y hacer más rentable la producción de rumiantes.

Bibliografía

- Bampides, V.A., & Robinson, P.H. 2006. Citrus by-products as ruminant feeds: A review. *Animal Feed Science and Technology* 128:175-217.
- Basurto, G.R., & Tejada, I.H. 1992. Digestibilidad aparente de la pulpa deshidratada de limón. Comparación de métodos para estimarla. *Técnica Pecuaria en México* 30(1):13-22.
- Belibasakis, N.G., & Tsirgogianni, D. 1996. Effects of dried citrus pulp on milk yield, milk composition and blood components of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 60(1-2):87-92.
- Calsamiglia, S., Ferret, A., & Bach, A. 2004. *Tablas FEDNA de valor nutritivo de Forrajes y Subproductos fibrosos húmedos*. Fundación para el Desarrollo de la Nutrición Animal. España. 70 p. http://www.fundacionfedna.org/subproductos_fibrosos_humedos/pulpa-de-c%C3%Adtricos. Fecha de consulta: junio de 2013.
- Chong, L. 1998. *Valoración nutritiva de tres mezclas formuladas para la alimentación bovina*. Tesis Maestría en Producción Bovina Lechera. Universidad de Matanzas. Cuba. 59 p.
- Chuck-Hernández, C. & et al. 2011. Sorgo como un cultivo multifacético para la producción de bioetanol en México: Tecnologías, avances y áreas de oportunidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10(3):259-249.
- Church, D.C., & Pond, W.G. 1994. *Fundamentos de nutrición y alimentación de animales*. Editorial Limusa, S. A. de C. V. Grupo Noriega Editores. México. pp 438.
- Cienfuegos-Rivas, E.G. & et al. 2010. Corderos alimentados con combinaciones de pulpa fresca de naranja y heno de zacate buffel como fuentes de fibra. *Ciencia UAT* 15(1):64-68.
- Di Marco, O. 2011. Estimación de calidad de los forrajes. *Producir XXI* 20 (240):24-30.
- Faria, B.N. & et al. 2008. Efectos de la adición de monensina o propilenglicol de pulpa de cítricos en la descomposición de carbohidratos totales y la in vitro de producción de gas acumulada. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia* 60 (3):691-697.
- Faustino-Lázaro, B. & et al. 2013. Pulpa fresca de cítricos: Una alternativa para la alimentación de ovinos en el trópico seco. *Revista del Borrego* 82 (noviembre):28-36.
- Gasa, J., & Castrillo, C. 1992. *Hojas divulgadoras: Criterios de utilización de subproductos agroindustriales en la alimentación de rumiantes*. España. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. 23 p.
- González, I., Vega, J., & Castillo, R. 2003. Formulaciones de mezclas a partir de harina de cítrico deshidratada para la alimentación bovina. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 2:87-89.
- González-Reyna, A. & et al. 2013. Evolución del valor nutritivo de la pulpa de naranja fresca almacenada durante siete días. *Zootecnia Tropical* 31 (2):159-164.
- Ítavo, L.C.V. & et al. 2000. Composição e digestibilidade aparente da silagem de bagoço de laranja. *Revista Brasileira Zootecnia* 29 (5):1485-1490.

- Juárez, F.J. & et al. 2012. Niveles de urea en el ensilaje de cáscara de naranja como forraje en la alimentación de corderos de pelo. *Tercer Encuentro Estudiantil de Investigación*. Universidad Autónoma de Tamaulipas. México. Pp: 67-69.
- Lachmann, M., & Araujo, F.O. 2006. La estimación de la digestibilidad en ensayos con rumiantes. Memoria XIII Congreso Venezolano de Producción Animal. Asociación Venezolana de Producción Animal. Trujillo, Venezuela. Septiembre de 2006. <http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/xcongreso/Digestibilidadderumiantes.pdf>. Fecha de consulta: junio de 2013.
- Len't, M. 1999. Uso de ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesino. Memorias de conferencia electrónica de la FAO. <http://www.fao.org/docrep/005/x8486s/x8486s00.HTM>. Fecha de consulta: junio de 2013.
- Macedo, C.A.B. & et al. 2007. Apparent digestibility and nitrogen use of diets with different levels of fresh orange pulp. *Archivos de Zootecnia* 56 (216):907-917.
- Macías, C.U., Quintero, E.J.A., Avendaño, R.L., Correa, C.A., Álvarez, V.F., Soto, N.S., Lucero, M.F., & González, R.A. 2010. Buffel grass (*Cenchrus ciliaria* L.) substitution for orange pulp on intake, digestibility, and performance of hairsheep lambs. *Tropical Animal Health and Production* 42:223-232.
- Martínez, M.J., Chongo, G.B., Jordán, V.H., Hernández, S.N., Fontes, M.D., Lezcano, M.Y., & Cubillas, L.N. 2008. Características nutritivas de los hollejos húmedos de naranja (*Citrus sinensis* cv. Valencia) mantenidos en estibas. *Técnica Pecuaria de México* 46(2):183-193.
- Mirzaei, A.A., & Maheri, S.N. 2008. Nutritive value of some agro-industrial by-products for ruminants - a review. *World Journal of Zoology* 3 (2):40-46.
- Montejo, I. L., Lamela, L. Sánchez, T y López, O. (2008). "Nota técnica: Producción de leche con ensilaje de hollejo de cítrico". *Pastos y Forrajes* 31 (2): 179-186.
- NRC. 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. Seventh Revised Edition. National Research Council. The National Academies Press. 248 p.
- NRC. 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Seventh Revised Edition. National Research Council. The National Academies Press. 408 p.
- NRC. 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminant: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. Seventh Revised Edition. National Research Council. The National Academies Press. 384 p.
- Pedraza, O.R.M. & et al. 2006. Valor nutritivo in vitro de ensilajes de hollejo fresco de cítrico (*Citrus sinensis*) con bagacillo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). *Revista producción animal* 18 (2):95-98.
- Pereira, J.C., & González, J. 2004. Rumen degradability of dehydrated beet pulp and dehydrated citrus pulp. *Animal Research* 53 (2):99-110.
- Pereira, M.S. & et al. 2008. Consumo de nutrientes e desempenho de cordeiros em confinamento alimentados com dietas com polpa cítrica úmida prensada em substituição à silagem de milho. *Revista Brasileira da Zootecnia* 37 (1):134-139.
- Pinto, R.R., Medina, J.A. & et al. 2014. Sustitución de melaza por mucílago de café (*Coffea arabica* L.) en bloques nutricionales para rumiantes. *Archivos de Zootecnia* 63 (241):65-71.

- Quintero, E.J.A. & et al. 2008. Características bromatológicas de la pulpa fresca de cítricos con diferentes días de almacenamiento. *Memorias. XXXVI Reunión Anual de la Asociación Mexicana de Producción Animal*. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. pp: 218-221.
- Ramírez-Cathí, H. & et al. 2014. Bromatological and morphological characterization and yield of sugar cane top in Huasteca Potosina, Mexico. *Cuban Journal of Agricultural Science* 48 (4):411-415.
- Rojas-Bourrillón, A. & et al. 2001. La sustitución de maíz por pulpa de cítricos deshidratada sobre la producción y composición láctea de vacas encastadas Holstein en el trópico húmedo de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 25 (1):45-52.
- SDR (Secretaría de Desarrollo Rural). 2014. Comunicado de prensa, mes de mayo de 2014. Gobierno del Estado de Tamaulipas. <http://desarrollorural.tamaulipas.gob.mx/>. Fecha de consulta: septiembre de 2014.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Cierre de la Producción Agrícola. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> Fecha de consulta: mayo de 2015.
- Spreen, T.H. 2001. Proyecciones de la producción y consumo mundial de los cítricos para el 2010. <http://www.fao.org/docrep/003/x6732e/x6732e02.htm#b>. Fecha de consulta: septiembre de 2014.
- USDA-FAS. 2010. Citrus: Mercados mundiales y comercio. 07 2010 Update Citrus. Servicio Exterior de Agricultura – USDA <http://www.fas.usda.gov/psdonline/>. Fecha de consulta: septiembre de 2014.
- Velásquez, V.R., Esquivel, M.H., Montero, C.L., & y Ku, J.C. 2012. Engorda de corderos Pelibuey con ensilaje de pulpa de naranja *Citrus sinensis* L. en jaulas elevadas. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 5 (1):67-71.
- Villanueva, C.Z. 2013. *Caracterización nutritiva del residuo de los cítricos una alternativa en la alimentación de los ovinos en la zona centro de Tamaulipas*. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. 198 p.
- Villanueva, Z., Ibarra, M.A. & et al. 2013. Comportamiento productivo de corderos de pelo alimentados con residuo fresco de naranja (*Citrus sinensis*) en sustitución de granos de sorgo (*Sorghum vulgare*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 47 (1):27-32.
- Villarreal, M., Cochran, R.C. & et al. 2006. Effect of supplementation with pelleted citrus pulp on digestibility and intake in beef cattle fed a tropical grass-based diet (*Cynodon nlemfuensis*). *Animal Feed Science and Technology* 125(1-2):163-173.

Uso potencial, factibilidad, perspectivas y ventajas de los biofertilizantes en la agricultura

Potential use, feasibility, Prospects and Benefits of the Biofertilizers in Agriculture

M. A. García-Delgado²³
H. Mata-Vázquez
J.E. Cervantes-Martínez
A.M. García-Zúñiga²⁴

Introducción

²³Universidad Autónoma de Tamaulipas

²⁴Facultad de Ingeniería y Ciencias-UAT

La fertilización química había sido una actividad necesaria en la producción agrícola para incrementar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Esto ha permitido mayor volumen de producción de alimentos a nivel mundial en los últimos 50 años; sin embargo, a pesar de tal beneficio su uso también ha contribuido al deterioro de los recursos naturales, propiciando alteraciones en la biodiversidad y afectaciones al medio ambiente.

El reto que presenta la agricultura sostenible en México es el descubrimiento de los recursos microbiológicos del suelo y de los diferentes simbiontes presentes en las plantas, para uso en los sistemas de producción agrícola, los cuales han sido una de las alternativas naturales más viables y aplicables para reducir el uso de fertilizantes químicos comerciales o fertilizantes sintéticos en la producción de los cultivos durante las dos últimas décadas. Un biofertilizante es un producto natural, sustentable y racional basado en la utilización de microorganismos benéficos, principalmente bacterias y hongos, sin descartar algunos actinomicetos y algas, los cuales se asocian o se adhieren directa o indirectamente principalmente en las raíces de los cultivos para favorecer nutrición, crecimiento y desarrollo de las plantas, para disminuir y en un futuro detener la adición de algunos fertilizantes químicos o sintéticos a los suelos agrícolas. El uso de estos productos microbiológicos presenta gran número de ventajas ambientales entre las que destacan el balance biológico y físico del suelo, la nula contaminación suelo, del aire y los cuerpos de agua, así como la participación en el mantenimiento del equilibrio de los procesos de nitrificación-desnitrificación ambiental.

En México como en otros países en vías de desarrollo y desarrollados, el deterioro de los recursos naturales, junto con la progresiva degradación y explotación antrópicas, han provocado alteraciones en la biodiversidad y un incremento en los fenómenos de erosión del suelo y la desertificación en amplias regiones. La pérdida de la cobertura edáfica conlleva a una disminución de los niveles de materia orgánica, agua, actividad microbiana y nutrientes particularmente nitrógeno (N) y fósforo (P) (Velasco-Velasco et al., 2001). La fertilización biológica o biofertilización incluye la inoculación con agentes promotores del crecimiento vegetal (hongos micorrízicos y bacterias benéficas del suelo o rizobacterias principalmente), así como la aplicación de desechos

orgánicos a través de composta y vermicompostas (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). Es una tecnología que se adiciona a las de conservación edafambiental para contrarrestar el deterioro de los sistemas agrícolas. Su enfoque desde el punto de vista de producción sostenible, está dirigido al manejo de los recursos disponibles en forma racional y natural.

La tendencia hacia la agricultura sostenible contempla el mantenimiento del ambiente ecológico en los diversos sistemas agrícolas, así como el desarrollo de aspectos relacionados al continuo proceso de adaptación, cambio cultural y socioeconómico. Todo ello mediante el uso de prácticas que son ecológicamente sanas, que satisfacen las necesidades de producción, contribuyen con la economía y mantienen los recursos naturales en equilibrio (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000; Sylvia, 1999). El proceso a través del cual los microorganismos del suelo fijan el nitrógeno atmosférico (N_2) hasta una forma asimilable es conocido como Fijación Biológica del Nitrógeno (FBN). Esto es particularmente importante, dentro del contexto de la agricultura sostenible, ya que evita el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados sintéticos con el consiguiente ahorro en el consumo de energía y la disminución de la degradación del suelo y del medio ambiente en general. La FBN puede ser llevada a cabo por los microorganismos en vida libre, en forma mutualista o en simbiosis con las plantas, entre otras variantes de éste proceso, es que no solo permite utilizar el N_2 sino también reducir o revertir la degradación del suelo (Graham, 1998; Parsons, 2004).

Las instancias gubernamentales y privadas tanto nacionales como de otros países están convencidas que es necesario continuar analizando e investigando la gran diversidad de la microbiota del suelo, con la finalidad de encontrar microorganismos sinérgicos que ayuden a detener y en lo posible regenerar los sistemas agrícolas que se han ido contaminando paulatinamente con el uso inadecuado e irracional de los fertilizantes químicos o sintéticos.

Los biofertilizantes y las biocompostas en nutrición y fisiología vegetal

Cuando no se cuenta con la suficiente experiencia, especialización o bien no se está muy familiarizado con la aplicación y uso de insumos agrícolas de nutrición vegetal como sustancias, compuestos y productos biológicos que se utilizan biorracionalmente en la agricultura orgánica y la producción combinada en la explotación agrícola de los cultivos tanto extensivos como intensivos, es común, frecuente y muy fácil caer en confusiones sobre el tipo de productos orgánicos utilizados en la nutrición, la estimulación del crecimiento, desarrollo y fisiología de las plantas, a continuación se realiza una breve descripción y se realiza un análisis de esta terminología moderna y su potencial tecnológico en la agricultura intensiva y extensiva.

Biofertilizantes. Aguirre (2000) señala que los biofertilizantes, son un grupo de productos a base de microorganismos del suelo, los cuales se asocian directa o indirectamente al sistema radical de las plantas y favorecen su nutrición, crecimiento y desarrollo. Los microorganismos son aplicados a los suelos para desempeñar funciones específicas, las cuales benefician la productividad de las plantas, incluyendo: el aumento en la absorción de nutrientes y agua; la fijación de nitrógeno atmosférico; la solubilización de minerales; la producción

de estimuladores del crecimiento radical y el biocontrol de patógenos. Estos productos se consideran inocuos para el hombre y el ambiente, además permiten sustituir parcial o totalmente a los fertilizantes químicos o sintéticos. Un fertilizante microbiano o biofertilizante se le denomina a un producto a base de microorganismos del suelo que es capaz de fijar N, transportar nutrientes y agua, solubilizar P y otros minerales fijados o retenidos por los suelos, producir estimuladores del crecimiento en las raíces y reducir las enfermedades fungosas y nemátodos.

Alarcón y Ferrera-Cerrato (2000) señalan que la fertilización biológica o biofertilización, incluye la inoculación con agentes promotores del crecimiento vegetal (hongos micorrízicos y bacterias benéficas del suelo o rizobacterias), así como la aplicación de desechos orgánicos a través de compostas, biocompostas y/o vermicompostas. El concepto y descripción general de los biofertilizantes más aceptada se describió en el apartado anterior, la cual está basada en el concepto de Aguirre (2000). Desde el punto de vista de la nutrición vegetal, de acuerdo a su uso y aplicación Virgen (2013) realiza una descripción y clasificación más acertada sobre los **biofertilizantes**, los clasifica en cuatro grandes grupos: bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN), solubilizadores de fósforo y otros nutrientes minerales, captadores de fósforo y promotores del crecimiento vegetal.

Las BFN las subdivide en dos grupos, fijación de nitrógeno asociativa no-simbiótica y la fijación simbiótica de nitrógeno. **La fijación de nitrógeno asociativa no-simbiótica** es la que realizan microorganismos que se encuentran asociados a los tejidos de las plantas, en especial asociados a las raíces, o se encuentran en el interior de los tejidos, pero que no ocupan ni forman ninguna estructura especial de la planta, son llamadas bacterias de la filosfera de las plantas. En este caso se enmarca también por distintos autores (Ramírez-Gama y Luna-Millán, 1995; Salisbury y Ross, 1994) la fijación realizada por bacterias endófitas. En este tipo de fijación de nitrógeno se encuentran los estudios realizados en especies de gramíneas como la caña de azúcar, el arroz, maíz, trigo y otras gramíneas. Entre las especies más destacadas están *Gluconacetobacter diazotrophicus*, *Azospirillum brasilense*, *Azospirillum lipoferum*, *Azospirillum amazonense*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, *Beijerinckia indica*, entre las especies de bacterias más estudiadas como algunas los grupos de bacterias *Bacillum* sp y *Pseudomonas* sp. Por su relevancia en el caso de la caña de azúcar y otras gramíneas, es de considerable importancia la fijación de nitrógeno realizada por bacterias endófitas en estos cultivos, aunque en muchos casos no está bien documentada la capacidad de fijación de kg de N ha⁻¹ año⁻¹ por los diferentes grupos y especies de bacterias.

La fijación simbiótica de nitrógeno es la que realizan las BFN que viven en estructuras específicas (nódulos) de las raíces de las plantas; las bacterias simbióticas toman compuestos carbonados del metabolismo vegetal y le aportan a las plantas compuestos nitrogenados. Diferentes especies de plantas leguminosas y no leguminosas son capaces de albergar bacterias fijadoras de nitrógeno en estructuras especializadas. En el caso de las leguminosas como los frijoles comunes, la soya, haba y otras leguminosas, las bacterias fijadoras de nitrógeno de los géneros *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* se alojan en nódulos que se forman en las

raíces. En las células infestadas de los nódulos se alojan las bacterias fijadoras de nitrógeno; toman ácidos orgánicos de las plantas y entregan a éstas, compuestos nitrogenados como los ureidos y las amidas de reserva. Este tipo de fijación de nitrógeno es muy eficiente al recibir las plantas los compuestos nitrogenados directamente de los microorganismos nitro-fijadores que viven en simbiosis con éstas. La fijación simbiótica de nitrógeno se aprovecha comercialmente en la agricultura. En países como Argentina y Brasil se aplican biofertilizantes, con cepas de *Rhizobium* fijadoras de nitrógeno, sobre enormes áreas donde se cultiva comercialmente la soya para granos (Taiz y Zeiger, 1998).

Solubilizadores de fósforo y otros nutrientes minerales retenidos y fijados en el suelo

Son los microorganismos como bacterias, cianobacterias y hongos micorrízicos que realizan la captación y transformación del fósforo insoluble, fijado y poco disponible, el cual se encuentra en forma insoluble y lo transforman a sus formas inorgánicas solubles en la zona rizosférica en el suelo. La transformación biológica del fósforo y algunos metales pesados de formas no-disponibles o insolubles a formas inorgánicas disponibles o solubles en la rizósfera se realiza a través de tres bioprocesos: 1) Quelación, 2) Reducción de hierro (sideróforos) y 3) Producción de ácidos orgánicos.

Quelación. Durante el proceso de quelación se forman quelatos de minerales o metales pesados como el Fe, Ca, Mg, Zn y Cu, los cuales no atraviesan libremente la membrana celular, por lo tanto, es necesaria la quelación biológica (Benavides, 1999; Virgen, 2013). Los quelatos sintetizados biológicamente y cuya función es acarrear o secuestrar iones de metales son llamados ionóforos, y los ionóforos específicos para el hierro son conocidos como sideróforos de acuerdo con Emery (1982), Olsen et al. (1981) y Kloepper et al. (1980) citados por Benavides (1999). Un mecanismo general de acción entre las bacterias, cianobacterias y hongos, como respuesta a la carencia de hierro, es la excreción de sideróforos hacia el medio de crecimiento y la posterior recuperación de los mismos a través de un mecanismo de absorción, asociado al metabolismo energético, que involucra un reconocimiento por parte de una estructura receptora-transportadora de la membrana celular.

En el bioproceso de reducción del hierro, el Fe^{+3} es reducido biológicamente a su forma Fe^{+2} , por la pérdida de un electrón su radio iónico es menor, lo cual lo hace más soluble, esta reacción produce fosfato de hierro en el suelo y se libera difosfato a la solución del suelo, el cual es un compuesto disponible para ser absorbido por la raíz de las plantas. Por último, en el Proceso de Producción de Ácidos Orgánicos, los diferentes microorganismos producen y liberan algunos de éstos compuestos minerales que reaccionan con aniones de fosfatos fijados, lo que hace que se produzca su solubilización y disponibilidad en la raíz de las plantas (Virgen, 2013).

Los microorganismos que producen y participan en la solubilización de compuestos fijados e insolubles del suelo representan aproximadamente el 10% de la microbiota de la capa arable (Virgen, 2013). Los principales grupos y géneros de bacterias más estudiados son: *Pseudomonas putida*, *Acinetobacter sp.* (grupo *Pseudomonales*), *Bacillus subtilis*, *B. simplex*, *B. aryabhatai* (además solubiliza

Zn), *Penicillium bilaji* y *Aspergillus niger*, además de otras especies menos estudiadas de los géneros *Mycobacterium*, *Thiobacillus* y *Micrococcus* entre otros.

Es importante señalar que el concepto rizobacteria promotora del crecimiento de las plantas (PGPR por sus siglas en inglés) incluye a aquellas especies bacterianas benéficas que colonizan la zona radicular de las plantas o rizósfera, de tal manera que modifican e incrementan el crecimiento y desarrollo de las plantas a través de una complejidad de procesos y mecanismos bioquímicos y fisiológicos (Glick, 1995), conceptualización en la cual están incluidas los tipos de bacterias descritas anteriormente. Sin embargo, difiere de los términos fitohormona u hormona vegetal y las sustancias bioestimulantes.

Captadores de fósforo. Enmarcado entre los microorganismos con la capacidad para captar y solubilizar el fósforo se encuentran los hongos micorrízicos. El acceso al fósforo se presenta por intercepción debido que las hifas de los hongos incrementan o alargan similar a una extensión el área de exploración de las raíces de las plantas (Virgen, 2013; Díaz-Franco y col., 2008). Dentro del concepto de la biofertilización, se incluye la inoculación de microorganismos benéficos como promotores del crecimiento de las plantas, y dentro de éstos, un grupo importante son los hongos micorrízicos arbusculares. Estos hongos micorrízicos son habitantes naturales del suelo que sobreviven al colonizar y entrar en asociación (simbiosis) con las raíces de las plantas durante su crecimiento y desarrollo. En la simbiosis se originan estructuras y extensas ramificaciones de filamentos del hongo, capaces de explorar mayor volumen de suelo y llegar a sitios donde la raíz por sí misma sería incapaz de penetrar. Debido a esto, la utilización de micorriza es una alternativa biológica que auxilia para que las plantas satisfagan sus requerimientos por nutrimentos y agua del suelo (Díaz-Franco y col., 2008).

Dentro del contexto de la biofertilización y debido al impacto que han tenido con el desarrollo de las plantas, se ha puesto mayor atención al estudio de los microorganismos benéficos. Por ejemplo, un componente dominante de la comunidad microbiana de la rizósfera son los hongos micorrízicos. Particularmente las micorizas versículo arbusculares (MVA) han tenido tal repercusión que ya existen en el mercado diferentes productos comerciales (Sylvia, 1999) aunque tienen un alto costo por lo general.

Las MVA son un grupo de hongos habitantes del suelo, benéficos para las plantas, con capacidad de colonizar la raíz de gran número de especies y establecer una simbiosis. Actúan en la planta mediante la simbiosis originada de la asociación entre la micorriza arbuscular y la planta, es una alternativa biológica para ayudar a satisfacer a la planta de los nutrimentos y agua del suelo, ya que el hongo micorrízico desarrolla hifas capaces de explorar mayor volumen de suelo y llega a sitios donde la raíz de manera natural y que sin inocular no puede penetrar.

La simbiosis micorrízica arbuscular es interesante desde el punto de vista morfológico, ecológico, taxonómico y fisiológico. También es importante por los efectos que tiene en la biología de la planta en los procesos involucrados en la nutrición, promoción del crecimiento, fisiología y otros beneficios directos e indirectos. Todo esto conlleva al conocimiento del potencial de su uso, tanto en aspectos de investigación fundamental como de aplicación (producción de

inóculo y mantenimiento de cepas), así como en el conocimiento pleno de sus limitaciones (Ferrera-Cerrato y Alarcón, 2007).

En un estudio realizado en sorgo en el norte de Tamaulipas, Pecina-Quintero y col., (2005), aplicando micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azospirillum spp*), encontraron que el porcentaje de colonización radical fue bajo (6%), y encontraron la presencia de cepas nativas de hongos micorrízicos en el testigo (sin inocular). Concluyeron que la baja colonización se debió, en parte, a los bajos contenidos de N, P y materia orgánica del sitio de estudio y al efecto inhibitorio de las cepas nativas.

El papel de la simbiosis es fundamental en la captación de elementos minerales de lenta difusión en los suelos, como los fosfatos solubles, el Zn y el Cu. La absorción de N también se favorece con la micorrización (Barea y Azcón-Aguilar, 1987). Otros elementos como el K y el Mg se encuentran a menudo en concentraciones más altas en las plantas micorrizadas (Sieverding, 1991). La absorción del Ca es estimulada también con la simbiosis MA (Jaconsen, 1992).

Por lo que respecta a los microelementos Zn, Cu y Bo, éstos son activamente absorbidos por las hifas del hongo y transportados hasta el hospedador. Existen otros efectos producidos por la micorriza arbuscular entre los que destacan un aumento de la resistencia de la planta al estrés hídrico y a la salinidad, un aumento de la resistencia y/o tolerancia a determinados patógenos del suelo, un incremento de la supervivencia al trasplante y un incremento de la fijación del nitrógeno en leguminosas (Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990).

En las plantas micorrizadas se produce un aumento del contenido de agua, debido a un aumento de la conductividad hídrica de la planta o a una disminución de la resistencia al flujo de agua a través de ella. También puede ser debido a una mayor absorción a través de la extensa red de hifas externas del hongo MA, extendidas más allá de la zona a la cual tiene acceso directo el sistema radical. La planta hace un mejor uso del agua y es capaz de recuperarse más rápidamente en caso de estrés hídrico Jaconsen (1992).

Se ha demostrado que los hongos que forman micorrizas arbusculares producen, además, un efecto positivo sobre las características edáficas. Una planta micorrizada que crece en suelos arenosos es capaz de agregar más partículas de suelo en sus raíces por unidad de masa que una planta no micorrizada (Sieverding, 1991). La formación de agregados del suelo puede ser un factor importante para disminuir su erosión. Otra condición limitante del suelo es el exceso de caliza, que contribuye a la fijación de oligoelementos, especialmente el hierro (Fe), cuya deficiencia causa la clorosis férrica.

Otras ventajas adicionales de la inoculación de micorriza arbuscular son las siguientes: tienen capacidad para producir glomalina, sustancia viscosa que adhiere y aglutina partículas del suelo; con el uso de los hongos micorrízicos no se contamina el suelo; y pueden utilizarse como un componente dentro de un sistema de producción orgánica.

Los efectos beneficiosos de la introducción artificial de inóculo micorrízico resultan más evidentes en suelos donde las poblaciones de hongos MA nativos no existen, o han sido eliminadas por empleo de prácticas agrícolas desfavorables para su desarrollo como la fumigación del suelo y el cultivo intensivo.

La micorrización temprana de las plantas puede ser también interesante en situaciones en que la cantidad de inóculo MA en el suelo agrícola sea muy baja o por la existencia de un cultivo anterior no hospedador, y/o donde las poblaciones autóctonas no sean lo suficientemente agresivas y eficaces.

Se ha demostrado un efecto beneficioso de la inoculación temprana para la mayoría de los cultivos hortícolas y para los cítricos. Los beneficios económicos se derivan de una mayor y más uniforme producción, una mayor rapidez de crecimiento y entrada en producción de las plantas, una mejor calidad de la cosecha y un ahorro en fertilizantes, riego y productos fitosanitarios (Díaz-Franco y *col.*, 2008).

En la mayoría de los casos parece existir un efecto hormonal, pero resulta extremadamente difícil diferenciar los efectos producidos por las hormonas del hongo, los producidos por las hormonas vegetales y los producidos indirectamente por el estado nutricional de las plantas como consecuencia de la micorrización.

Fito hormonas. También llamadas **hormonas vegetales**, son sustancias producidas por células vegetales en sitios estratégicos de la planta y estas hormonas vegetales son capaces de regular de manera predominante los procesos metabólicos y fisiológicos de las plantas. Las fitohormonas se producen en pequeñas cantidades en tejidos vegetales, pueden actuar en el propio órgano o tejido donde se generan o bien a grandes distancias, mediante el transporte a través de los vasos xilemáticos y floemáticos hacia otros órganos y tejidos (Srivastava, 2002).

Interacciones entre las micorrizas y la microbiota del suelo.

Existen otros aspectos relacionados con los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA) y su aplicación. La existencia de estos hongos en el suelo hace que se produzcan una serie de interacciones con otros microorganismos que viven también en ese hábitat. La micorrizosfera es la rizosfera de una planta micorrizada, y es en ella donde se producen las interacciones que se pueden resumir como: interacciones con microorganismos beneficiosos y con funciones específicas, e interacciones con patógenos. Entre los microorganismos beneficiosos podemos citar a las bacterias PGPR, a las bacterias fijadoras de nitrógeno (tanto libre como simbiote), las cianobacterias, los actinomicetos y a algunos hongos saprofitos que actúan como antagonistas de patógenos del suelo y que pueden ser empleados para el control biológico. En muchos casos las interacciones establecidas son de tipo positivo, llegándose a registrar un efecto de sinergismo, donde la presencia de la MA y del otro microorganismo produce un incremento del crecimiento, vigor y protección de la planta.

Se ha propuesto una serie de mecanismos a través de los cuales ocurre la interacción micorrizas/patógenos, ya que no se ha demostrado nunca que los hongos MA actúen directamente sobre éstos, ya sea por antagonismo, antibiosis, o por depredación, sino que su efecto es indirecto. Los mecanismos son los siguientes (Azcón-Aguilar y Barea, 1996):

- Cambios en la nutrición de la planta hospedadora. Alteraciones en la exudación radicular. Un mejor estado nutricional de la planta puede variar sus exudados y alterar así las poblaciones de microorganismos, ya sea por alteraciones en la germinación de esporas de hongos patógenos y su

penetración, que en la mayoría de los casos se produce por estímulos de las propias exudaciones radiculares.

También puede cambiar la atracción quimiostática de los nemátodos hacia la raíz.

Activación de los mecanismos de defensa de las plantas mediante la inducción de la producción de determinados metabolitos secundarios en las raíces como ligninas, fenoles, fitoalexinas, etileno, quitinasa y peroxidas, entre otros (Gianinazzi- Pearson et al., 1994).

- Competencia por los sitios de infección en la raíz.
- Competencia por los fotosintatos del hospedador.

Con respecto a estos dos mecanismos, podemos decir que la inoculación temprana de las plantas puede garantizar una menor penetración de patógenos radiculares.

El incremento de la tolerancia de las plantas a patógenos del suelo. Esta puede estar inducida por una compensación de los daños ocasionados por los mismos.

Como resumen se puede plantear que los beneficios de la inoculación temprana con hongos formadores de micorriza arbuscular repercuten en una reducción del aporte de fertilizantes y de agroquímicos fitosanitarios, un ahorro del suministro del agua, un mayor crecimiento y producción de las plantas, una mayor supervivencia en las condiciones de estrés y un mejor aprovechamiento de los suelos (Gianinazzi- Pearson et al., 1994).

Microorganismos	Sustancias que libera
Gibberella (<i>Fusarium moniliforme</i>)	Giberelinas
Anabaena, Nostoc	Ácido indolacético
Diplodia macrospora	Auxinas
Phomosis	Auxinas
Trichoderma	Giberelinas

Tabla 1. Microorganismos promotores del crecimiento vegetal y sustancia que producen y liberan (Virgen, 2013).

Promotores del Crecimiento Vegetal. Son aquellos microorganismos que durante su actividad metabólica, son capaces de producir y liberar sustancias y compuestos llamados metabolitos, los cuales son reguladores del crecimiento de las plantas. Virgen (2013) propone y presenta una clasificación de los microorganismos promotores del crecimiento vegetal y las sustancias o fitohormonas que producen y liberan, esta información se presenta en la Tabla 1.

Los Bioestimulantes. Estos productos modernos son una variante y a la vez una combinación del uso de los biofertilizantes en la producción agrícola. Son sustancias y compuestos que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas, además de mejorar su metabolismo, mejoran la absorción de los nutrientes y su traslocación, así permiten que se incrementen el vigor y la resistencia a condiciones de estrés biótico y/o abiótico como el ataque de plagas y enfermedades, así como sequías, heladas, salinidad, alcalinidad y otros factores abióticos estresantes de las plantas. Los bioestimulantes vegetales, independientemente de su contenido de nutrientes que pueden ser químicos, incluyen sustancias, compuestos y/o

microorganismos, cuando se aplican a las plantas tanto vía foliar como a la zona radicular, que mejoran el vigor, crecimiento, desarrollo y resistencia de las plantas, incrementan el rendimiento y calidad de los productos cosechados mediante la estimulación del metabolismo y otros procesos fisiológicos de las plantas. Pueden estar compuestos a base de fitohormonas, microorganismos, de extractos de algas marinas, enzimas, aminoácidos, hidrolizados de proteínas, vitaminas, ácidos húmicos y fúlvicos, extractos bioquímicos de especies arbóreas y/o sustancias fitobióticas activadoras, así como, enriquecidas y complementadas con elementos minerales, entre otros (Saborio, 2002; EBIC, 2012).

Cultivos	Biofertilizante	Dosis	Época de aplicación
Tomate y chile	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices), mezcladas en la siembra	En 200 g de semilla (380 g + 1.0 kg)	Siembra Invernadero
Melón, pepino y sandía	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices), mezcladas en la siembra	En 2.0 kg de semilla (380 g + 1.0 kg)	Siembra en Campo
Chícharo	Rhizobium etli + Micorrizas (Glomus intraradices)	Para 60 kg de semilla (228 g + 0.60 kg)	Siembra en Campo
Lenteja	Rhizobium etli + Micorrizas (Glomus intraradices)	Para 25 kg de semilla (95 g + 0.25 kg)	Siembra en Campo
Frijol, garbanzo, soya y haba	Rhizobium etli + Micorrizas (Glomus intraradices)	Para 100 kg de semilla (342 g + 0.90 kg)	Siembra en Campo
Cebada y trigo	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices)	Para 100 kg de semilla (380 g + 1.00 kg)	Siembra en Campo
Maíz	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices)	Para 60 kg de semilla (228 g + 0.60 kg)	Siembra en Campo
Sorgo	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices)	En 20 kg de semilla (76 g+200 g)	Siembra en Campo
Ajonjolí	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices)	En 4.0 kg de semilla (16 g+40 g)	Siembra en Campo
Mango y cítricos	Azospirillum brasilensis, disolverlo en 200 L de agua, aplicarlo en el agua de riego	1.140 kg	Antes del trasplante
Cítricos, mango y cultivos forrajeros	Azospirillum brasilensis + Micorrizas (Glomus intraradices), disolverlos en 400 L de agua y asperjarlo en la zona radicular	0.76 kg + 1.00 kg	Antes del trasplante o en campo

Experiencias a nivel nacional sobre el uso de biofertilizantes en diferentes cultivos anuales y perennes, en diferentes condiciones de humedad de riego y temporal se han obtenido en el noroeste del país, en el INIFAP (Arellano-Saldaña y col., 2004), la Tabla 2 se muestran algunos cultivos con los productos biofertilizantes utilizados.

Las biocompostas: biocompostas y vermicompostas

Biocompostas. Los beneficios que conlleva la utilización de compostas, por su alto contenido de materia orgánica descompuesta y porcentaje de humus producido, ayudan a contrarrestar la degradación de los suelos, que se debe principalmente al mal manejo, así como también por extracción nutrimental de los cultivos. Erosión hídrica, eólica y otros factores antropogénicos, como acidez y salinidad provocada por fertilizantes químicos e inadecuado manejo agronómico. El principal sustrato de las compostas y biocompostas es la materia orgánica, residuos, esquilmos y desechos fecales de diferentes tipos de especies pecuarias.

La cachaza es un residuo que se obtiene en el proceso de clarificación de los jugos de caña, que incluye materias terrosas e impurezas orgánicas. Por cada tonelada de caña procesada se obtienen de 30 a 50 kg de cachaza. Resultados obtenidos indican que la cachaza es rica en N, P, K y Ca, y que su uso como abono favorece las propiedades físicas y químicas del suelo; incrementa temporalmente la capacidad de intercambio catiónico del suelo por la producción de humus, aumenta la capacidad de retención de humedad del mismo, y durante su descomposición se produce gran cantidad de CO₂ que al transformarse en H₂CO₃ disuelve, junto con otros ácidos de origen orgánico, los nutrientes insolubles en suelos con pH alcalino (Zarate, 1993).

El composteo de la cachaza es una alternativa que permite reducir las dosis de aplicación de fertilizantes químicos comerciales, facilitando su transporte y aplicación en campo, por lo que favorece el proceso de mineralización, lo cual a su vez permite una mayor disponibilidad de nutrientes para el cultivo (Allende, 2012).

La composta biomineralizada es un abono orgánico, aportante de materia orgánica y 50 minerales al suelo, fuente de nutrientes y apartadora de microorganismos formadores de suelo. Aumenta la capacidad de intercambio catiónico, mejora la estructura del suelo además de regular el pH del mismo. Tiene un alto contenido de humus, materia orgánica, ácidos húmicos y fúlvicos, con elementos mayores, secundarios y oligoelementos de disposición inmediata para las plantas (Gómez, 2012).

Vermicomposta o Lombricomposta. Es un producto formado única y exclusivamente por las excretas, producto de la digestión natural de las lombrices de tierra composteadoras (por ejemplo lombriz roja californiana *Elsinoe foetida*); se presenta en la forma de infinidad de agregados cilíndricos, de uno o dos milímetros de longitud, cubiertos por una fina película muco-proteica, “membrana peritrófica” que aglutina y retiene miles de microorganismos del suelo, compuestos húmicos, órgano-minerales y nutrimentos, que contiene hormonas, antibióticos, membrana peritrófica, materia orgánica, hongos, bacterias, actinomicetos, sales minerales, enzimas, vitaminas. El humus de

lombrices es de color café oscura. El excremento contiene varios elementos, nitrógeno mineral de lenta asimilación y fósforo, potasio, calcio, magnesio, y micro-nutrientes de liberación lenta; además de una serie de compuestos orgánicos y ácidos húmicos (Forestales, 2008). Es un compuesto orgánico el resultado final también llamado humus depende del sustrato o alimento utilizado en la vermicomposta, por ejemplo tipo de estiércol utilizado: ovino, caprino, bovino u otros. Lo más recomendable es realizar análisis de características bioquímicas y contenidos nutrimentales en un laboratorio certificado.

La biocomposta de lombriz es de gran peso molecular y de naturaleza muy compleja que resulta de los bioprocesos de la descomposición parcial de los residuos vegetales y animales como materia orgánica o sustrato, así como la ingestión y transformación, por la excreta realizada por la lombriz de tierra, una especie muy utilizada es la Lombriz roja de California (*Elsinoe foetida*). La importancia y riqueza microbiana y nutrimental de las vermicompostas dependen del sustrato o materia orgánica utilizada en la alimentación de las lombrices.

Conclusiones

La biofertilización es una tecnología que se suma a las de conservación para contrarrestar el deterioro ambiental y específicamente el de los sistemas agrícolas. Algunos de los microorganismos que actúan como promotores del crecimiento vegetal como las bacterias y los hongos que producen metabolitos, al modificar su medio o entorno rizosférico incrementan la solubilidad de algunos micronutrientes minerales y el fósforo fijados y retenidos en el suelo, lo que regula estabiliza e incrementa los procesos metabólicos y fisiológicos de las plantas.

El uso de bioestimulantes que son sustancias, compuestos y microorganismos, de diferentes componentes orgánicos e inorgánicos, son una combinación de biofertilizantes con productos alternativos de microorganismos y químicos o sintéticos, los cuales se aplican tanto vía foliar como en la rizósfera de las plantas, son productos que incrementan el vigor, resistencia, crecimiento y desarrollo de los cultivos, incrementan el rendimiento y la calidad de las cosechas, así como la resistencia al estrés abiótico (sequías, heladas, etc.) y al estrés biótico como el ataque de plagas y enfermedades.

El incremento en la investigación, desarrollo, validación y producción de los biofertilizantes en los cultivos ofrece un prominente y atractivo camino para reducir la utilización de los fertilizantes químicos, pesticidas y otros agroquímicos aplicados para la producción de los cultivos. Sin embargo, el papel de los microorganismos en el aprovechamiento metabólico y fisiológico para incrementar el estado nutricional, promoción hormonal, así como el efecto fitosanitario en las plantas se ha investigado muy poco, lo cual ofrece un espacio de oportunidad para muchos investigadores de las áreas de microbiología, agroecología y las ciencias agronómicas.

La factibilidad del éxito en la utilización de los biofertilizantes en los cultivos depende en gran medida del conocimiento, experiencia y manejo del cultivo, su requerimiento nutricional en las diferentes fenofases, las condiciones

ambientales; así como, del conocimiento en la mezcla y combinación de los diferentes microorganismos, época, etapa de aplicación, dosis y formas de aplicación de los biofertilizantes.

La utilización de las compostas, biocompostas y vermicompostas, es necesaria para las explotaciones de cultivos en la agricultura orgánica, así mismo, es muy recomendable para aquellos suelos con bajo contenido de materia orgánica, y suelos erosionados y degradados. Se deben realizar los análisis del contenido nutricional y de otros parámetros como: pH, conductividad eléctrica, relación c:n, materia seca, contenido de materia orgánica, y en lo posible determinar la población microbiana por tipo de microorganismos, los cuales se deben realizar en laboratorios certificados y con reconocido prestigio.

Bibliografía

- Aguirre, M.J.F. 2000. Los biofertilizantes. Revista: Hortalizas, Frutos y Flores. Febrero 2000. p. 30-31.
- Alarcón A., y R., Ferrera-Cerrato. 2000. Biofertilizantes: Importancia y utilización en la Agricultura. Agr. Tec. Mex. 26(2): 191-203.
- Allende, F.A. 2012. Fertilización Inorgánica e Inoculación de Microorganismos Benéficos (Biofertilizantes) en la Producción del Chile Serrano. Trabajo de investigación, Instituto tecnológico superior de Tantoyuca, Veracruz, México, Pp. 66.
- Arellano-Saldaña, J. & et al. 2004. Uso de Biofertilizantes y Fertilizantes Orgánicos en la Producción Agrícola. CIRNO-INIFAP, CE Valle de Culiacán, Sinaloa. Folleto para productores No. 50. P. 13.
- Azcon-Aguilar y Barea. 1996. Interactions between micorrhizae and soil microbial. Plant Soil 152: 109-117.
- Benavides, M. A. 1999. Absorción y asimilación de hierro en las plantas. Departamento de Horticultura, UAAAN, Saltillo, Coah., México. Disponible en: http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/hierro_en_plantas.pdf
- Díaz-Franco, A. & et al. 2008. Productividad del Sorgo con Inoculación de Micorriza Arbuscular. INIFAP-Campo Experimental Río Bravo, Tamaulipas, México. Folleto para productores No. 18.
- EBIC. European Biostimulants Industry Cosortion. 2012. Presentación de Bioestimulantes en Castellano. Abril de 2012. Disponible en: www.biostimulants.eu
- Ferrera-Cerrato, R., y A. Alarcón. 2007. Microbiología agrícola: hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo. Ed. Trillas, México. 568 p.
- Forestales, C. T. 2008. *Terra Nova*. Obtenido de lombricomposta: <http://terranovalombricultores.com/que-es-la-lombricomposta/>
- Gianinazzi-Pearson y Gianinazzi. 1983. Minor elements are actively absorbed by fungal hyphae. *Nature*, Inglaterra, 1983, pp. 194-201.
- Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Can. J. Microbiol.* 41-109-117.

- Gómez, G. J. M. 2014. Evaluación de biofertilizantes y compostas como alternativas económicas para disminuir el uso de fertilizantes inorgánicos en Chile serrano. Tesis de Licenciatura Ingeniero Agrónomo. UAM Mante, UAT. 67 pp.
- Graham, P.H. 1998. Symbiotic Nitrogen Fixation. Disponible en: http://www.soils.agri.umn.edu/academics/classes/soil3612/Symbiotic_Nitrogen_Fixation/
- Guzmán-Plazola, R.A., Ferrera-Cerrato, R., y Bethenfalvay, G. J. 1993. Efecto de la endomicorriza V-A en maíz y frijol sembrados solos o asociados en condiciones de campo. *Terra* 11(2):185-192.
- Jacobsen, M. 1992. Effects of arbuscular endomycorrhizae in plants and absorption of nutrients. *Plant Soil* 134: 389-393.
- Pecina-Quintero, V.; A. Díaz-Franco; H. Williams-Alanís; E. Rosales-Robles; I. Garza-Cano. 2005. Influencia de fecha de siembra y de biofertilizantes en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 28, núm. 4, pp. 389-392.
- Parsons, R. 2004. Plant-Microbe Metabolism: nitrogen metabolism of N₂ Fixing Symbioses. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Saborio, F. 2002. Bioestimulantes en fertilización foliar. Fertilización Foliar: Principios y Aplicaciones. Costa Rica. Pp 111-127. Cursos INTAGRI. www.intagri.com.mx.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Edit. Grupo Editorial Iberoamérica, México. 759 pp.
- Sieverding. 1991. Different types of arbuscular endomycorrhizae criteria ordered by structural, functional and taxonomic. *Plant Soil* 130: 221-247.
- Srivastava, L. M. 2002. Crecimiento y desarrollo de las Plantas: hormonas y ambiente natural. Amsterdam: Academic Press. Pag. 140.
- Sylvia, D. M. 1999. Fundamentals and applications of arbuscular mycorrhizae: a "biofertilizer" perspective. pp. 705-723. In: J. O. Siqueira y F. M. Moreira (eds.). Soil fertility, soil biology, and plant nutrition interrelationships. Sociedade Brasileira de Ciencia de Solo. Minas, Brasil.
- Taiz, L. y E. Zeiger, 1991. Plant Physiology. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc., University of California, USA.
- Velasco-Velasco, J., R. Ferrera-Cerrato y J. J. Almaraz-Suárez. 2001. Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra* 19: 241-248.
- Virgen, G. C. 2013. Bacterias promotoras del crecimiento vegetal. Cursos online INTAGRI, México.
- Zárate, L. M. (1993). Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. Obtenido de Manejo y Uso Agronómico de la cachaza en suelos cañameleros: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_ci/canadeazucar/canal102/texto/manejo.html.

Tecnologías de transformación de frijol bajo un enfoque sustentable: comunidad indígena de Xiliapa, SLP.

Transformation technologies of bean under a sustainable approach: indigenous community of Xiliapa, SLP.

Karina Ramírez Sedeño²⁵
Óscar Manuel Portilla Rivera
*Vicente Espinosa Solís
Carmen del Pilar Suárez Rodríguez²⁶
Maribel Ovando Martínez

Resumen

²⁵*Coordinación Académica Región Huasteca Sur. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera Tamazunchale-San Martín KM. 5. Tamazunchale, SLP. 79960. *Contacto: vicente.espinosa@uaslp.mx*

²⁶*Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carretera a la Victoria Km 0.6. Hermosillo, Sonora (83000) México*

La Huasteca Potosina, por su diversidad de especies vegetales y animales, ofrece la posibilidad de innovar en la elaboración de productos tanto alimentarios como no alimentarios a partir de materia prima producida en la región, y así, contribuir no solo a la mejora económica de los pobladores sino también a una alimentación saludable y de bajo costo, sin perder los aspectos culturales y en un entorno de sustentabilidad. La comunidad indígena de Xiliapa, Tamazunchale, San Luis Potosí, México, se caracteriza por mantener sus tradiciones y su alimentación. El maíz, chile y frijol, todos cultivados en la localidad y comercializados en las cabeceras municipales cercanas, son parte importante de la alimentación de sus habitantes. Las propiedades alimentarias de estos productos están definidas por las características medioambientales de la zona, lo cual podría afectar los compuestos bioactivos que contiene, y por ende ocasionar cambios en su funcionalidad. Dentro de los productos antes mencionados, se considera al frijol como la principal fuente de proteínas y el de mayor consumo en la región, por lo que en este trabajo se identifican las formas de comercialización y cultivo de un producto que forma parte de la dieta de la comunidad indígena. Así mismo, se hace una revisión de los productos alimentarios que pueden desarrollarse a partir del uso de la tecnología de alimentos para incrementar su valor nutrimental, y también se explora la posibilidad de introducir un alimento basado en harina de frijol bajo un modelo de sustentabilidad.

Abstract

The Huasteca Potosina due to its wide vegetable and animal diversity, extend the possibility to develop both food and non-food products by using the raw material produced in the region. In this respect, the economy of the population and the health-benefits caused by the intake of such products are improved, and at the same time, there is not loss of the cultural aspects and sustainability. The indigenous community of Xiliapa, Tamazunchale, San Luis Potosi, Mexico is

characterizing because of its traditions and food. Maize, chili and beans, all of them grown in the community and commercialized around the region, are an important part in the food of Xiliapa. The food properties of these products are defined by the environmental conditions, which could affect the bioactive compounds content and their functionality. Among the food products mentioned before, beans are considered the main source of proteins and the ones with higher intake in the region. Due to the mentioned before, in this work are identified different forms of commercialization and cultivation of bean which are part of the diet of the indigenous community. In the same way, it is reviewed the development of different food products using the food technology to increase their nutritional value, and it is also explored the possibility to develop a food product with bean flour based in a sustainability model.

Introducción

México es considerado un país megadiverso, cuya diversidad biológica es representada a nivel genético, de especies, ecosistemas y culturas (SEMARNAT, 2010). Dicha diversidad biológica se origina por las distintas condiciones climáticas, geográficas, geológicas y topográficas que confluyen en distintos ambientes naturales distribuidos por toda la república (Rzedowski, 2006). Esta riqueza ha sido aprovechada por el hombre para incentivar la economía (agricultura, ganadería, pesca), así como para aportar opciones en la alimentación (FAO, 2009a).

El estado de San Luis Potosí se divide en cuatro regiones: Altiplano, Centro, Zona Media y Huasteca; cuenta con una población de 2 585 518 habitantes, de los cuales, el 64% corresponde a la población urbana y el 36% a la población rural. Dentro de las lenguas indígenas más habladas en el estado se encuentran: Náhuatl (141 326 habitantes), Huasteco (99 464 habitantes), Pame (11 412 habitantes) y Otomí (320 habitantes) (INEGI, 2010). La Huasteca Potosina cuya extensión territorial es de 11 409 km², abarca 20 municipios del estado. En esta región, los hablantes de la lengua náhuatl se encuentran en Tamazunchale, Xilitla, Matlapa, Axtla de Terrazas, Coxcatlán, San Martín Chalchicuautla y Tampacán; mientras que los hablantes de huasteco están concentrados en Aquismón, Tancanhuitz de Santos, Ciudad Valles, Huehuetlán, San Antonio, Tanlajás y Tampamolón Corona (INEGI, 2005; INEGI, 2010).

Las comunidades indígenas en San Luis Potosí se agrupan en 389 unidades comunitarias que a su vez se estructuran en 1 189 sub-unidades. Dentro de estas subunidades se encuentran los barrios, anexos, secciones, fracciones, colonias y otras denominaciones, mismas que el INEGI clasifica como localidades (INEGI 2005). Las comunidades se encuentran distribuidas en 23 de los 58 municipios que integran al estado. Sin embargo, algunos autores reportan cifras mayores solo para la huasteca potosina en comparación a las cifras reportadas para el estado (Ávila-Méndez et al., 2005). Debido a las características geográficas de la región, generalmente el acceso a las comunidades es difícil, existe una alta marginación, y a pesar de los programas de desarrollo social y acceso a la educación, dichas comunidades se siguen considerando como de alta vulnerabilidad, con consecuencias como la migración, desnutrición y otros problemas de salud. El conocimiento de las características propias de un sector de la población, permite

identificar y proponer estrategias que coadyuven al desarrollo de la misma; es por ello, que en este trabajo se desarrollan los aspectos fundamentales de la comunidad en torno a la siembra, consumo y comercialización de distintas variedades de frijol con el fin de proponer la elaboración de un alimento funcional elaborado con los recursos naturales propios de la región.

Comunidad indígena “Xiliapa”

El municipio de Tamazunchale tiene 226 localidades catalogadas como indígenas. Una de éstas es Xiliapa. De acuerdo a INEGI (2010), Xiliapa es una localidad rural e indígena que se encuentra en la longitud -98.83750000 y a una latitud 21.27288889. Se localiza a 860 msnm (metros sobre el nivel del mar), enclavada en las montañas y estribaciones de la Sierra Madre Oriental como se muestra en la Figura 1. Tiene una población de 242 habitantes (141 hombres, 141 mujeres), de los cuales, cerca del 50% de los adultos hablan náhuatl. Sin embargo, dicho municipio presenta un alto grado de marginación (SEDESOL, 2015). En entrevista con miembros de la comunidad, se ha identificado que el principal sustento económico de los habitantes es la siembra del maíz, el cultivo de ciertas variedades de frijol tales como Pachaya (*Phaseolus lunatus*), Sarabanda (*Vigna unguiculata*), Ayocote (*Phaseolus cocineus*) y Michigan (*Phaseolus vulgaris*); además de chile piquín (*Capsicum annuum*), algunas hierbas (soyo, cilantro, menta) y ciertas frutas (mandarina, naranja, durazno). El producto cosechado es vendido en las cabeceras municipales (Tamazunchale o Matlapa) y una porción menor es utilizada para el consumo familiar. La elaboración de pan representa otra entrada económica en la comunidad (González-Flores, E., comunicación personal, 04 de junio, 2015).

Figura 1. Comunidad de Xiliapa, Tamazunchale, S. L. P
Fuente: Google Maps, Digital Globe.



El “etl”, nombre del frijol en lengua náhuatl, es uno de los cultivos más importantes para la localidad, cuyo precio de venta equivalente al volumen de una lata de sardina de 425 gramos puede variar de \$15.00 a \$30.00 pesos (Figura 2A), mientras que un rollo de vainas de frijol de 100 gramos puede llegar a los \$35.00 pesos (Figura 2B), estos precios dependerán de la cosecha. Como se conoce, la siembra del frijol es por temporal, donde los agricultores siguen un calendario comunitario de siembra que puede variar según se adelanten o retrasen las lluvias. De acuerdo a este calendario, para el mes de febrero se siembra principalmente la variedad Sarabanda (ciclo de cultivo dos meses), en el mes de mayo se inicia la siembra de la variedad Huarachito o Pachaya “pachalt”, y en diciembre se siembra la variedad llamada Frijolón o Ayocote (ciclo de cultivo cinco meses). Por temporada se pueden obtener entre 200 kilogramos a 400 kilogramos por

agricultor, cifra que puede variar de acuerdo a las condiciones climáticas que se hayan presentado durante el ciclo de cultivo del frijol (Bautista, A., comunicación personal, 04 de junio, 2015).

Al estar la comunidad de Xiliapa enclavada en las montañas de la Huasteca Potosina, las tierras de cultivo se encuentran en las laderas. La zona de cultivo se selecciona al azar y es de un tamaño aproximado a la media hectárea. Para la siembra de frijol, primero se barbecha con un machete o a mano. Debido a la ubicación del terreno de cultivo, hay partes en las cuales las piedras abundan y son imposibles de quitar, entonces se buscan lugares con tierra que permitan la siembra de dicha leguminosa (Bautista, C., comunicación personal, 04 de Junio, 2015).



Figura2. Venta de frijol en la cabecera municipal de Tamazunchale, SLP

A) Sardina, B) Vaina

Fuente: Elaboración propia

Para realizar la siembra y/o cosecha se recurre a la contratación de peones (vecinos de la comunidad o gente foránea), los cuales perciben un sueldo de \$80 pesos al día, actividad que genera una fuente de trabajo en la localidad.

Los residuos de la cosecha (vaina y planta), se dejan en el campo de cultivo para que se degraden y sean aprovechados como abono o camas de protección para la próxima siembra (González-Flores, comunicación personal, 05 de junio, 2015). Durante el ciclo de cultivo del frijol, los agricultores no utilizan fertilizantes industriales; sin embargo, hacen uso de plaguicidas para combatir a las catarinas (escarabajos) y ácaros (las plagas más comunes), solo cuando el cultivo comienza a ser invadido por la plaga, (Bautista, B., comunicación personal, 05 de junio, 2015).

La importancia del frijol radica en su asociación con el desarrollo de las culturas prehispánicas y por ser parte de la cultura gastronómica de México. Sin embargo, dicha situación ha cambiado debido a modificaciones en el estilo de vida, hábitos alimenticios, cambios climáticos, así como ir de una economía cerrada a una global, lo cual afecta la producción, comercialización, transformación y consumo del frijol (SAGARPA, 2012). En la Huasteca Potosina existen variedades de frijol que son cultivadas por comunidades indígenas. Entre estas variedades encontramos al frijol Sarabanda que se consume durante las festividades de día de muertos (Xantolo) para la preparación de bocoles, tamales, atoles que forman parte de la dieta básica de los habitantes de la Huasteca Potosina. El frijol Ayocote y el frijol Pachaya se utilizan en diferentes temporadas del año como parte fundamental de platillos típicos de la región.

El cultivo del frijol, bajo las prácticas de los habitantes de la comunidad y las condiciones climáticas de la región influye en la calidad nutricional y culinaria del mismo. Más allá de los aspectos alimentarios, el frijol es de suma importancia para los pobladores de la comunidad, ya que está asociado a su identidad cultural. Es por ello que se considera de vital importancia conocer las propiedades de las especies endémicas, para con ello hacer propuestas que influyan en el desarrollo de la región de manera positiva. La Universidad Autónoma de San Luis Potosí, a través de la Coordinación Académica Región Huasteca Sur, busca hacer investigación que permita caracterizar la interacción entre las biomoléculas presentes en la matriz alimentaria del frijol, antes, durante y después de un proceso de transformación, para estudiar sus propiedades funcionales y descubrir ventajas para su aprovechamiento en la producción de alimentos funcionales que puedan beneficiar la salud de quienes los consuman. El conocimiento de esta leguminosa puede incentivar a los habitantes de las comunidades a sembrar dichas variedades a mayor escala para mejorar su economía; siempre pensando en que las futuras generaciones podrán utilizar los mismos recursos.

En los siguientes apartados se abordan aspectos de las propiedades del frijol y las tecnologías que pudieran implementarse bajo un enfoque de sustentabilidad en la región Huasteca Sur.

Generalidades del frijol

El frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) es una de las leguminosas de mayor consumo a nivel mundial en países en desarrollo. Dicha leguminosa representa una rica fuente de vitaminas, proteínas, minerales y fibra, para las poblaciones de escasos recursos (Bitocchi et al., 2011). En México, existe una amplia diversidad de variedades de frijol que difieren en color, tamaño, forma y calidad comercial (Campos-Vega et al., 2009). Se considera que el color y tamaño de la semilla son dos cualidades importantes para los consumidores dependiendo de la región. Ambas características del frijol dependen de la variedades genética, el cultivar y las condiciones ambientales de crecimiento (Reynoso-Camacho et al., 2006). Dentro de las variedades de frijol de mayor cultivo en México se encuentran el frijol claro y negro. Se reportó que el 67% de la producción de frijol corresponde a las variedades de frijol claras; mientras que el 30% pertenece a las variedades de frijol negro (Financiera Rural, 2011). De acuerdo a los hábitos de consumo, preferencias y cultura, los consumidores demandan frijol de diferentes tipos y calidades, por lo que se hace necesario el estudio de variedades de frijol que no son explotadas en la región.

Respecto a las condiciones de cultivo del frijol, éste crece óptimamente en áreas con precipitaciones pluviales medias, mientras que no se recomienda su cultivo en lugares como los trópicos húmedos. Lluvias excesivas y climas calientes ocasionan caída de la flor y vaina, además de un incremento en la incidencia de enfermedades en la planta. Por dichas razones en las zonas indígenas de la Huasteca Potosina, el frijol solo se siembra en épocas específicas del año para disminuir las pérdidas del mismo. La temperatura mínima óptima promedio para el crecimiento del frijol es 10° C, mientras que la máxima es 27° C. Para que la semilla germine, se requiere una temperatura de suelo de

15° C o más. Si la germinación ocurre a 18° C, el proceso de germinación dura alrededor de 12 días, pero si ocurre a 25° C, este proceso tardará cerca de 7 días. Las condiciones climáticas encontradas en la Huasteca Potosina oscilan entre 30 – 40° C, lo cual trae como consecuencia que la composición química de las variedades de frijol antes mencionadas puedan llegar a ser diferentes a las cultivadas en otros lugares. En cuanto a los requerimientos de agua, para un periodo de 60 a 120 días, la planta necesita entre 300 y 500 mm de agua dependiendo del clima. Se ha encontrado que cuando ocurre una deficiencia severa de agua durante la etapa vegetativa, generalmente se atrasa el desarrollo de la planta y causa un crecimiento no uniforme. El riego frecuente durante la floración, desarrollo y llenado del grano de frijol incrementa la producción. Sin embargo, un exceso de agua lleva al aumento de enfermedades, especialmente en la raíz de la planta. Por ejemplo, bajo condiciones de deficiencia de agua durante la etapa vegetativa, el frijol evita la pérdida de este componente antes de la floración, mediante el cierre de estomas. Mientras que, cuando dicha deficiencia ocurre en la etapa de desarrollo y llenado del grano, se obtienen vainas descoloridas con frijoles deformes (FAO, 2009b).

Se considera que el cultivo de frijol en la Huasteca Potosina, debido a las condiciones climáticas de la región podría afectar la calidad culinaria y nutricional del mismo. Se considera necesario evaluar su composición nutricional y conocer como estos cambios podrían reflejarse en las propiedades funcionales de las biomoléculas presentes en dicho sistema alimenticio.

Estructura y composición química del grano de frijol

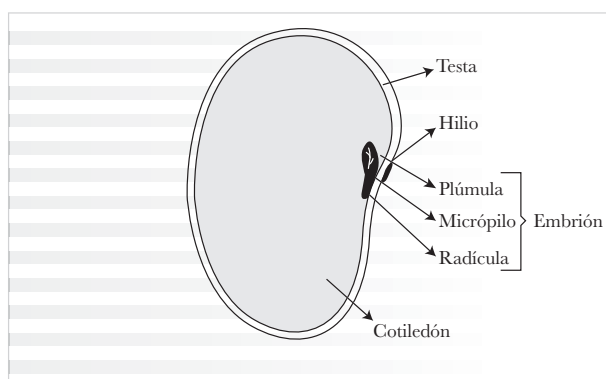


Figura 3. Características estructurales de la semilla de frijol.

Fuente: Oakleaf Gardening, disponible en: <http://www.oakleafgardening.com/glossary-terms/structure-of-seeds/>

Las dos principales partes estructurales del grano de frijol son la testa y el cotiledón (Figura 3). La testa sirve como barrera protectora entre el cotiledón y el ambiente exterior (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993). La testa es la fracción más grande después del cotiledón y se ha relacionado con la absorción de agua en la semilla; sin embargo, se considera que otros constituyentes de la semilla como el hilio y el micrópilo, forman junto con la testa un sistema integrado de absorción/eliminación de agua.

Respecto a la composición química de la testa de frijol, se ha reportado un contenido de 67% de polisacáridos insolubles no amiláceos y 4% de fibra soluble. Además, esta fracción es rica en compuestos fenólicos, los cuales por ser susceptibles a polimerizar, contribuyen a la impermeabilización de la testa,

característica no deseada desde el punto de vista calidad culinaria porque lleva al fenómeno denominado “hardtocook” (Velasco-González, et al., 2013). El cotiledón, parte estructural mayoritaria de la leguminosa (Figura 3), se considera el principal órgano de almacenamiento en la semilla (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993). Se ha reportado que el cotiledón de frijol contiene gránulos de almidón; que representan el componente de mayor proporción, embebidos en una matriz proteica (Berrios et al., 1998). Se ha encontrado que la estructura celular del cotiledón restringe el acceso libre de las enzimas durante la digestión del almidón de frijol. Esto es debido a la presencia de la pared celular y la matriz proteica, la cuales rodean a los gránulos de almidón, bloqueando la acción enzimática y por tal reduciendo la velocidad de hidrólisis del mismo (Berg et al., 2012).

Entre los componentes primarios de la semilla de frijol se encuentran las proteínas y los carbohidratos. Usualmente, se recomienda el consumo de frijol debido al contenido de proteína que presenta, el cual oscila entre 17-28%, valores que son similares a los reportados en carne (18-25%) y mayores a los encontrados en cereales (7-13%). No obstante, las proteínas del frijol y leguminosas en general, son de bajo valor nutricional debido a la baja digestibilidad de las mismas y a la deficiencia de algunos aminoácidos esenciales. Se ha reportado que la proteína de frijol presenta un alto contenido de lisina (6.4-7.6g/100g de proteína), fenilalanina y tirosina (5.3-8.2 g/100g de proteína). Como se mencionó, se conoce que el frijol es deficiente en los aminoácidos azufrados metionina y cisteína. Debido a ello, esta deficiencia se compensa con el consumo de cereales, tales como maíz, arroz y trigo (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993).

Las leguminosas como el frijol, contienen alrededor de 60-65% de carbohidratos, valor menor comparado con el de los cereales (70-80%). Los carbohidratos de las leguminosas están constituidos principalmente por monosacáridos (ribosa, glucosa, galactosa y fructosa), disacáridos (sacarosa y maltosa), oligosacáridos (rafinosa, estaquiosa y verbascosa) y polisacáridos (almidón, componentes de la fibra dietética). De todos los carbohidratos presentes en la semilla, el almidón es el principal carbohidrato de almacenamiento, debido a que constituye la fracción mayoritaria del total de carbohidratos de las leguminosas (Hernández-Salazar et al., 2010).

Actualmente, se recomienda el consumo de frijol debido a la presencia de compuestos polifenólicos, provenientes principalmente de la testa, aunque es claro que el cotiledón también contribuye con este tipo de compuestos, pero en menor proporción (González et al., 1999). Boateng et al., (2008) reportaron contenidos de polifenoles de 3.42 a 7.21 mg/g para frijoles con testa oscura y clara, respectivamente; mientras que Heimler et al., (2005) reportaron valores de 1.17 a 4.40 mg/g. Se ha reportado que la cantidad y composición de taninos condensados y antocianidinas determinan el color de la testa del frijol (Rocha-Guzmán et al., 2007).

El consumo *per se* de frijol trae como consecuencia diferentes efectos fisiológicos positivos sobre la salud de quienes lo consumen, dichos efectos han sido relacionados con el contenido de fibra dietaria (Tosh y Yada, 2010), contenido de almidón de baja digestión (Serrano y Goñi, 2004) y contenido de polifenoles (Cardador-Martínez et al., 2002). Sin embargo los consumidores

demandan frijol de diferente calidad culinaria de acuerdo a hábitos de consumo, preferencias y hábitos culturales. Por lo cual, el número de variedades de frijol demandadas es reducido. Existen diversas investigaciones en las cuales el frijol ha sido transformado para la generación de harinas o almidones y con ellos realizar productos funcionales. Esto podría ser utilizado para darle un uso alternativo a las variedades de frijol sembradas en las comunidades indígenas.

Tecnologías para la transformación del frijol

Para utilizar el frijol de una forma diferente a la tradicional, estas leguminosas deben someterse a un proceso de molienda en seco para producir harinas y/o someterlo a un proceso de molienda húmeda para obtener almidón (Ovando-Martínez et al., 2011a; 2011b). Para lo cual, una vez que el frijol ha alcanzado su maduración fisiológica; se deja secar en la vaina hasta que el contenido de humedad disminuye y tanto la testa como el cotiledón se endurecen. En este estado seco, los frijoles pueden ser triturados para obtener una harina, la cual puede ser empleada en diversos procesos de transformación como los que se mencionan a continuación.

1) Elaboración de productos de panificación

Por muchos años el pan ha sido uno de los principales constituyentes de la dieta humana. Elaborar pan a partir de masas fermentadas con levaduras, ha sido uno de los procesos biotecnológicos más antiguos. Las principales materias primas utilizadas para su elaboración son: harina de trigo, sal, levadura (química o biológica) y azúcar, aunque en algunos casos se agrega agua o leche y grasa (Hernández et al, 2003). Cada uno de estos componentes tiene una función específica en el proceso de elaboración y cocción del pan, ya que si falta alguno de ellos, el pan no tendría la consistencia adecuada y característica que ya conocemos. La mayoría de los productos de panadería, confitería y pastelería contienen harina de trigo como principal componente (Del Castillo et al., 2009). El proceso de elaboración de pan se divide en tres etapas: mezclado, fermentado y horneado. Durante todas las etapas de elaboración de pan, ocurren cambios químicos, bioquímicos y transformaciones físicas afectadas por los diversos constituyentes de la harina, en conjunto con el resto de los ingredientes presentes en la mezcla. Los productos horneados que tienen como base principal harina de trigo son consumidos por la mayoría de la población, sin embargo existe una sección de la población la cual presenta alergias o intolerancia al consumo de trigo, debido a la presencia del gluten.

El gluten es la principal proteína estructural de cereales como el trigo, la avena o el centeno y confiere a las masas, la elasticidad y extensividad necesarias para elaborar productos de panificación de buena calidad. (Sciarini et al., 2008). El gluten es una proteína de bajo valor nutritivo, cuyo uso se masificó debido a su capacidad de retener aire en la matriz proteica facilitando que la masa se adhiera mejor, fenómeno que favorece la elaboración del pan. Las gliadinas son la fracción del gluten soluble en alcohol y contienen la mayor parte de los componentes tóxicos para las personas intolerantes; son ricas en glutamina y prolina, cuya digestión en el tracto gastrointestinal es más difícil que el de otros péptidos (Parada y Araya, 2010)

Por esta razón existen diversas investigaciones que han estudiado la elaboración de productos de panificación libres de gluten. Sin embargo la elaboración de un pan sin gluten presenta dificultades, ya que las proteínas del gluten son indispensables en la formación de la red que da las propiedades viscoelásticas de la masa y de la capacidad de retención de gas que permite el aumento de volumen. En la actualidad se han estudiado varios ingredientes para imitar al máximo las propiedades funcionales del gluten. Algunos de ellos son: hidrocoloides (goma xantana, goma guar, hidroximetil celulosa), enzimas (transglutaminasas, xilanasas) y diferentes fuentes proteicas (leche, huevo, soja). La leche, el huevo y la soja, son las fuentes proteicas más utilizadas, tanto por sus propiedades nutricionales como tecnológicas. Cada una de ellas aporta diferentes propiedades que permiten la elaboración de productos libres gluten de buena calidad, aunque también las gomas son un factor muy importante para obtener las características generales del pan (Miñarro et al., 2009).

Además de los ingredientes arriba mencionados, también se han estudiado otro tipo de fuentes no convencionales en la elaboración de pan libre de gluten como harina de cereales y leguminosas. Por ejemplo, Manchado-Alencar et al., (2015) estudiaron la adición de harina de amaranto y quínoa en la elaboración de pan libre de gluten. Dichos autores encontraron que la adición de harina de quínoa y amaranto no afectaron las propiedades de textura del pan y aumentaron el contenido de proteínas, lípidos y cenizas. También se reportó que la adición de edulcorante al pan elaborado con estas harinas no afectó significativamente las propiedades sensoriales del producto. Shevkani et al., (2015) utilizaron proteína aislada de 2 variedades de frijol Sarabanda (frijol blanco y frijol rojo) para el enriquecimiento de pan tipo magdalena hecho a partir de harina de arroz en las proporciones (4, 8 y 12 g / 100 g, aislado de frijol/harina total). En este trabajo se encontró que las proteínas presentes en ambas leguminosas aumentaron los parámetros de textura a partir de la sustitución al 8% y entre estos, el frijol blanco aumentó en mayor proporción el volumen total de la magdalena.

A partir de dichos estudios, se considera que las variedades de frijol cultivados en la comunidad de Xiliapa pueden ser utilizadas para la fabricación de pan tipo pastelillo, con la finalidad de incrementar el contenido de antioxidantes y proteínas, mejorar la textura de los productos de panificación y/o incrementar el contenido de fibra dietaria total, todo esto dependiendo del uso de aislado proteínico, harina completa o el almidón aislado de frijol.

2) Elaboración de pastas

De acuerdo al Codex Stand 192-1995, la pasta es un producto alimenticio que no está tratado (No está calentado, hervido, cocido al vapor, cocido, pregelatinizado o congelado), solamente deshidratado, el cual se elabora a base de sémola de trigo y agua. Las pastas alimenticias tienen mucha aceptabilidad entre la población porque son de bajo costo, fáciles de preparar, versátiles, tienen atributos sensoriales adecuados y una larga vida de anaquel (Torres et al., 2007). Por mucho tiempo se ha creído que el consumo de pasta conduce al desarrollo de enfermedades crónico-degenerativas. Sin embargo, se ha reportado que no es la pasta la que provoca esos padecimientos, sino que son ocasionados por

los ingredientes que acompañan su preparación para consumo. Los parámetros utilizados para evaluar la calidad de compuestos ricos en carbohidratos como la pasta corresponden a la digestibilidad de los mismos. Una herramienta para determinar dicha digestibilidad es el nivel del índice glucémico, parámetro que indica la liberación de glucosa en sangre después del consumo del alimento. Además, existen otras herramientas que miden la cantidad de carbohidratos como almidón que son hidrolizados rápida o lentamente en el intestino delgado y aquellos que resisten a la digestión por enzimas digestivas y que pasan al intestino grueso en donde son fermentados por la microflora del colon. Dentro de los estudios realizados en pasta, Goñi et al. (1997), reportaron un porcentaje de almidón resistente de 2.49% y un índice glucémico de 68%, considerado un índice glucémico moderado o medio. Esto indica que la pasta cocinada con agua no ocasiona daños en la salud, sin embargo, debe considerarse que al producir un índice glucémico moderado, se debe regular su consumo o buscar alternativas para disminuir dicho parámetro e incrementar su valor nutricional. Durante mucho tiempo se han empleado diversos ingredientes en la elaboración de la pasta, tales como espinacas, tomates, huevo y vitaminas. Las espinacas y el tomate confieren color y muy poco sabor, pero no tienen un efecto importante en el valor nutritivo de la pasta; a diferencia del huevo, que además de dar el color amarillo y aumentar su valor nutritivo, también mejora su textura haciéndola más fuerte que una pasta normal (Kill y Turnbull, 2004).

Se han hecho diversos estudios para mejorar la calidad nutricional de la pasta. Algunos autores han estudiado la adición de fibra dietaria (Lewis y Heaton, 1997) y carbohidratos indigeribles como el almidón de plátano (Hernández-Nava et al., 2009) y harina de plátano inmaduro (Ovando-Martínez et al., 2009). Otras investigaciones se han enfocado en aumentar el contenido proteico mediante la adición de materiales de origen vegetal. Las leguminosas pueden ser utilizadas en forma de harina, hidrolizados o concentrados usados en la elaboración de pasta. Por ejemplo, Granito et al., (2003) combinando sémola de trigo con diferentes concentraciones de harina de trigo, maíz desgrasado, frijol Orituco y almidón de yuca; encontraron que la sustitución de la sémola hasta un 45% con estas harinas mejoró el contenido nutricional de la pasta, en particular el contenido de minerales y fibra dietética total; concluyendo entonces que la pasta seleccionada en base a parámetros de calidad tecnológica, sensorial y nutricional, fue la sustitución al 55% con harina cruda de frijol y suplementada con 1% de gluten.

Gallegos-Infante et al. (2010) estudiaron el efecto de la adición de harina de frijol bayo sobre la calidad de cocción y el contenido de polifenoles totales en una pasta tipo espagueti. Los autores reportaron un grado de sustitución máximo de 30% harina de frijol, encontrando que la adición de harina de frijol disminuyó el tiempo de cocción y la capacidad de absorción de agua; además presentó una disminución de la firmeza. Sin embargo, esta adición tuvo un efecto positivo ya que se incrementó el contenido de polifenoles totales. Tal resultado sugiere que la adición de harina de frijol, además de incrementar el contenido proteico, aumenta la cantidad de antioxidantes. Esta tecnología podría ser utilizada para generar alimentos funcionales listos para comer. Es importante reflexionar que la introducción de nuevos productos en el mercado, requerirá un incremento en

la demanda de materia prima, lo cual tendría un impacto en el entorno debido a la necesidad de incrementar las tierras de cultivo entre otras cosas; es por ello que se considera necesario una evaluación de la sustentabilidad de la propuesta para desarrollo de alimentos funcionales con los recursos naturales propios de una región.

El concepto de desarrollo sustentable

En 1987, la Organización de la Naciones Unidas (ONU) en el Informe de la Comisión de Brundtland hizo mención del desarrollo sustentable, definiéndolo como aquel “desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”, basándose en el ambiente, la sociedad y la economía, generando un conjunto de procesos, tecnologías, formas de vida y recursos monetarios para buscar un bien común y lograr un equilibrio entre el hombre y el ambiente, con la finalidad de mejorar la calidad de vida (alimentación, vivienda, trabajo, diversión) de la población (UNESCO, 2015).

La agricultura es un sector muy importante para el desarrollo social, ambiental y económico de la población, principalmente en el medio rural (FAO, 2009a). La localidad de Xiliapa tiene un proceso agrícola rural sustentable, en el que incorpora los tres ejes fundamentales, en este proceso agrícola se pretende incorporar una actividad tecnológica productiva para lograr una seguridad alimentaria en la localidad.

La Agenda 21 nació en la Conferencia Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible organizada por las Naciones Unidas en Río de Janeiro (Brasil) en el año 1992, en la también conocida como Cumbre de la Tierra (ONU, 2015), donde más de 170 países se comprometieron en buscar acciones orientadas a generar indicadores para medir y evaluar las políticas y estrategias para la toma de decisiones en todos los niveles: manejo de recursos naturales, elementos económicos y sociales (INEGI, 2000).

La pregunta obligada es ¿qué tan sustentable es el proceso agrícola empleado, la tecnología implementada, en base a nuestros tres puntos importantes, el ambiente, la sociedad y la economía?, ¿cómo podemos evaluar y analizar nuestros procesos industriales? La respuesta es diversa, hay múltiples metodologías diseñadas para analizar y evaluar la sustentabilidad, diversos grupos de investigadores, organizaciones civiles, organizaciones gubernamentales han desarrollado todo un campo de indicadores. Si definimos a los indicadores como parámetros que nos proveerán o señalarán información necesaria sobre un fenómeno o pregunta específica, y que son utilizados a nivel internacional, nacional, regional, estatal y local (INEGI, 2000). Algunos de los índices más conocidos propuestos por organizaciones no gubernamentales (ONG) y gubernamentales para evaluar el desarrollo sustentable son: la Huella Ecológica (*Ecological Foot print*) (WWF, 2015a), El índice del planeta viviente (*Living Planet Index*) (WWF, 2015b), el Índice de Sustentabilidad Ambiental (*Environmental Sustainability Index*) (SEDAC, 2014). Desde la parte económica y financiera, también encontramos el Índice de Sustentabilidad de la Bolsa Mexicana de Valores (BMV, 2008), el cual coloca un valor en la bolsa a las ideas verdes. Además están los indicadores culturales para la seguridad, soberanía alimentaria y desarrollo sostenible de los pueblos indígenas.

En Johannesburgo se llevó a cabo la Cumbre de Desarrollo Sostenible del 2002, en donde se estableció la iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible (ILAC). En esta iniciativa se dan a conocer 41 indicadores distribuidos en seis áreas: diversidad biológica, gestión de recursos hídricos, vulnerabilidad de asentamientos humanos y ciudades sostenibles, salud, inequidad y pobreza, comercio y los patrones de producción y consumo, y los aspectos institucionales (SEMARNAT, 2012). Cada indicador hace referencia a una situación en particular presente en la república mexicana.

Propuesta de evaluación de la sustentabilidad de un producto de panificación

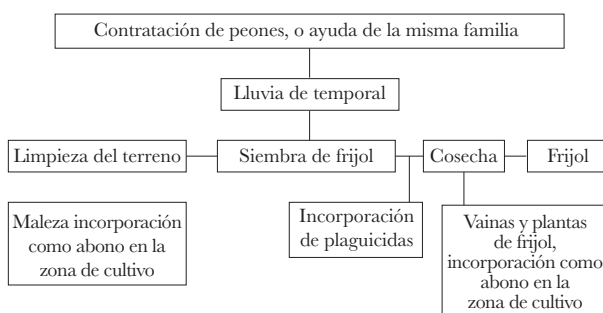


Figura 4. Proceso de la siembra del frijol.

Fuente: Elaboración propia.

Para evaluar la sustentabilidad del cultivo del frijol en la localidad de Xiliapa y la sustentabilidad en la elaboración de un alimento (magdalena), teniendo como referencia una zona de cultivo tradicional y la elaboración de pan en la región, se utilizará la metodología del Marco para la Evaluación del Sistema de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) (Masera et al. 1999; Astier et al., 2008). Cada indicador toma un valor, el cual se estandariza y gráfica, para apreciar el mejor o peor escenario del objeto de estudio y la referencia.

Metodología MESMIS para la construcción de la propuesta

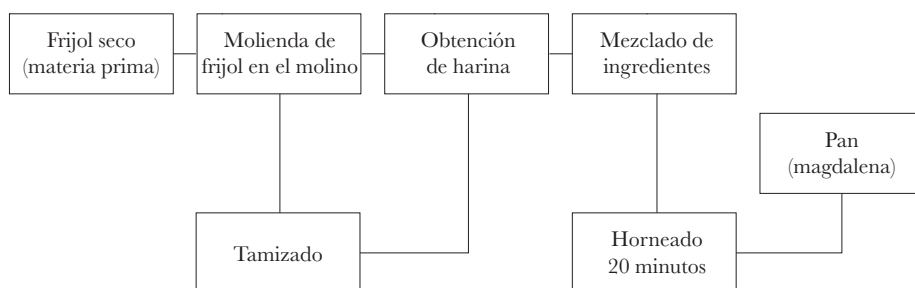


Figura 5. Proceso de la elaboración del pan (magdalena).

Fuente: Elaboración propia.

1. Determinación del objeto de estudio. Se considera como objeto de estudio a la siembra y cosecha del frijol así como la elaboración de pan tipo magdalena con la harina del frijol, en la localidad de Xiliapa, ubicada en el municipio de Tamazunchale. Con características socioeconómicas y geográficas

antes descritas. En la Figura 4 se describe el proceso de siembra identificado a partir de la entrevista con los agricultores de la localidad. En la Figura 5 se muestra el proceso de elaboración de las magdalenas propuesto desde la obtención de la materia prima.

2. Identificación de los puntos críticos del sistema. Identificar las fuerzas y debilidades de nuestro sistema. Uno de los puntos críticos que pueden alterar la sustentabilidad en nuestros resultados es la utilización de plaguicidas por parte de la gente de la localidad, pero solo se utiliza cuando es necesario.

3. Selección de indicadores estratégicos. Considerando que los indicadores deben ser definidos con base a la distribución de los atributos de productividad, estabilidad, resiliencia, confiabilidad, adaptabilidad, equidad y autogestión, definidos por el mismo programa y que deben ser fáciles de medir y monitorear. Se propone como indicadores del cultivo a: la producción del frijol, variedades del frijol, insumos utilizados durante la siembra y cosecha del frijol, número de zonas de cultivo, superficie cosechada, programas de financiamiento, organización familiar, técnicas y temporadas del cultivo. Los indicadores a medir de las tecnologías del pan de frijol (magdalena) serán: el tiempo de vida del producto, valor del producto y costo de producción, insumos utilizados en las tecnologías de transformación del frijol en el pan, programas de financiamiento y oportunidades de comercialización así como el impacto cultural en su consumo.

4. Medición y monitoreo de indicadores. Se diseñarán herramientas analíticas y monitoreo de datos (encuestas, revisión de literatura, técnicas en grupo).

5. Presentación e integración de resultados. Los resultados obtenidos se resumirán y se integraran, utilizando técnicas cuantitativas y cualitativas.

6. Conclusiones y recomendaciones. Es la recapitulación de los resultados del análisis, comparando el sistema de referencia y el alternativo en términos de sustentabilidad.

Conclusiones

Las propuestas de introducción de nuevos productos y alimentos funcionales en la Huasteca Sur desde una perspectiva académica deben considerar aspectos más allá de la creación e implantación de tecnología de punta, pero considerando al desarrollo científico en la búsqueda del beneficio social más allá de una mejora económica de los pobladores, es decir, considerando los efectos sobre la salud, el impacto en el medio ambiente, los efectos y logística de la comercialización y el impacto cultural. La introducción del concepto de sustentabilidad permite atender desde un enfoque trans disciplinar las problemáticas alimentarias de la región.

Bibliografía

- Astier, M. & et al. (2008). Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. SEAE, CIGA, CIECO, ECOSUR, GIRA, FIAES, Mundi prensa, España, 200 p.
- Ávila-Méndez, A., Fajardo, H. y Torre, L. (2005). Inventario de las Comunidades Indígenas de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México: *El Colegio de San Luis*, A.C., Documento de trabajo.
- Bautista, A. (2015, 4 y 5 de junio). Entrevista con el agricultor Alfredo Bautista, sobre prácticas de comercialización y cultivo del frijol en la comunidad de Xiliapa, Tamazunchale, SLP.
- _____. B. (2015, 4 y 5 de junio). Entrevista con el agricultor Bernardo Bautista, sobre prácticas de comercialización y cultivo del frijol en la comunidad de Xiliapa, Tamazunchale, SLP.
- _____. C. (2015, 4 y 5 de junio). Entrevista con el agricultor Constantino Bautista, sobre prácticas de comercialización y cultivo del frijol en la comunidad de Xiliapa, Tamazunchale, SLP.
- Berg T. & et al. (2012). The role of cotyledon cell structure during *in vitro* digestion of starch in navy beans. *Carbohydrate Polymers*, 87: 1678-1688.
- Berrios J.J. & et al. 1998). Structural characteristics of stored black beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *Scanning*, 20, 410-417.
- Bitocchi, E. & et al. (2011). Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) is revealed by sequence data. *Agricultural Sciences*, 4-9.
- BMV. (2008). Responsabilidad social. En Bolsa Mexicana de Valores. Consultado el 5 de junio del 2015. [En línea]: <http://www.bmv.com.mx/>
- Boateng J. & et al. (2008). Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (*Phaseolus ssp. L.*). *Food Science and Technology*, 41, 1541-1547.
- Campos-Vega, R. & et al. (2009). Chemical composition and *in vitro* polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *J. of Food Science*, 74.
- Cardador-Martínez A. & et al. (2002). Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6975-6980.
- Del Castillo, V. & et al. (2009). “Formulación de alimentos para celíacos con base en mezclas de harinas de quínoa, cereales y almidones”. *Archivos Latinoamericanos de nutrición. Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*. Vol. 59 N° 3.
- FAO. (2009a). La FAO en México: Más de 60 años de colaboración. (Primera edición). Roma, Italia: FAO. [En línea] http://www.fao.org.mx/documentos/Libro_FAO.pdf.
- FAO. (2009b). Crop water information: Bean. [En línea] http://www.fao.org/nr/water/cropinfo_bean.html
- Financiera Rural. (2011). Monografía del frijol [En línea] http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADa-Frijol-2011_vc.pdf
- Gallegos-Infante, J.A. & et al. (2010) Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris L.*). *Food Chemistry*. 119: 1544-1549.

- González-Flores E., (2015, 4 y 5 de junio). Entrevista con el agricultor Eduardo González Flores, sobre prácticas de comercialización y cultivo del frijol en la comunidad de Xiliapa, Tamazunchale, SLP.
- González M. E., Castaño-Tostado E. y Loarca-Piña G. (1999). Antimutagenic effects of natural phenolic compounds in beans. *Mutation Research*, 441, 1-9.
- Goñi, I., Garcia-Alonso, A., and Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition research*. 17: 427-437.
- Granito, M., Torres, A., y Guerra, M. (2003). Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Interciencia*. 28:372-379.
- Heimler D., Vignolini P., Dini M. G y Romani A. (2005). Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris L.* dry beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 3053-3056.
- Hernández, A.; Alfaro I.; Arrieta, R. (2003). Microbiología industrial. 1ra edición. EUNED.
- Hernandez-Nava & et al. (2009). Development and characterization of spaghetti with high resistant starch content supplemented with banana starch. *Food science and technology international*. 15:73-78
- Hernández-Salazar M. & et al. (2010). In vitro fermentability and antioxidant capacity of the indigestible fraction of cooked black beans (*Phaseolus vulgaris L.*), lentils (*Lens culinaris L.*) and chickpeas (*Cicerarietinum L.*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90, 1417-1422.
- INEGI (2000). Indicadores de desarrollo sustentable en México. [[En línea]. http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/especiales/indesmex/2000/ifdm2000f.pdf
- ____ (2005). La Población Hablante de Lengua Indígena de San Luis Potosí. [En línea]. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/poblacion_indigena/leng_indi/PHLI.pdf
- ____ (2010). Censo de población y vivienda 2010. Consultado el 9 de junio del 2015. [En línea] <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484>
- Kill, R.C. y Turnbull, K. (2004). Tecnología de elaboración de pasta y sémola. España: Acribia.
- Lewis, S.J., and Heaton, K.W. (1997). Increasing butyrate concentration in the distal colon by accelerating intestinal transit. *Gut*. 41:245-251
- Manchado-Alencar, N.M. & et al. (2015). Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: temporal profile and instrumental analysis. *LWT-Food Science and Technology*. 62:1011-1018.
- Masera, O., Asrier S A. y López-Ridaura. (1999). Sustentabilidad y manejo de los recursos naturales el marco de evaluación del MESMIS. Mundi prensa, Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiaada e Instituto de Ecología. México D. F. 109 p.
- Miñarro, B.; Albanell, E.; Capellas, M. (2009). “Fuentes proteicas alternativas al gluten en panificación.” *Alimentaria: investigación, tecnología y seguridad*. Vol. 405: 63-68.
- ONU. (2015). Agenda 21. Consultado el 12 de junio del 2015. [En línea] <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/agenda21spchapter31.htm>

- Ovando-Martínez, M. & et al. (2011a). Starch characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in different localities. *Carbohydrate polymers*, 85:54-64.
- _____ & et al. (2011b). Effect of cooking on physicochemical and starch digestibility properties of two varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown under different water regimes. *Food Chemistry*, 129:358-365.
- _____ & et al. (2009). Unripe banana flour as an ingredient to increase the undigestible carbohydrates of pasta. *Food Chemistry*, 113, 121-126.
- Parada, A.; Araya, M. (2010). "El gluten. Su historia y efectos en la enfermedad celíaca." Programa doctorado en Nutrición y Alimentos, Instituto de Nutrición y Tecnología de alimentos (INTA), Universidad de Chile. *Revista médica de Chile*, versión impresa ISSN 0034-9887.
- Reyes-Moreno C. y Paredes-López O. (1993). Hart-to-cook phenomenon in common beans. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33, 227-286.
- Reynoso-Camacho, R. & et al. (2006). Bioactive components in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Research Signpost*, 217-236.
- Rocha-Guzmán N. E. & et al. (2007). Antioxidant and antimutagenic activity of phenolic compounds in three different colour groups of common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris*). *Food Chemistry*, 103, 521-527.
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. 1ra. Edición digital, *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*, México, 504 pp.
- SAGARPA. (2012). Descripción frijol. [En línea] http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/sispro/IndModelos/SP_AG/Frijol/Descripcion.pdf
- Sciarini, S. L.; Ribotta, P.; Leon, A y Perez, G. (2008) "Influence Gluten-Free Flours and their Mixtures on Baking Properties and Bread Quality." *Food Bioprocess Technol.* 3:577-585
- SEDAC. (2014). Índice de desempeño ambiental. En Socio economic Data and Applications Center. Consultado el 06 de junio del 2015. <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/epi>
- SEDESOL. (2015). Programa para el desarrollo de zonas prioritarias, cobertura 2015. San Luis Potosí. Consultado el 11 de junio del 2015. [En línea] <http://www.microrregiones.gob.mx/documentos/cobertura2015/24.xls>
- Serrano J. y Goñi I. (2004). Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54 (1).
- SEMARNAT. (2010). México país megadiverso: una oportunidad de desarrollo. Consultado el 04 de junio del 2015. [En línea] http://www.inecc.gob.mx/descargas/con_eco/2010_sem_megadiverso_pres_01_epeters_alow.pdf
- SEMARNAT. (2012). Iniciativa Latinoamericana y Caribeña para el Desarrollo Sostenible. Indicadores de seguimiento. Consultado 10 de junio del 2015. [En línea] <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2011/CD001652.pdf>
- Shevkani, K., Kaur, A., Kumar, S., and Singh, N. (2015). Cowpea protein isolates: functional properties and application in gluten-free muffins. *LWT-Food Science and Technology*. 63:927-933.

- Torres, A., Frias, J., Granito, M., Guerra, M., and Vidal-Valverde, C. (2007). Chemical, biological and sensory evaluation of pasta products supplemented with α -galactoside-free lupin flours. *Journal of the science of food and agriculture*. 87:74-81
- Tosh S. M. y Yada S. (2010). Dietary fibres in pulse seeds and fractions: characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43, 450-460.
- UNESCO. (2015). Educación. Desarrollo sostenible. Consultado el 10 de junio del 2015. [En línea] <http://www.unesco.org/new/es/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/sustainable-development/>
- Velasco-González, O. & et al. (2013). Propiedades Físicas y químicas del grano de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*). *Bioagro*, 25(3): 161-166.
- WWF. (2015a).Foot print calculator. En World Wild life Fund. Consultado el 6 de junio del 2015. [En línea] <http://footprint.wwf.org.uk/>
- WWF. (2015b). Living Planet Index Interactive graph. En World Wild life Fund. Consultado el 6 de junio del 2015. [En línea] http://wwf.panda.org/about_our_earth/all_publications/living_planet_report/living_planet_report_graphics/lpi_interactive/.

Aprovechamiento de cogollo de caña de azúcar en la alimentación de ganado bovino de engorde

Sustainable utilization of sugar cane tops as cattle feed

*Vanessa Natalie Orta Guzmán²⁷
Jorge Aurelio Lois Correa
Elvia Margarita Romero Treviño²⁸

Resumen

²⁷*Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, CICATA-IPN, Km14.5 carretera Tampico-Puerto industrial, Altamira, Tamaulipas, México, 89600.*
**Contacto: vanessaortagn@gmail.com*

²⁸*Instituto Tecnológico de Altamira ITA, Carretera Tampico-Mante Km 24.5, Altamira, Tamaulipas*

La Industria azucarera en México se ha desarrollado desde el inicio de la conquista española, siendo actualmente una de las actividades de mayor tradición y trascendencia en nuestro país, teniendo una participación importante en la economía nacional y generando un volumen importante de subproductos dentro de los cuales se encuentra el cogollo de la caña, el cual es la parte superior de ésta conformado por el tronco tierno y las hojas verdes, éste representa una importante alternativa de alimentación animal dada la situación crítica que actualmente atraviesa la ganadería mexicana por problemas derivados de la sequía que ha afectado en los últimos años al territorio nacional, donde solo en 2006 de 33 millones de cabezas de ganado se tuvo una reducción de más de cinco millones. En México, ningún subproducto de la caña de azúcar es aprovechado en la cuantía que las circunstancias lo requieren, ya que es conocido que existe una gran variedad de tratamientos que se pueden aplicar en residuos fibrosos para incrementar su digestibilidad y lograr que sean asimilados de mejor forma por el ganado, dentro de éstos tratamientos se pueden mencionar; hidróxido de calcio, hidrólisis térmica, explosión de vapor, amonificación, peróxido de hidrógeno e hidróxido de sodio, entre otros, sin que sean tan siquiera considerados.

Abstract

Sugar cane industry in México has been developed since the beginning of the Spanish conquest, and it is currently one of the activities of greater tradition and transcendence in our country, taking a major stake in the national economy and generating a significant volume of by-products, like the sugar cane tops which is the upper and tender part of the cane, formed by the soft trunk and the green leaf, this part of the cane represents an important animal feed alternative considering the hard situation that the Mexican cattle industry is passing thru. In 2006, due to lack of rain, from a 33 million cattle inventory, were lost five million. Sugar cane by-products in México are not used as the circumstances require, it is well known that exist a great variety of treatments that can be applied on fiber residues in order to increase their digestibility and to achieve that they are assimilated better by livestock. There are a lot of treatments, as it was above mentioned, among them it is possible to quote calcium hydroxide, thermal hydrolysis, steam explosion, hydrogen peroxide, and sodium hydroxide, without that are even considered.

La Industria del azúcar en México

En México, la agro-industria azucarera ha sido una de las más importantes en la historia nacional, ya que existe desde hace más de 500 años como una fuente de trabajo para millones de mexicanos (Crespo, 1988). Esta agroindustria cuenta con una alta productividad, los rendimientos en el campo y la fabricación son mayores al promedio anual, aunque los costos de producción superan a los de otros países. En México, existen 161 mil productores cañeros, 57 ingenios en 15 entidades federativas y 227 municipios, se tienen 664 mil hectáreas de cultivo de caña industrializadas produciendo un promedio anual de 5.0 millones de toneladas de azúcar (SE, 2012). En la zafra 2014-2015 se tiene un estimado de 5.9 toneladas de azúcar por cada 53 toneladas de caña molida industrializada y (CONADESUCA, 2015). La industria azucarera es fundamental en la economía mexicana, y podría ser mucho más productiva si se tuviera un adecuado aprovechamiento de los residuos agroindustriales, ya que en la cosecha de la caña se realiza una quema de gran parte de importantes recursos conformados por la paja y cogollo, los que representan una fuente importante de materia prima para la obtención de mieles hidrolíticas, etanol lignocelulósico, levaduras, fertilizantes, furfural, tableros y pulpa para papel entre muchos otros (Costales, R., 2000).

Cosecha de caña de azúcar y sus residuos

La caña de azúcar es un cultivo que genera una gran producción de biomasa, debido a su mecanismo fisiológico que se ve favorecido por ser una planta de ciclo del carbono C4, lo cual la convierte en una mejor captadora de carbono representando una ventaja ante otros cultivos agrícolas (Morales, 2011). La cosecha se puede realizar de forma manual o mecanizada, donde la primera demanda un mayor número de personas, que con machetes van cortando el tallo por la base y organizándolas en carros para transportarlas al ingenio, lo cual debe ser en un periodo corto de tiempo para evitar su deterioro. En esta manera de cosechar la caña, se realiza una quema previa del cañaveral para facilitar el trabajo de los corteros con lo cual se elimina gran parte de los residuos de la agroindustria cañera (RAC) además de liberar por cada hectárea de caña 24.3 mg de CO₂ (Cabrera, J. et al, 2010), lo cual, teniendo en cuenta que México cosecha un promedio de 52 millones de toneladas resulta alarmante, ya que se contamina el suelo, aire, agua y masa orgánica, además de restringir alternativas para el uso de residuos (Ortiz, H. et al, 2012).



*Figura 1. Cosechadora 3520-
John Deere.*

La otra forma de realizar la cosecha es de forma mecanizada (Fig. 1), sin la quema previa de la caña, donde se pueden utilizar las combinadas cañeras que

van cortando la caña por la base, y al mismo tiempo separando el cogollo o punta de la caña de ésta, conformado por las hojas y el tronco tierno; en esta forma de cosecha, usualmente el cogollo que se queda en campo se utiliza como forraje para el ganado (Morales, 2011).

En México se tiene una preferencia a realizar la cosecha de forma manual por tener una gran parte de los terrenos con relieves o colinas con piedras que impiden el paso de las combinadas cañeras, así como el desconocimiento de cómo aprovechar los residuos que quedan en el campo, ya que los agricultores no tienen claro cómo se pueden utilizar estos grandes bancos de biomasa (Morales, 2011).

Los residuos de la agroindustria azucarera (RAC) están conformados por la paja, el cogollo y las hojas verdes, los que constituyen una fuente importante de alimentación animal y de energía, también pueden pasar por un proceso de compostaje y utilizarse como biofertilizante de mieles hidrolíticas, levaduras, alcohol, pulpa y papel, furfural, tableros aglomerados y fertilizantes, entre otros. La vaina y hojas secas son ideales para utilizarse en la obtención de energía. El bagazo se utiliza como combustible, abono, alimento animal, de su fibra se obtiene celulosa, papel, cartón, explosivos o tablas. Usando la fermentación anaeróbica se obtiene metano, por hidrólisis ácida de la xilana se obtiene furfural que se utiliza para refinar aceites lubricantes y para manufacturar plásticos. A su vez, la cachaza es uno de los subproductos más importantes de los ingenios azucareros; debido a su composición química y bajo precio, es atractiva frente a productos orgánicos, llegando a ser considerada como un subproducto más que como un residuo. En Cuba, se ha demostrado que con cosechadoras forrajeras acopladas a remolques se pueden recolectar hasta el 40% de los RAC (Basanta, R. et al, 2007).

Cogollo de caña

Figura 2. Cogollo de caña de azúcar (elaboración propia)



El cogollo es la parte superior de la caña de azúcar (Fig. 2), es su parte más tierna, conformada por la porción superior del tallo con dos o tres entre nudos con yemas vegetativas y las hojas verdes (Moreno, F., 2007).

Es la parte que más se utiliza en la alimentación animal, ya sea en equinos o bovinos, debido a que tiene una importante calidad nutricional. En la Tabla 1 se muestra la composición del cogollo en base húmeda y seca respectivamente.

El cogollo de caña es un recurso muy importante que no está siendo aprovechado en México como las circunstancias ameritan, ya en otros países es utilizado como forraje aunque no como única fuente (Fernández & Gómez, C., 2010) debido al bajo nivel proteico, pero se han realizado varios estudios donde se ha suplementado con urea, gallinaza, maíz de grano, entre otros productos y

se han obtenido buenos resultados en cuanto a incrementos de peso en ganado bovino ya sea de carne, leche o de doble propósito.

Se han realizado distintos tratamientos buscando mejorar el aprovechamiento del cogollo por parte del ganado, (Ortiz-Rubio, M. et al, 2007) realizó una evaluación alimentando novillos cebú con cogollo de caña de azúcar para determinar la cantidad de nitrógeno necesaria para maximizar la ingesta y la degradabilidad del alimento. Así mismo, en otro estudio se realizó un muestreo con ovejas canuladas alimentadas con cogollo de caña suplementado con urea, maíz y king grass donde se demostró que un forraje fibroso se puede utilizar de manera eficiente mejorando las condiciones para los microorganismos ruminales (Puga, 2001).

Componente	Contenido en base húmeda	Contenido en base seca
Humedad	71.97	-
Materia seca	28.03	100
Fibra cruda	14.98	58.24
Carbohidratos	9.66	34.45
Proteína cruda	1.35	4.3
Cenizas	1.56	5.55
Extracto etéreo	0.40	1.76

Tabla 1. Composición del cogollo en base húmeda y seca respectivamente.

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales, CORPOICA. E.E. CIMPA, 2205, citado por García y col., 2007; citado por Moreno Osorio F.L., 2007.

En otro experimento evaluando la palatabilidad y el consumo del alimento, se muestrearon novillos canulados a los que se les ofreció cogollo de caña de azúcar suplementado con maíz, obteniéndose incrementos en la ingesta donde consumieron hasta 708 gramos por día (Galina, M., 2003), esto tomando en cuenta que el cogollo no recibió ningún tratamiento para incrementar su digestibilidad, sino solo haciendo una suplementación reportándose una buena respuesta por parte de los animales. En un tratamiento aplicado a corderos alimentados con cogollo de caña de azúcar, maíz y urea, y se obtuvieron buenos resultados en cuanto a la ingesta, de hasta 917 gramos diarios (Galina, M.A., 2007).

Además de haberse realizado la suplementación para favorecer la digestibilidad, se han ejecutado distintos trabajos evaluando el incremento de peso y obteniendo resultados favorables. En una evaluación alimentando novillos, se utilizó cogollo de caña y pollinaza en levante, obteniendo un incremento de peso de hasta 1000 g/animal. En otro experimento alimentando bovinos con cogollo más caña integral ensilada y un suplemento proteico se alcanzó de 800 a 1000 g/animal (Moreno, F., 2007).

En los alimentos fibrosos, se tiene una composición de celulosa, rodeada por hemicelulosa entrelazada con lignina, la cual es un polímero con una estructura base fenil-propano, compuesta de carbono, hidrógeno y oxígeno, que le proporciona estructura y rigidez a la pared celular de la planta, así como también se encarga de unir las células, reducir la permeabilidad y proteger la planta de microorganismos, ésta representa el 30% de los componentes de la planta (Chávez-Sifontes et al, 2013).

Existen tratamientos que han sido ampliamente utilizados para incrementar la digestibilidad de materiales fibrosos como pueden ser el bagazo y el cogollo de la caña, se pueden mencionar el empleo de hidróxido de calcio, hidróxido de sodio, hidrólisis térmica, explosión de vapor, amonificación, peróxido de hidrógeno, entre muchos otros, los cuales tienen como fin romper los enlaces de lignina de la fibra y permitir al ganado un mejor acceso a la celulosa. Cada tratamiento debe ser evaluado previamente en cuanto a costos y beneficios debido a los grandes volúmenes de residuos que se pueden tratar (Moiser, N. et al, 2005), y considerando que existen alternativas muy prácticas y económicas que pueden incrementar la digestibilidad de los alimentos en niveles superiores de hasta el 60%.

Es conocido que el cogollo de caña es una fuente importante de alimentación animal y considerando que en temporadas de sequía se tiene un escasez de pastos y un bajo contenido en nutrientes por la falta de agua, la utilización de este residuo agrícola representa una importante opción de forraje para todos los ganaderos que cuando llega esta etapa se ven en la necesidad de vender o dejar morir su ganado por los elevados precios del forraje. En 2006 se tuvo una pérdida de ganado fuerte ya que de un inventario de 33 millones de reses se registró una sensible reducción de más de 5 millones; frente a esta crisis se consideró aumentar la producción y productividad en la ganadería nacional, mediante más altos rendimientos y una respuesta inmediata a las inversiones. (CNC, 2014).

Conclusiones

En México se dispone de un área de oportunidad significativa en cuanto al aprovechamiento de los residuos agrícolas de la caña (RAC), pero por distintas razones se encuentra estancada la industria azucarera y con esto, las oportunidades para millones de trabajadores del sector cañero que se enfocan única y exclusivamente en la producción de caña, dejando a un lado los RAC dentro de los cuales destaca un gran volumen de cogollo que puede ser aprovechado en las temporadas de sequía por los ganaderos de la zona, ya que año tras año se vive esta crisis por la alza de precios de forrajes. La mentalidad de los agricultores tiene que ir abriéndose y dejar que tenga lugar el cambio en este sector; por consiguiente, este trabajo tiene como propósito contribuir al conocimiento de lo valiosos que pueden llegar a ser los residuos agrícolas si se manejan adecuadamente, y de lo productivo que puede ser para el ganado consumir un residuo como el cogollo de caña, que si bien no tiene un contenido proteico basto, puede ser tratado de diferentes formas a manera de incrementar su digestibilidad, posteriormente suplementado y ofrecer mejores resultados que los que se tienen con forrajes tradicionales.

Agradecimiento

Al CICATA-IPN Unidad Altamira, al Instituto Tecnológico de Altamira, a los Proyectos SIP 20140206 y SIP20151141 del IPN.

Bibliografía

- Basanta, R. & et al. (23 de febrero de 2007). Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera: una revisión. *Cuerpo Académico de ciencia y tecnología agroalimentaria*. Mante, Tamaulipas, México.
- Cabrera, J., & Zuaznábar, R. (2010). Impacto sobre el ambiente del monocultivo de la caña de azúcar con el uso de la quema para la cosecha y la fertilización nitrogenada. I. Balance del carbono. *Cultivos tropicales*, 31, 5-13.
- Chávez-Sifontes, M., & Domine, M.E. (2013). Lignina, estructura y aplicaciones: métodos de despolimerización para la obtención de derivados aromáticos de interés industrial. *Avances en ciencias e ingeniería*, 4.
- CNC. (04 de junio 2014). Recuperado el 10 de junio 2015, de Confederación nacional campesina: <http://www.cnc.org.mx/sequias-de-los-ultimos-anos-acabo-con-5-millones-de-cabezas-de-ganado-2/>
- CONADESUCA. (30 de mayo de 2015). *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación*. Recuperado el 10 de junio de 2015, de <http://www.conadesuca.gob.mx/>
- Costales, R., & Lois Correa, J. A. (2000). *Residuos de la cosecha*. La Habana, Cuba: Minaz.
- Crespo, H. (1988). *Historia del Azúcar en México*. México, D.F.: Centro fondo de cultura económica S.A. de C.V.
- Fernández, M., & Gómez, C. (2010). Utilización de forrajes no tradicionales: cogollo fresco de caña de azúcar en la alimentación de vacas lecheras. *Sitio argentino de producción animal*. Ferulácea, Perú.
- Galina, M., Guerrero, M., & Puga, C.D. (2007). Fattening Pelibuey lambs with sugar cane tops and corn complemented with or without slow intake urea supplement. *Small Ruminant Research*, 70, 101-109.
- Galina, M., Pérez-Gil, F., Ortiz, R.M.A., Hummel, J.D., & Orskov, R.E. (2003). Effect of slow release urea supplementation on fattening of steers fed sugar cane tops (*Saccharum officinarum*) and maize (*Zea mays*): ruminal fermentation, feed intake and digestibility. *Livestock Production Science*, 83, 1-11.
- Moiser, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y., Holtzapple, M., y otros. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 673-686.
- Morales, J. (2011). Impacto ambiental de la actividad azucarera y estrategias de mitigación. *Universidad Veracruzana*. Orizaba, Veracruz.
- Moreno, F. (19 de octubre 2007). La caña panelera (*Saccharum officinarum*) en la alimentación del ganado. *Seminario de pastos*.
- Ortiz, H., Salgado, S., Castelán, M., & Córdova, S. (2012). Perspectivas de la cosecha de la caña de azúcar cruda en México. (A. y. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Ed.) *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 767,773.
- Ortiz-Rubio, M.A., Orskov, E., Milne, J., & Galina, H. (2007). Effecto of different sources of nitrogen on in situ degradability and feed intake of Zebu cattle fed sugarcane tops (*Saccharum officinarum*). *Animal Feed Science and Technology*, 139, 143-158.

- Puga, D., Galina, H.M., Pérez-Gil, R.F., Sanginés, G.L., Aguilera, B.A., & Haenlein, G.F.W. (2001). Effect of a controlled-release urea supplement on rumen fermentation in sheep fed a diet of sugar cane tops (*Saccharum officinarum*), corn stubble (*Zea mays*) and King grass (*Pennisetum purpureum*). *Small Ruminant Research*, 39, 269-276.
- SE. (Febrero de 2012). *Secretaría de Economía*. Recuperado el 10 de junio 2015, de Dirección general de industrias básicas:http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/Analisis_Sectorial_Mercado_Edulcorantes.pdf

Alternativas de uso de los subproductos y residuos agroindustriales

Alternative use of by-products and agroindustrial wastes

*Nadia A. Rodríguez Durán²⁹

Ma. Guadalupe Bustos Vázquez

Alfredo del Ángel del Ángel

Nubia R. Rodríguez Durán

Resumen

²⁹Unidad Académica Multidisciplinaria Mante, Blvd. Enrique Cárdenas González 1201 Col., Jardín, C.P. 89840 Cd. Mante Tamaulipas.

*Contacto: narodriguez@uat.edu.mx

La agroindustria no se limita a la producción de alimentos sino que también puede dirigirse a la producción de biocombustibles, como parte de la producción de energía renovable, o de otros productos destinados a uso cosmético o farmacéutico, entre otros. El aprovechamiento sostenible de los recursos naturales hace necesaria la búsqueda de alternativas de uso de subproductos y residuos agroindustriales, de tal manera que se obtengan productos con valor agregado y se realice la correcta gestión de los residuos. Lo que implica la exploración del uso de subproductos y residuos como insumos de procesos agroindustriales así como la investigación de procesos eficientes que permitan estas innovaciones.

Abstract

In actuality the agribusiness is not limited to food production but can also be directed to the production of biofuels, as part of the production of renewable energy, or other products for cosmetic or pharmaceutical use, among others. Sustainable use of natural resources makes it necessary to search for alternative use of by-products and agroindustrial wastes, such a way that products with added value are obtained and the proper management of waste takes place. This involves exploring the use of by-products and waste as inputs to agroindustrial processes and investigation of efficient processes that allow these innovations.

Introducción

Los procesos de transformación que se llevan a cabo como parte de la agroindustria no tienen como única finalidad la producción de alimentos, sino que también tienen una implicación no alimentaria la cual radica en la producción de biocombustibles y de otros productos no comestibles. La agroindustria requiere de materias primas biológicas que son transformadas en un producto final. Como parte de dicho proceso, también pueden obtenerse subproductos o generarse residuos de origen orgánico susceptibles de ser transformados en un producto de mayor interés comercial. Llevar a cabo procesos de transformación otorga un valor agregado a estos materiales de base biológica. Además, en ciertos casos, se reduce el efecto contaminante que pudieran generar los residuos agroindustriales,

cuando no son tratados adecuadamente, así que en ocasiones se puede considerar el aprovechamiento adecuado de dichos residuos agroindustriales como equivalente al tratamiento, con la ventaja de obtener los beneficios del producto obtenido. Por lo que en esta revisión se plantea la situación actual de la agroindustria, la diferencia entre lo que se considera producto, subproducto y residuo así como las alternativas de uso de los subproductos y residuos agroindustriales de manera que se contribuya al aprovechamiento sostenible de los recursos naturales recurriendo a la innovación en el sector agroindustrial.

Situación actual de la agroindustria

De manera general se puede definir a la agroindustria como la rama de la industria que transforma los productos de la agricultura, ganadería, acuicultura, riqueza forestal y pesca en productos elaborados, también se puede definir como la subserie de actividades de manufacturación mediante las cuales se elaboran materias primas y productos intermedios derivados del sector agrícola, por lo que la agroindustria significa así la transformación de productos procedentes de la agricultura, la actividad forestal y la pesca. Sin embargo, no sólo consiste en la transformación de materia prima proveniente del sector agropecuario, acuícola y forestal a productos sino que para ello son necesarios el manejo postcosecha, la conservación y el procesamiento a distintos niveles tecnológicos para obtener productos que puedan ser comercializados en el mercado nacional e internacional. La agroindustria es una actividad económica que combina básicamente el proceso productivo agrícola con el industrial para producir alimentos o materias primas semielaboradas destinadas al mercado y dentro de una operación rentable. En dicho proceso la agricultura y la industria pueden alcanzar integraciones verticales y horizontales y llegar hasta la integración con los procesos de comercialización y provisión de insumos (FAO, 1997; OEEE, 2012; Zapata, 2001).

Existen diversos criterios para clasificar a las agroindustrias, entre otros pueden considerarse el capital de inversión, calidad y número de empleados, nivel de tecnología, cantidad de materia prima transformada, volúmenes de producción, ventas y beneficios; así como también según su localización regional (OEEE, 2012).

La producción agropecuaria era destinada a la alimentación de manera tradicional, en la actualidad ya no es así ya que la producción primaria consiste en un conjunto de insumos de base biológica que pueden ser destinados a diversos usos cada vez más relacionados con varias industrias: alimentos, biocombustibles y biofábricas (Kosacoff y Mercado, 2009).

Ahora existen nuevas demandas de insumos y bienes finales de base biológica, ya que además de proveer a la industria alimentaria, de manera simultánea, estos insumos son requeridos para otras industrias tales como la de biocombustibles y las biofábricas. Estas producciones han sufrido, durante las últimas décadas, un proceso de creciente desplazamiento de sus demandas debido, principalmente, al desarrollo de economías de tamaño considerable e ingreso creciente, como la China, la India, algunos países africanos y la de Europa del Este, que sobre la base de su crecimiento han impulsado tanto los niveles como la composición de sus consumos alimentarios. Dicho desplazamiento

también se debe a la nueva demanda de combustibles provenientes de fuentes renovables y al creciente uso de la biomasa destinada a la producción de insumos industriales, que anteriormente provenían del cracking del petróleo (Kosacoff y Mercado, 2009). Por lo que la agroindustria puede considerarse de dos clases, la alimentaria, que consiste en la transformación de los productos del sector primario en productos para consumo alimenticio, y la no alimentaria, que es la transformación de los recursos naturales para la elaboración de diversos productos industriales que no tienen la finalidad de utilizarse como alimento.

La elaboración es sólo un eslabón de la cadena continua entre la producción de la materia prima y el consumo final. La especificidad de la agroindustria con respecto a otros sectores industriales consiste en gran medida en el carácter biológico de la materia prima. La agroindustria, de forma generalizada, utiliza insumos cuya producción está sujeta a tiempos biológicos, no totalmente controlados por el hombre a la vez de que la calidad del producto final depende de la calidad de la materia prima que responde a un sinnúmero de variables que suelen escapar al control del productor. Estos aspectos plantean exigencias especiales tanto en lo que respecta a la organización de las actividades agroindustriales como a la base agrícola que produce los insumos, lo que acentúa aún más la necesidad de una integración estrecha de la producción de la materia prima y la elaboración. En alimentos, el consumidor final “forma” su demanda en función de gustos que reflejan aspectos culturales y sociales, con costumbres específicas de cada segmento social y territorial, y los mismos no siempre responden a parámetros técnicos objetivos. De allí deviene la precondition de “ajustar” el producto final de la cadena a demandas naturalmente segmentadas (FAO, 1997; Kosacoff y Mercado, 2009).

En el contexto actual de la globalización, la agroindustria constituye un sector en el cual las diversas etapas de producción, transformación, distribución, financiamiento, investigación y desarrollo están organizadas a escala internacional. La agroindustria en general, de acuerdo con las tendencias mundiales futuras, se orienta en el sentido de asumir parcialmente la responsabilidad del cuidado y mantenimiento del medio ambiente, además de los valores culturales y éticos de la sociedad (Zapata, 2001).

En México, la agroindustria es considerada una de las actividades económicas que consume la mayor parte de la producción agropecuaria y brinda una oferta importante de productos alimentarios, bebidas, materias primas y productos semi-elaborados en el país (FAO, 2009).

Subproductos y residuos de la agroindustria

Los insumos naturales, los productos finales y los procesos técnicos tienen una alta variabilidad en sus parámetros técnicos, lo que permite tener una amplia diversidad en el sector agroindustrial. Un aumento de la producción primaria de productos agropecuarios no se traduce en más ofertas de alimentos disponibles y/o de materia prima industrial debido a que existe una larga serie de pasos de transformación industrial, acondicionamiento, concentración, transporte, logística y comercialización, que tiene lugar hasta llegar a los consumidores (Kosacoff y Mercado, 2009). Puede darse el caso de que parte de los productos agropecuarios no sean adecuados para su consumo directo como alimentos

frescos o para ser utilizados como materia prima en la agroindustria alimentaria, sin embargo su composición química podría permitir su uso en un proceso de la agroindustria no alimentaria.

Un proceso agroindustrial está orientado a obtener un producto final o intermedio, en donde las materias primas e insumos pierden sus propiedades y características para transformarse y formar parte del producto en cuestión. También se pueden generar subproductos, es decir, productos de carácter secundario obtenidos como resultado de los procesos de transformación de la materia prima en una línea de producción orientada a generar un determinado producto final (OEEE, 2012).

En la agroindustria, además de productos y subproductos, también se pueden obtener residuos. A pesar de que los residuos agropecuarios y agroindustriales se obtengan en volúmenes elevados sólo una parte pequeña sería aprovechable para energía debido a la ausencia de tecnología adecuada, o a los costos, para la recolección y el transporte. Existen, sin embargo, diversos estudios analizando el potencial de residuos agrícolas para producción de biocombustibles, considerando aspectos de logística y uso actual, es decir, si ya son normalmente retirados del campo, si una parte es necesaria como cobertura de suelo, cuál es su proximidad a las plantas agroindustriales, perecibilidad, además de su producción y características físico-químicas (Machado, 2010).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, define a los residuos como aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no alcanzan, en el contexto que son producidas, ningún valor económico; ello puede ser debido tanto a la falta de tecnología adecuada para su aprovechamiento como a la inexistencia de un mercado para los productos recuperados. Los residuos agrícolas son todo aquel material sobrante o desperdicial generado en un establecimiento agropecuario. En términos sintéticos, puede definirse un residuo como todo un resto o material resultante de un proceso de producción, transformación o utilización que resulte abandonado o que su poseedor o productor decida abandonar. La definición se puede centrar en la utilidad negativa inherente al residuo que es lo que conduce al poseedor o productor del bien a abandonarlo parcial o totalmente. Por tanto, para que un bien o parte de él sea considerado individualmente o socialmente como un residuo, basta que la cantidad demandada para su aprovechamiento sea nula o negativa. Para la clasificación de los residuos, se consideran entre otros parámetros el origen o actividad emisora, toxicidad y peligrosidad, tamaño, naturaleza química de los materiales emisores, parámetros físico-químicos en general. La clasificación por la naturaleza química permite establecer dos categorías de residuos: residuos inorgánicos o abiógenos y residuos orgánicos o biógenos. Como residuos inorgánicos se incluye todos aquellos residuos de origen mineral y sustancias o compuestos sintetizados por el hombre. Como residuos orgánicos se refiere a todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Incluye una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente durante el “ciclo vital”, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación o son producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos. Existe una gran diversidad de residuos generados en la actividad agroindustrial. Las características cuantitativas

y cualitativas de los mismos dependen de numerosos factores, entre otros: características de las materias primas; procesos de industrialización; intensidad de la producción; características de los productos obtenidos. Muchos residuos de las actividades agroindustriales son reutilizados a través de alternativas que se aplican desde hace ya algunos años, con menos o mayor grado de eficacia. Para otros residuos agroindustriales aún no existen alternativas de transformación en insumos útiles dentro de un marco económico viable (Aymerich, 2000; Sztern y Pravia, 1999).

Aprovechamiento sostenible e innovación

Desde el punto de vista de una estrategia de desarrollo, una de las características más importantes de toda industria es la medida en que pueda generar una demanda de productos de otras industrias. Se designa este fenómeno con el nombre de concatenación. Una industria puede estimular la inversión tanto en las fases subsiguientes de producción mediante una concatenación progresiva, como en las etapas precedentes mediante una concatenación regresiva. La creación de determinadas industrias de elaboración primaria puede provocar, mediante una concatenación progresiva, el establecimiento de una serie de industrias más avanzadas (FAO, 1997).

El desarrollo de agroindustrias tiene también muchos efectos benéficos que retornan a la misma agricultura. El más directo de ellos es el estímulo para incrementar la producción agrícola mediante la expansión del mercado. En muchos casos, el establecimiento de instalaciones de elaboración es por sí mismo un primer paso fundamental para estimular tanto la demanda de productos elaborados por parte de los consumidores como una oferta suficiente de materias primas (FAO, 1997).

La capacidad de la agroindustria para generar demanda y empleo en otras industrias es también importante a causa de su potencial creciente de activar concatenaciones colaterales, es decir, concatenaciones que derivan de la utilización de subproductos o residuos de la principal actividad industrial. Por ejemplo, las industrias de piensos pueden utilizar varios subproductos agroindustriales, como suero, tortas oleaginosas prensadas y harina de sangre, canales y huesos. Además, muchas industrias que utilizan materias primas agrícolas producen residuos que pueden emplearse como combustible, pasta para papel o fertilizante. El reciclaje y la agricultura biológica son dos actividades paralelas y responden a la idea de una explotación sostenible de los recursos naturales en un contexto de eficiencia industrial (FAO, 1997).

Sin embargo, pese a su importante contribución al desarrollo agrícola y general, la agroindustria puede tener también efectos colaterales perjudiciales para el medio ambiente. Sin un control, la agroindustria, lo mismo que las demás industrias, puede crear contaminación ambiental o riesgos ecológicos en distintas formas: descarga de residuos orgánicos o peligrosos en los suministros hídricos; emisión de polvo o gases que empeoran la calidad del aire y producen sustancias tóxicas; y la utilización de maquinaria peligrosa para la seguridad y salud de los trabajadores. Los riesgos y peligros causados por la contaminación agroindustrial pueden ser muy graves y percibirse inmediatamente, ya que tales industrias tienden a concentrarse en zonas urbanas y periurbanas. La mala gestión supone

un problema medioambiental, que origina un deterioro progresivo y acumulativo del entorno, lo que puede constituir, en ciertos casos, un problema de higiene pública. Entre las formas incorrectas de gestión destacan las siguientes: la quema indiscriminada de residuos, una práctica habitual que provoca emisiones de gases tóxicos a la atmósfera; el abandono de los restos en el campo, especialmente los vegetales, es una práctica no recomendable, ya que supone un riesgo de propagación de plagas y enfermedades. Además atrae a roedores e insectos; el vertido de los residuos, y aún más, de los productos fitosanitarios, provoca la contaminación de los suelos, de las aguas superficiales y de los acuíferos por lixiviados, de manera irreparable; el abandono de los residuos metálicos que, en caso de contener mercurio, plomo o cromo, contaminan igualmente los recursos naturales, además de constituir un riesgo de accidentes para las personas. Por si eso fuera poco, los olores son también un problema derivado de la mala gestión de residuos, todas estas prácticas ponen en riesgo la salud de las personas, de los animales y del medio que nos rodea. Es responsabilidad del poseedor de los residuos costear su correcta gestión (Barres, 2012; FAO, 1997). Como parte de la gestión de los residuos agroindustriales se puede establecer su aprovechamiento para lo cual se debe realizar la investigación pertinente de tal manera que se haga uso de dicho material de forma responsable con el medio ambiente a la vez de obtener un producto que tenga demanda, y de esta manera el residuo se considera el insumo para un proceso agroindustrial.

La búsqueda de alternativas de uso de subproductos y residuos, para obtener productos con valor agregado que permitan el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, propicia la innovación en la agroindustria. La innovación genera grandes beneficios para los actores involucrados: para los consumidores, la innovación se traduce en mejores productos y servicios, en términos de calidad, diseño, precio y eficiencia; para las empresas, la innovación trae como resultado una mayor rentabilidad derivada de la posibilidad de diseñar y producir nuevos o mejores bienes y servicios o de utilizar técnicas productivas más eficientes que las de sus competidores. Asimismo, aquellas empresas que generan capacidades permanentes de innovar cuentan con el conocimiento necesario para dar respuesta rápida y eficaz a las oportunidades de la globalización, así como responder eficientemente a las amenazas competitivas de sus rivales y del entorno. Todo ello se traduce en la posibilidad de crecer sostenidamente. Para la sociedad, la innovación genera nuevo conocimiento y soluciones a problemas relacionados con la salud, el medio ambiente, la pobreza, la seguridad, entre otros, además de lograr un crecimiento económico sostenido al estar sustentado en mejoras en productividad (Comité Intersectorial para la Innovación, 2011).

Alternativas de uso

Tanto los subproductos como los residuos de la agroindustria pueden ser usados como materias primas o insumos en diversos procesos industriales. Aunque ciertos residuos agroindustriales pueden ser abiógenos la mayoría serán biógenos debido a la naturaleza orgánica de las materias primas empleadas en el proceso agroindustrial. Considerando lo anterior, es importante conocer la composición química de dichos subproductos y residuos agroindustriales así como también

saber en cual etapa del proceso se obtienen, esto para tener nociones de si sería seguro su uso en producto para consumo humano o animal o si definitivamente debe ser empleado para elaborar productos no destinados para consumo.

En el caso de los subproductos, por lo general, lo que se busca es darles valor agregado de tal manera que la demanda del nuevo producto sea mayor que la del subproducto tal cual se obtiene del proceso agroindustrial. En cuanto a los residuos agroindustriales, lo principal es que reciba el tratamiento adecuado para que su impacto en el medio ambiente sea menor o nulo, aunque también está la opción de procesarlo para obtener un producto con demanda comercial y que de esta forma deje de ser un residuo para convertirse en un insumo, o incluso la reutilización en la misma agroindustria.

Debido a que son diversas las posibilidades para la recuperación, reutilización y/o transformación de los residuos en insumos útiles a los sectores productivos, la decisión debe tomarse en la medida que las alternativas surjan como consecuencia de un diagnóstico objetivo de la problemática ambiental de cada sector. Las alternativas seleccionadas deben ser adecuadas técnicamente a las características locales, viables económicamente y sustentables ecológicamente. Sobre estas bases es posible validar, adecuar y promover tecnologías de alternativa que representen una solución efectiva y ajustada a cada realidad (Sztern y Pravia, 1999).

Una alternativa es la de usar a los residuos como fuente de energía lo cual representa el uso de combustibles no fósiles, renovables y menos contaminantes. Los residuos de origen biógeno presentan una composición que se caracteriza por el predominio de macromoléculas orgánicas con un alto potencial energético almacenado como energía química de enlace. Si artificialmente degradamos estas macromoléculas rompiendo estos enlaces, es posible liberar la energía química de enlace. Se le denomina biomasa a los recursos de origen biógeno que se usan como fuente de energía, es decir, la biomasa incluye toda materia orgánica de origen vegetal o animal, incluso los materiales procedentes de su transformación natural o artificial que pueden ser utilizados como combustible. En ciertos casos es necesario contar con los procedimientos técnicos que permitan la transformación de la energía contenida en la biomasa en formas de energía compatible con los equipamientos existentes, diseñados para el consumo de combustibles derivados de hidrocarburos. Entre estos procesos se encuentran los procesos bioquímicos en los cuales se ubica la biodigestión anaerobia y la fermentación alcohólica de los que se obtiene biogás y bioetanol, respectivamente. El término biocombustible se refiere a combustibles líquidos o gaseosos para el sector de transporte que son predominantemente producidos por la biomasa. Cuando se busca determinada disponibilidad de biomasa energética en un país o región, es importante considerar las restricciones de orden ecológica, económica y tecnológica. Las restricciones ecológicas están asociadas a la preservación del medio ambiente y a la calidad de vida. Las limitaciones económicas implican saber si la biomasa a ser explorada energéticamente no tiene otros usos más económicos como el industrial o alimenticio, pero también si todos los costos de la biomasa explotada son compatibles con los beneficios energéticos y comparables con los demás combustibles. Finalmente, las restricciones tecnológicas se deben a la existencia o no de procesos confiables y operaciones para conversión de la biomasa en combustibles de uso más general (Machado, 2010; Sztern y Pravia, 1999).

Una clasificación de los biocombustibles es la de “generaciones de biocombustibles”, donde en general, la principal distinción consiste en la materia prima utilizada y los avances tecnológicos necesarios para obtenerlos. Los biocombustibles de primera generación son producidos de azúcar, amida y aceites de una parte específica de plantas tradicionales como caña de azúcar, trigo, maíz, palma aceitera y soya. En este grupo se encuentran el etanol y biodiesel los cuales ya son producidos y comercializados en cantidades significativas por diversos países sin embargo lo que preocupa es lo referente al uso de la tierra. Los biocombustibles de segunda generación, también llamados biocombustibles celulósicos, son producidos de materias primas no alimentarias como residuos agroindustriales y gramíneas forrajeras de alta producción de biomasa. Su producción es significativamente más compleja y todavía no son comercializados, ya existen tecnologías para una conversión de biomasa celulósica a biocombustibles pero todavía no son aplicadas en producción de gran escala. Los biocombustibles de tercera generación son producidos a partir de la materia prima modificada genéticamente de modo que facilita los procesos subsecuentes. Los agentes de conversión, tales como microorganismos o algas, también son modificados genéticamente para que el proceso sea más eficiente (Machado, 2010).

Además de la producción de biocombustibles, otras alternativas de uso de los subproductos y residuos agroindustriales son la producción de alimentos con valor agregado, aditivos alimentarios, alimentos para animales, productos farmacéuticos o cosméticos. Ejemplos de estas alternativas son el uso de cáscara y sobrantes de pulpa, de melón mínimamente procesado, para la elaboración de mermelada y jalea, las cuales obtuvieron aceptabilidad sensorial (Almeida et al., 2008); la elaboración de barras utilizando el residuo del extracto de soja, nueces pequi, arroz partido y residuos de piña (Paolucci et al., 2012); también se ha evaluado el efecto de agregar fibra de acaí y glicerol en las propiedades física, físico-químicas y sensoriales de galletas (Lima et al., 2014); se han obtenido aditivos alimentarios mediante fermentaciones como por ejemplo la producción de xilitol a partir de hidrolizados del bagazo de marañón fermentados por la cepa *Kluyveromyces marxianus* CCA510 (Lima et al., 2015); también se ha estudiado el potencial de uso del bagazo de yuca fermentada por *Rhizopus spp.* como alimento para animales (Sriherwanto et al., 2009).

La industria azucarera es un ejemplo de agroindustria que explora las alternativas de uso de sus subproductos y residuos, su materia prima es la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*, L.) y el producto final es el azúcar, destinada al consumo humano. Adicionalmente puede producir mieles finales para consumo animal, energía eléctrica, biocombustibles como el etanol y el biogás, así como diversos derivados con alto valor agregado como los aditivos alimentarios obtenidos por vía biotecnológica. La agroindustria de la caña de azúcar puede y debe ayudar a enfrentar en un futuro inmediato tres importantes desafíos que hoy enfrenta la humanidad los cuales son la producción de alimentos, el déficit energético y la preservación del medio ambiente (Nova, 2007).

Conclusiones

El desarrollo de la tecnología para el aprovechamiento de los subproductos y los residuos agroindustriales para la obtención de productos con valor agregado requiere de un proceso de investigación de tal manera que se realice de forma eficiente y de acuerdo a las necesidades detectadas en el sector que corresponda. La innovación en la agroindustria beneficia tanto al consumidor como a la empresa y permite dar solución a problemas tanto alimentarios, como sociales, económicos y ambientales.

Bibliografía

- Almeida M. & et al. 2008. Aproveitamento agroindustrial de resíduos sólidos provenientes do melão minimamente procesado. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 28(3): 733-737.
- Aymerich, S., 2000. Tratamiento de residuos lácteos. Consejo Nacional de Producción.
- Barres, T., 2012. Producción y consumo sostenibles y residuos agrarios. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España.
- Comité Intersectorial para la Innovación, 2011. Programa Nacional de Innovación. Gobierno de México.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), 1997. Parte III La agroindustria y el desarrollo económico. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 1997. Colección FAO: Agricultura, N° 30.
- _____ 2009. La FAO en México. Más de 60 años de cooperación. Representación en México.
- Kosacoff, B. y Mercado, R., 2009. Capítulo IV Cadenas de valor en la agroindustria. La Argentina ante la nueva internacionalización de la producción: crisis y oportunidades. Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL / Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD.
- Lima de Albuquerque, Tiago; Luncindo Gomes, Sandy Danielle; Marques Jr., José Edvan; da Silva Jr., Ivanildo José; Ponte Rocha, María Valderez, 2015. Xylitol production from cashew apple bagasse by *Kluyveromyces marxianus* CCA510. *Catalysis Today* 255 (2015) 33–40.
- Lima, H. & et al. 2014. Use of agroindustrial wastes (açai fiber and glycerol) in the preparation of cookies. *J Food Sci Technol* (July 2015) 52 (7):4593–4599.
- Machado, C. M. M., 2010. Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Nova, A., 2007. La producción de alimentos, la bioenergía y las exportaciones de la agroindustria cañera, una decisión estratégica para la economía cubana. *Cuba Siglo XXI*. Número LXXIX - Agosto 2007.
- OEEE, Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos, 2012. Capítulo XIII.

- Estadística Agroindustrial. Lineamientos Metodológicos de la Actividad Estadística (SIEA-OEEE). Servicios Generales-UL-OA-MINAG.
- Paolucci Paiva, A. & et al., 2012. Characterization of food bars manufactured with agroindustrial by-products and waste. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 36, n. 3, p. 333-340.
- Sriherwanto, C.; Koob, C.; Bisping, B., 2009. Cassava bagasse fermented by *Rhizopus* spp. for potential use as animal feed. *New Biotechnology*. Volume 25S.
- Sztern, D. y Pravia, M. A., 1999. Manual para la elaboración de compost: Bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud; Uruguay. Oficina de Planeamiento y Presupuesto. Unidad de Desarrollo Municipal. Montevideo. UY. OPS.
- Zapata, S., 2001. Posibilidades y potencialidad de la agroindustria en el Perú en base a la biodiversidad y los bionegocios. Comité biocomercio Perú.

Influencia de la composición y arreglo de los electrodos en el proceso de formación de biope- lículas en celdas de combustible microbiano

Electrode composition and arrangement influence in the process of biofilm formation in microbial fuel cells

*Arturo Salinas Martínez³⁰

*Liliana Reynoso Cuevas³¹

*Miguel Ángel López Zavala³²

Resumen

³⁰Universidad Politécnica de Guanajuato. Ingeniería Agroindustrial. Av. Universidad Norte S/N. Localidad Juan Alonso. C.P. 38483. Cortázar, Gto. *Contacto: asalinasm@upgto.edu.mx

³¹Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. CIMAV Unidad Durango. Victoria 147 Nte., Zona Centro. C.P. 34000. Durango, Dgo. *Contacto: liliana.reynoso@cimav.edu.mx

³²Instituto Tecnológico de Monterrey, Centro del Agua para Latinoamérica y el Caribe, Campus Monterrey. Eugenio Garza Sada 2501. Monterrey, N.L. C.P. 64849. *Contacto: miguel.lopez@itesm.mx

Las celdas de combustible microbiano se han estudiado y desarrollado en años recientes como una alternativa para enfrentar la creciente problemática del tratamiento de aguas residuales, su posible reúso y aprovechamiento para la generación de electricidad. Mediante estos dispositivos, los sistemas biológicos remueven los contaminantes manteniendo el ecosistema y disminuyendo los costos de tratamiento. Biotecnológicamente hablando, las aguas residuales son ricas en todo tipo de compuestos que permiten sostener el metabolismo de una amplia variedad de microorganismos generando un proceso depurativo eficaz si se proveen las condiciones de operación necesarias en los reactores. La biomasa microbiana producida, permite la extracción de metabolitos secundarios aprovechables como materia prima en la industria agrícola y como fuente alternativa de energía. Las celdas de combustible microbiano pueden emplearse como un reactor para el tratamiento de aguas residuales y, mediante la degradación microbiana de la materia orgánica, generar productos de interés tales como H₂ y electricidad. El desarrollo de proyectos con esta tecnología ha demostrado su factibilidad de implementación en pequeña escala a la vez que ha manifestado que tanto el diseño de los electrodos, así como su disposición en el reactor, son puntos críticos para el éxito de este proceso.

Abstract

In recent years, microbial fuel cells have been studied and developed as an alternative to face the rising problem of wastewater treatment, their possible reclaim and use for electricity generation. Through these devices, biological systems should remove contaminants, preserve the ecosystem and decrease the treatment costs. Biotechnologically speaking, wastewater are rich in a wide variety of compounds that could sustain the metabolism of a diversity of microorganisms generating an effective purifying process if required operating conditions in the reactors are provided. Microbial biomass produced allow the extraction of secondary metabolites, which may be useful as raw material in the agricultural industry and as an alternative energy source. Microbial fuel cells could be used as a treating reactor for wastewater by the natural microbial

activity for organic matter degradation and generate products of interest, such as H_2 and electricity. The wide variety of projects that use this technology has demonstrated its feasibility of implemented at small-scale and has shown that the design of the electrodes, and their arrangement in the reactor, are critical to the success of this process.

Introducción

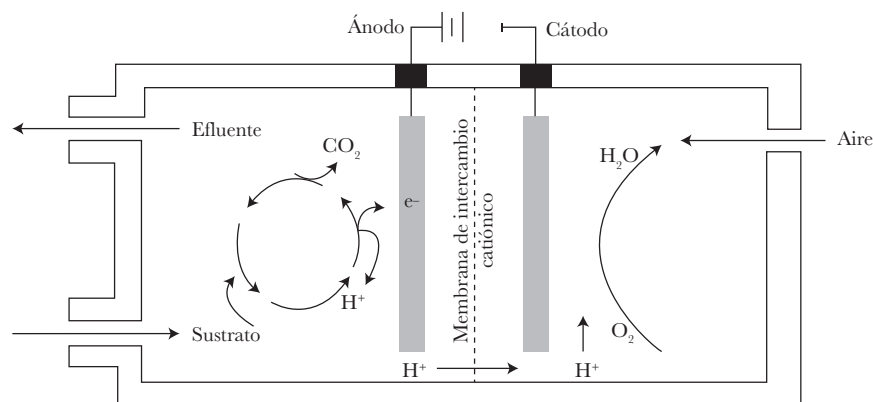
En años recientes se han desarrollado procesos biotecnológicos que ofrecen una solución a los desequilibrios provocados por las actividades destinadas a satisfacer las necesidades humanas en nuestros distintos ecosistemas.

Una de las estrategias de remediación ambiental que ha adquirido gran importancia dentro de los grupos de investigación a nivel internacional es la implementación de celdas de combustible microbiano (MFC, por sus siglas en inglés *Microbial Fuel Cells*). Esto puede definirse como un sistema de actividad eléctrica de ciertos microorganismos ocasionada bioquímicamente por los procesos de degradación de la materia orgánica en ambientes anaerobios (Jung y Regan, 2007). Esta tecnología representa un nuevo acercamiento a lo que se conoce como *bioelectricidad*.

Desde la primera década de mil novecientos se conoce que ciertos microbios pueden producir electricidad en ambientes muy particulares, aunque no fue sino hasta los años 90 cuando se comenzó a tener avances significativos al generar información sobre los mecanismos biológicos que la ocasionan (Logan, 2008). El proceso pudiera ser descrito como la liberación de los electrones, un proceso de degradación, mismos que deben ser capturados por un aceptor de electrones como el oxígeno, el nitrato o el sulfato que pueden ser movilizados al interior de la célula donde capturan los electrones formando productos que pueden excretarse. Se ha observado que algunos microorganismos poseen la capacidad para excretar los electrones producidos durante los procesos de oxidación sin necesidad de mediadores, proceso conocido como electrógenesis (Du, et al., 2011). Este proceso de transferencia electrónica puede verse como una extensión de su metabolismo hacia un sustrato insoluble tales como los óxidos de hierro o manganeso (Nealson y Finkel, 2011).

Las MFC que se utilizan para realizar estudios a escala laboratorio poseen una configuración simple con frecuencia. En la Figura 1 puede observarse que el proceso electrogénico se realiza en la cámara anóxica donde los microorganismos se encuentran en continua exposición con un sustrato rico en materia orgánica, de esta forma, como parte natural de los procesos catabólicos se produce una emisión de electrones y protones de hidrógeno, estos últimos suelen ser capturados por mediadores metabólicos para emplearse en los distintos procesos bioquímicos de la célula. En algunos sistemas dichos protones pueden ser movilizados a través de membranas hacia otra cámara (catódica) donde son atrapados por distintos tipos de iones complementarios (principalmente el oxígeno), de forma simultánea, los electrones liberados pueden ser movilizados por transportadores electrónicos hacia el electrodo, el cual se encuentra conectado mediante un circuito eléctrico a un segundo electrodo a la cámara catódica cerrando el circuito mediante el flujo de electrones.

Figura 1. Celda de combustible microbiano.



La promesa del éxito en la implementación de las MFC se basa en el aprovechamiento de desperdicios ricos en materia orgánica para su transformación en algún tipo de producto beneficioso para la sociedad. La opción más atractiva y más difundida en los grupos de investigación, es aquella relacionada con la implementación de ésta tecnología empleando como sustrato aguas residuales, debido a que los procesos de tratamiento para las diferentes composiciones de agua residual, consideradas como un desperdicio y una inversión económica no redituable comercialmente hablando, y este hecho ofrece un nicho de oportunidad para el desarrollo en la aplicabilidad tecnológica con el valor agregado de la producción de una energía renovable (Logan y Regan, 2006). En el acervo bibliográfico internacional puede encontrarse una gran variedad de testimonios científicos que constatan la amplísima variedad de estudios realizados en este campo.

Tabla 1. Listado de estudios de tratamiento de agua residual por sistemas bioelectroquímicos en celdas de combustible microbiano. Fuente: (Mohanakrishna, et al., 2015)

Tipo de agua residual	Configuración de la MFC	Eficiencia del tratamiento (evaluando Carbono y Nitrógeno total) del agua residual (%)
Doméstica	Una cámara	66.7
Doméstica	Dos cámaras	85
Industria láctea	Una cámara	95.5
Industria láctea	Dos cámaras	90
Industria chocolatera	Una cámara	95.5
Industria de cereales	Dos cámaras	95
Industria quesera	Dos cámaras	59 +- 9
Industria recicladora de papel	Una cámara	51
Industria cervecera	Una cámara	87
Destiladoras	Una cámara	72.8
Rastro ganadero	Dos cámaras	93
Rastro ganadero	Una cámara	85.8

La Tabla 1 muestra un resumen de algunos de los trabajos de investigación realizados en este campo.

Una segunda vertiente en la aplicación de las MFC se relaciona con la inminente crisis energética, principalmente con el exceso en el uso de los combustibles no renovables, por lo que las MFC, además de su atractivo por el aporte de bioelectricidad y su capacidad para producir hidrógeno a partir de procesos que remueven contaminantes del ecosistema, suelen presentar el valor agregado de disminuir los costos de operación (Karmakar et. al., 2010; Yang et. al., 2012) derivados de la producción de electricidad y el empleo de un sustrato considerado como un desecho. Es importante considerar que para que en una MFC se produzca hidrógeno, se debe suprimir el oxígeno como aceptor de electrones (Du et. al., 2007).

Puntos críticos en la construcción y operación de las celdas de combustible microbiano

Existen muchos proyectos enfocados a investigar el desarrollo de las MFC, escala laboratorio y gracias a estos trabajos se han podido llevar a cabo mejoras con relación a las condiciones de operación y los materiales principalmente, pero es un hecho fehaciente que su implementación a escala comercial, no ha podido realizarse debido a la baja producción eléctrica, así como a los altos costos de materiales tales como los electrodos y su manutención (Wei et. al., 2011). De esta forma, si se pretende poner en marcha este tipo de sistemas, debe ser considerado en el escalamiento, tanto el diseño del electrodo, como los materiales que lo constituyan, considerando cuatro características básicas: conducción eléctrica, estabilidad química, resistencia mecánica y bajo costo (Kim et. al., 2015).

Electrodos

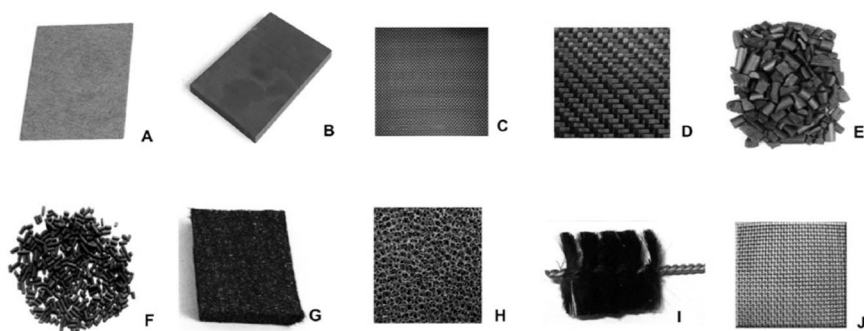


Figura 2. Distintos materiales utilizados como electrodo en las MFC: (A) papel carbón; (B) placa de grafito; (C) tela de carbón; (D) malla de carbón; (E) grafito granulado; (F) carbón activado granular; (G) fieltro de carbón; (H) carbón reticulado vitrificado; (I) cepillos de fibra de grafito; (J) malla de acero inoxidable. Fuente: (Wei et. al., 2011).

Al ser los electrodos una parte fundamental en el funcionamiento de las MFC, se han efectuado diversos estudios empleando distintos materiales metálicos y no metálicos, siendo los más usados metales no corrosivos como el acero inoxidable, el platino y el oro. Pero además de sus altos costos de implementación a escala comercial, debe observarse que los electrodos metálicos poseen superficies más lisas que los materiales no metálicos, por lo que no facilitan la adhesión microbiana, dando como consecuencia densidades microbianas menores (Du et. al., 2007). Por las razones antes mencionadas, se ha desarrollado una búsqueda de una amplia variedad de materiales basados en el carbono, dando como resultado que éstos sean los más frecuentemente utilizados, principalmente por su biocompatibilidad, estabilidad química, alta conductividad y bajos costos

en comparación con los metálicos (Chen et. al., 2015). Existe una gama de materiales empleada para determinar la mejor relación entre costo de inversión y la eficiencia energética de la MFC de los materiales usados como electrodo. En la Figura 2 se puede observar la variedad de los materiales de carbono comúnmente utilizados.

Biopelículas

Las biopelículas constituyen una forma de vida alternativa que adoptan algunos microorganismos procariotas en la cual un comportamiento de tipo multicelular les provee una ventaja de supervivencia en ambientes específicos. Este comportamiento “multicelular” permite a la comunidad microbiana adherirse a una superficie que en la que podrán desarrollar un nuevo papel ecológico en el ambiente (Kostakioti et. al., 2013). El desarrollo de biopelículas bacterianas en los electrodos de las MFC es lo que permite que se lleve a cabo la transferencia de electrones. En este proceso los microorganismos pueden bombear eficientemente los electrones al exterior de la célula hacia un aceptor de electrones, como el ánodo (Read et. al., 2010). Debido a lo antes mencionado, en la última década se han desarrollado una amplísima variedad de investigaciones en las que se intenta determinar cómo influye la formación y evolución de las películas microbianas en la eficiencia de producción eléctrica de las MFC. Ramasamy et al., (2008) reportan haber encontrado que el desarrollo de las películas microbianas reduce la resistencia eléctrica del material que constituye el electrodo y facilita el desarrollo de las reacciones electroquímicas, tanto para el ánodo como en el medio circundante (en ausencia de un ánodo como aceptor de electrones), lo que promueve un aumento en la capacidad de obtención de energía eléctrica en la MFC, así mismo, Zhang et al., (2011) dilucidaron el efecto de la resistencia en la transmisión eléctrica y cómo influye en las características ecológicas con las que se desarrollan las biopelículas en los ánodos, denotando que a mayor resistencia en la MFC la composición morfológica de la biopelícula será más compacta, por lo que cuando existe una menor resistencia, esta estructura morfológica posee mejores características en cuanto a los fenómenos de transporte, tanto para la renovación de los sustratos, como para la liberación de los protones formados, dando como resultado una mejor conductividad eléctrica entre la biopelícula y el electrodo. Recientemente, Baranitharan et al., (2015) corroboraron el efecto del desarrollo de las biopelículas sobre la producción de electricidad en una MFC y observaron mediante un análisis de espectroscopía de impedancia electroquímica que existe una relación directamente proporcional sobre la cantidad de energía que se produce y la evolución de la biopelícula sobre el electrodo, registrando además, durante un periodo de 15 días, el proceso de sucesión ecológica que ocurre en el ánodo empleando análisis electroforéticos en geles con condiciones desnaturalizantes.

Los factores que pueden influir sobre la eficiencia de una MFC en términos de la cantidad de energía que puede producir y/o el porcentaje del abatimiento de los sustratos empleados para alimentarla son el material de que esté compuesto el electrodo y la forma que la que se desarrolle la biopelícula sobre el mismo. Por lo que para poder estudiar este proceso se debe realizar una evaluación de la composición y estructura de la biopelícula en el ánodo,

preferentemente registrando el fenómeno de sucesión ecológica que se desarrolla como parte de la evolución natural del proceso de colonización del electrodo. Aunado a estos dos puntos críticos del funcionamiento de las MFC, muchos grupos de investigación se encuentran analizando la relación que existe al emplear en los reactores una configuración de una sola cámara (anódica) o de dos cámaras (anódica y catódica) durante el proceso electrogénico, considerando además la configuración de los electrodos en los sistemas bioelectrogénicos principalmente cuando se emplea agua residual como sustrato en la MFC (Babauta et. al., 2012).

Configuración de los electrodos en las celdas de combustible microbiano

Para poder aprovechar la capacidad metabólica de los microorganismos electrogénicos en la degradación de la materia orgánica, así como la liberación de los electrones, la comunidad científica ha prestado gran atención al funcionamiento de las MFC. Sin embargo, una de las limitantes de las MFC para su implementación a gran escala es la eficiencia del sistema. En numerosos estudios se han empleado distintas configuraciones (una o dos cámaras) de las MFC, se han utilizado distintos tiempos de aclimatación del inóculo para optimizar el proceso de oxidación, así como el uso de materiales de bajo costo en la construcción de la membrana de intercambio catiónico y los electrodos (Ahn y Logan 2012).

Se sabe que el material de los electrodos, el método de construcción y su configuración pueden afectar el desempeño de la MFC, por lo que se han llevado a cabo diferentes estudios en los que se optimiza la configuración de los electrodos para incrementar la generación de energía y minimizar las pérdidas óhmicas (Liu et al., 2005). Zhang et al. (2011) proponen un arreglo alternativo para los electrodos que promueve el uso de separadores, permitiendo diseños más compactos que se conocen como “Sistemas de Electrodos Separados” (SEAs, por sus siglas en inglés, *Separator Electrode Assemblies*). Entre los materiales utilizados como separadores se encuentran la fibra de vidrio, tela, cepillos de fibra de grafito, malla de carbono, entre otros (Hays et al., 2011), mientras que Zhu et al., (2013) evaluaron el desempeño de dos arreglos diferentes de electrodos hechos con el mismo material, barras de grafito utilizando una MFC de 2 L en la cual adaptaron un electrodo de diseño escalonado (MFC-S) obteniendo voltajes más elevados (23.8 W m⁻³) que los alcanzados con el electrodo de diseño lineal (MFC-I). Sugieren que sus resultados se deben a que el electrodo de arreglo escalonado favorece la transferencia de masa. Buitrón y Pérez (2011), evaluaron el efecto de la distancia entre los electrodos de las celdas de combustible microbiano y de acuerdo con sus resultados no se identificaron efectos negativos debidos al aumento en la distancia entre los electrodos; sino por el contrario, observaron que a mayor separación se alcanzó mayor voltaje.

Se han llevado a cabo algunos estudios para mejorar el funcionamiento de las MFC con arreglos de electrodos conformados por el ánodo, la membrana de intercambio catiónico y el cátodo, como una sola unidad, este arreglo permite que las celdas sean más compactas, con menor resistencia interna y mayores densidades de voltaje (Butler y Nerenberg, 2010). Kim et al., (2015) utilizaron “cepillos” de fibras de grafito como electrodos; trabajando bajo condiciones

de flujo continuo simulando las condiciones operativas (tiempo de retención hidráulico) para el tratamiento de aguas residuales. Entre sus principales observaciones encontraron que el reducir el espacio entre los electrodos e incrementar el área superficial específica del cátodo mejoró la producción energética. Sin embargo, apuntan que se debe considerar el costo del tratamiento ya que incrementar el área superficial específica del cátodo aumentó el capital necesario para la construcción de la celda, por lo tanto, se debe tener en cuenta el costo-beneficio de incrementar el número de cátodos a emplear en la MFC.

Nuevas tendencias en los materiales han demostrado que los electrodos nanoestructurados también pueden ser una alternativa a considerar en el desarrollo de electrodos para MFC. Gadhamshetty y Koratkar (2012) opinan que para escalar las MFC de sistemas de laboratorio a un nivel comercial es necesario reemplazar los electrodos basados en grandes áreas superficiales de contacto, principalmente elaborados con carbono, con materiales nanoestructurados (tubos de carbono, hojas de grafeno), los cuales son factibles de ser ensamblados en materiales que pueden ser escalables. Los materiales nanoestructurados tienen un área específica superficial al menos 1000 veces mayor que la de los electrodos de carbono convencionales. Sin embargo, se presentan algunos retos en el empleo de estos materiales, ya que los microorganismos requieren cierto grado de porosidad en los electrodos para poder fijarse y que estos poros no se tapen por el crecimiento microbiano disminuyendo de la eficiencia de la MFC. Recientemente, se han estructurado materiales compuestos para mejorar el funcionamiento de cada uno de los componentes de manera individual. García et al., (2015) diseñaron nanofibras duales de TiO_2 y carbón, que obtuvieron mediante la técnica de electrospinning de bicomponente. La caracterización que realizaron los posiciona como nanomateriales anódicos prometedores para su aplicación en celdas de combustible microbianas, su composición y arreglo estructural favorece el flujo de los electrones produciendo densidades de corriente superiores a las reportadas en la bibliografía por otros materiales, como biopelículas de microorganismos exoelectrogénicos.

Reflexión

Las celdas de combustible microbiano son sistemas prometedores para la generación de energía mediante la degradación de materia orgánica. Sin embargo, numerosos factores intervienen en su diseño, construcción, operación y mantenimiento. Uno de los principales factores que puede determinar el funcionamiento de las MFC son los electrodos, aspectos como su configuración y número, así como los materiales que se pueden emplear para que la biopelícula formada por los microorganismos pueda adherirse y crecer en su superficie. Numerosos estudios han reportado igual número de materiales que han sido empleados como electrodos en una MFC, en los últimos años, el desarrollo científico en la caracterización de nanomateriales ha permitido mejorar las tasas de producción de energía a través de las MFC.

La posibilidad de utilizar diversas fuentes de materia orgánica y numerosos microorganismos, hacen que las MFC sean una tecnología factible de implementar y desarrollar con el objetivo de optimizar un sistema que se pueda adaptar a diferentes condiciones de operación. Sin embargo, aún queda mucho

trabajo por hacer, seguir investigando y mejorando los procesos de transferencia de electrones, las interacciones microbianas con una amplia variedad de sustratos, la configuración de las MFC, además, en el campo de los materiales y variables críticas para el escalamiento de estos sistemas que permitan su aplicación a nivel industrial en el tratamiento de efluentes, degradación de contaminantes emergentes y en la producción eficiente de energía.

Bibliografía

- Ahn, Y. y Logan, B.E. (2012). A multi-electrode continuous flow microbial fuel cell with separator electrode assembly design. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 93: 2241-2248.
- Babauta, J., Renslow, R., Lewandowski, Z. y Beyenal, H. (2012). Electrochemically active biofilms: facts and fiction. A review. *Biofouling*, 28(8), 789–812.
- Baranitharan E., Khan M. R., Prasad D. M. R., Teo W. F. A., Tan G. Y. A. y Jose R. (2015). Effect of biofilm formation on the performance of microbial fuel cell for the treatment of palm oil mill effluent. *Bioprocess Biosyst Eng* 38(1):15-24.
- Buitrón, G. y Pérez, J. (2011). Producción de electricidad en celdas de combustible microbianas utilizando agua residual: efecto de la distancia entre electrodos. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 14(1): 5-11.
- Butler, C.S. y Nerenberg, R. (2010). Performance and microbial ecology or air-cathode microbial fuel cells with layered electrode assemblies. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 86: 1399-1408.
- Chen, X., Cui, D., Wang, X., Wang, X. y Li W. (2015). Porous carbon with defined pore size as anode of microbial fuel cell. *Biosensor and Bioelectronics*, 69: 135 - 141.
- Du, Z., Li, H. y Gu, T. (2007). A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy. *Biotechnology Advances*, 25: 464 – 482
- Gadhamshetty, V. y Koratkar, N. (2012). Nano-engineered biocatalyst-electrode structures for next generation microbial fuel cells. *Nano Energy*. 1: 3-5.
- García, N.A., García, D.I. y Sánchez, E. M. (2015). Producción de bioelectricidad utilizando nanofibras duales de TiO₂/carbón como electrodo de una celda de combustible microbiana. *Ciencia UANL*. 18(71): 102-113.
- Hays, S., Zhang, F. y Logan, B.E. (2011). Performance of two different types of anodes in membrane electrode assembly microbial fuel cells for power generation from domestic wastewater. *J. Power Source*. 196: 8293-8300.
- Jung, S. y Regan, J., M. (2007). Comparison of anode bacterial communities and performance in microbial fuel cells with different electron donors. *Appl Microbiol Biotechnol* 77:393 – 402.
- Karmakar, S., Kundu, K., y Kundu, S. (2010). Design and development of a microbial fuel cells. *Appl Microbiol Biotechnol*, 1029 - 1034.
- Kim, K.Y., Yang, W. y Logan, B.E. (2015). Impact of electrode configurations on retention time and domestic wastewater treatment efficiency using microbial fuel cells. *Water Res.* 80: 41-46.

- Kostakioti, M., Hadjifrangiskou M. y Hultgren S. J. (2013). Bacterial Biofilms: Development, Dispersal, and Therapeutic Strategies in the Dawn of the Postantibiotic Era. *Cold Spring Harb Perspect Med* 2013; 3:a010306.
- Logan B., E. y Regan J., M. (2006). Microbial fuel cells. Challenges and applications. *Environmental Science & Technology*. 5172 - 5180.
- Logan B., E. (2008). Microbial fuel cells. Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 199 pp.
- Liu, H., Cheng, S. y Logan, B.E. (2005). Power generation in Fed-Batch microbial fuel cells as a function of ionic strength, temperature and reactor configuration. *Environ. Sci. Technol.* 39: 5488-5493.
- Mohanakrishna, G., Srikanth, S. y Pant D. (2015). Bioelectrochemical Systems (BES) for Microbial Electroremediation: An Advanced Wastewater Treatment Technology. *Applied Environmental Biotechnology: Present Scenario and Future Trends*. 145 - 167.
- Ramasamy, R. P., Ren, Z., Mench, M. M. y Regan J.M. (2010). Impact of Initial Biofilm Growth on the Anode Impedance of Microbial Fuel Cells. *Biotechnology and Bioengineering*. (101):1 101 - 108.
- Read, S. T., Dutta, P., Bond P. L., Keller, J. y Rabaey K. (2010). Initial development and structure of biofilms on microbial fuel cell anodes. *BMC Microbiology*, 10:98
- Wei, J., Liang P. y Huang X. (2011). Recent progress in electrodes for microbial fuel cells. *Bioresource Technology*, 102: 9335 - 9344.
- Yang. S., Du, F. y Liu, H. (2012). Characterization of mixed-culture biofilms established in microbial fuel cells. *Biomass Bioenerg*, 46: 531 - 537.
- Zhang, L., Zhua, X., Lia, J., Liaoa, Q. y Ye, D. (2011). Biofilm formation and electricity generation of a microbial fuel cell started up under different external resistances. *Journal of Power Sources* 196: 6029–6035.
- Zhu, X., Zhang, L., Li, J., Liao, Q. y Ye, D. (2013). Performance of liter-scale microbial fuel cells with electrode arrays: Effect of array pattern. *International Journal of Hydrogen Energy*. 38: 15716-15722.

Adaptación de Genotipos No Tóxicos de *Jatropha curcas* L. la Planta del Biodiesel, en municipios del Centro y Sur de Tamaulipas, México

Adaptation of genotypes non-toxic *Jatropha curcas* L., the Plant of the Biodiesel in Municipalities of the Center and South of Tamaulipas, Mexico

*M. A. García-Delgado³³
J.E. Cervantes-Martínez
H. Mata-Vázquez
M. L. Martínez-Saldívar³⁴

Resumen

³³Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamaulipas. Contacto: miagarci@uat.edu.mx Universidad Autónoma de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamaulipas.

³⁴Colegio de Tamaulipas, Cd. Victoria, Tamaulipas

El propósito de este estudio fue realizar la identificación de las principales características edafoclimáticas, necesidades hídricas y de crecimiento vegetativo de cinco genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas* L. en condiciones de riego durante un periodo continuo de diecisiete meses, en una localidad del municipio de Gómez Farías, ubicado al sur de Tamaulipas, de manera general se realiza la descripción de cuatro sitios experimentales en los que se establecieron siete genotipos de colectas nacionales para su estudio; de manera particular se reporta el estudio realizado en la localidad que presenta más genotipos en un solo sitio experimental, el Rancho “El Chiflido” en el municipio de Gómez Farías. El trasplante se inició en abril de 2010 en Jaumave, cuando las plantas presentaron una altura promedio de 30 cm. En el periodo comprendido del 30 de junio al 2 de julio de 2010 se trasplantaron en el rancho “El Chiflido” de Gómez Farías, cuando las plantas tenían un promedio de 35 cm de altura. En estas localidades se utilizó un marco de plantación de 3.0 m x 2.0 m para una densidad de 1 667 plantas por hectárea. Se realizaron las caracterizaciones físicas, químicas y de fertilidad del suelo, así como la caracterización de calidad del agua de riego, también se realizó la preparación del terreno para el trasplante, así como las labores culturales adecuadas como fueron las podas, aplicaciones de fungicidas, bactericidas, insecticidas y de control de malezas, así como la aplicación de fertilizantes al suelo y foliares. Se hizo un buen manejo y control fitosanitario de las plagas y enfermedades que se presentaron. Se describe a detalle el desarrollo de actividades realizadas y los resultados obtenidos en el Rancho “El Chiflido” en el cual se evaluaron diferentes respuestas vegetativas, antes y después de la poda de formación, se presentó un ataque de pudrición del tallo, el genotipo 3 fue muy susceptible al ataque de fitopatógenos y fue la razón de la disminución del vigor de este genotipo. De acuerdo a la adaptación de *Jatropha* en estas regiones de Tamaulipas se puede señalar que en Gómez Farías se presentó la mejor armonía ambiental basada en los parámetros vegetativos medidos diámetro, altura del tallo principal, número y longitud de ramas secundarias post-poda

de formación. Por la tolerancia y resistencia al ataque a enfermedades la mejor adaptación la presentaron dos genotipos el 1 y 4, procedentes de Morelos y Tlaxcala, respectivamente. Mientras que los genotipos evaluados en los predios del centro del estado, debido a la onda gélida que se presentó a principios de febrero del 2010, con temperaturas inferiores a $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, por su grado, intensidad y duración del meteoro y la afectación de los tejidos aéreos, permitieron determinar que es una planta muy susceptible a daños por congelamiento, lo cual limita su adaptación ambiental en estas bajas temperaturas, pero estas condiciones también permitieron comprobar su alta capacidad de recuperación vegetativa al presentarse las temperaturas ambientales superiores a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, basado en la cantidad y vigor de las brotaciones vegetativas que se presentaron en la base del tallo o cuello de las plantas afectadas.

Abstract

The purpose of this study was to identify the main soil and climatic characteristics, water needs and natural growth of five non-toxic *Jatropha curcas* L. genotypes under irrigated conditions for a continuous period seventeen months in a village in the municipality of Gomez Farias, in southern Tamaulipas. Generally the description of four experimental sites that were established to study seven genotypes of national collections is done; particularly the study carried out in the town with more genotypes studied in one experimental site, the “El Chiflido” Ranch is located in the municipality of Gomez Farias, products are reported in this paper. Transplantation project started and began in April 2010 in Jaumave, when the plants had an average height of 30 cm, in the period from June 30 to July 2, 2010 was transplanted in the “El Chiflido” Ranch in Gomez Farias, when plants had an average height of 35 cm. A planting of 3.0 m x 2.0 m for a density of 1 667 plants per hectare was used on these sites. The physical, chemical and soil fertility parameters and characterizing quality of irrigation water were carried out, preparing the ground, farm soil, for transplant was also performed and cultural practices suitable as were the pruning, application of fungicides, bactericides, insecticides and weed control, thus the application of soil and foliar fertilizers. Good management and control of plant pests and diseases that were presented was performed. It's described in detail the development of activities and results in the “El Chiflido” ranch in which different vegetative responses was evaluated before and after pruning, showed an attack of stem rot, genotype 3 was very susceptible to attack by pathogens, therefore, was the reason for the decrease in the response of this genotype vigor. According to the adaptation level of *Jatropha* in these regions of Tamaulipas, it can be noted that in Gomez Farias presented the best environmental harmony based on the measured vegetative parameters diameter, height of main stem, number and length of secondary branches post-pruning. Based on tolerance and disease resistance attack showed the best adaptation the two genotypes 1 and 4, from Morelos and Tlaxcala states, respectively. While genotypes on the farms municipalities of the center of the state, due to the cold wave was presented in early February 2010, with temperatures below $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, by its maintained intensity, and duration of the storm and the involvement of aerial tissue, allowed to determine that a plant is

very susceptible to freeze damage, limiting their environmental adaptation in these low temperatures, but these conditions also allowed to check their high capacity of vegetative recovery to occur the ambient temperatures exceeding 20° C, based on the amount and force of vegetative sprouting presented at the stem base or neck of affected plants.

Introducción

México ocupa el noveno lugar como país contaminante del planeta debido que libera a la atmosfera aproximadamente el 2% de la emisión mundial de gases de efecto invernadero, y basado en el ritmo de avance tecnológico y de desarrollo se estima que para los próximos años este porcentaje se duplicará sino se realizan las medidas adecuadas para reducir sus emisiones contaminantes (Cervantes, 2006). El abuso en la utilización de los combustibles fósiles es un tema de debate mundial, ya que está relacionado directamente con la contaminación ambiental y el calentamiento global (Félix, 2008). Ante el grave problema de la contaminación ambiental, ante el inminente agotamiento de las reservas de combustibles fósiles en un futuro y el incremento del precio internacional del crudo, muchos países han decidido impulsar el desarrollo y uso de fuentes de energías alternativas, que ofrecen grandes ventajas sobre las fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante o fundamentalmente por su posibilidad de renovación. En el 2007, México ha considerado el uso de energías alternativas como el biodiesel, el bioetanol, la energía solar y eólica entre otras. De acuerdo al último estudio de la Secretaría de Energía (2006), la producción de biodiesel a escala comercial puede ser factible en el mediano plazo de realizar acciones integrales que deben incluir aspectos técnicos, económicos y medioambientales, de concertación con el sector agrícola y agroindustrial, así como, un esfuerzo importante en investigación y desarrollo tecnológico (Martínez, 2007).

El gobierno mexicano proporciona un gran impulso para la utilización de energías renovables eficientes y limpias como los biocombustibles; pretende disminuir los efectos del cambio climático y contribuir a la conservación del medio ambiente. En febrero del 2008, el gobierno federal decretó la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos, la cual incluye en el Artículo 1, entre otros objetivos la promoción y desarrollo de los bioenergéticos, con la finalidad de coadyuvar a la diversificación energética y al desarrollo sustentable, como condiciones que permitan garantizar el apoyo al campo mexicano, esta ley también incluye el impulso a la investigación tecnológica para la producción y transformación de productos primarios para la producción de biocombustibles (Zamarripa et al., 2009; Martínez, 2009; Zamarripa et al., 2010). Martínez (2009) menciona que en el primer párrafo de esta ley, se señala que se debe promover la producción de insumos para bionergéticos, a partir de las actividades agropecuarias, forestales, algas, procesos biotecnológicos y enzimáticos en el campo mexicano sin afectar y poner en riesgo la seguridad alimentaria del país. En México, aparte de producir una gran cantidad de cultivos de oleaginosas existen otras fuentes vegetales alternativas entre las que se incluyen especies silvestres con alto contenido de aceite y con alto potencial en la producción de bioenergéticos, como la *Jatropha curcas L.* (piñón, piñoncillo o pistache mexicano)

que no forma parte de los cultivos básicos y que por sus ventajas agronómicas es interesante y puede dar un impulso a la agricultura del país (Martínez, 2007). En los recursos vegetales con potencial para energías alternativas, específicamente entre las plantas no comestibles para la producción de biodiesel puro se encuentra el aceite de *Jatropha*.

Paneque (2009) y Martínez (2009) señalan que los biocombustibles obtenidos a partir de materias primas vegetales, son biodegradables, no tóxicos y esencialmente libres de azufre y compuestos aromáticos, es un biocombustible obtenido mediante un proceso sustentable principalmente de especies oleaginosas, plantas productoras de aceite vegetal, con lo que difieren totalmente de los derivados del petróleo o combustible fósil. Las respuestas de adaptación, potencial productivo y otras características agronómicas relacionados con la producción de aceite de *Jatropha* han sido muy aleatorias y variadas (Niño-García y Col., 2012), así como el hecho que no compite con las oleaginosas cultivadas para la alimentación humana, por lo tanto basado en la diversidad de resultados obtenidos a nivel internacional por la comunidad científica, considerando ambiental, ecológico y sustentablemente el bono-verde, es importante señalar que en México se han distinguido y han sobresalido las investigaciones realizadas por dos grupos de instituciones reconocidas nacional e internacionalmente como el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos del Instituto Politécnico Nacional (Figuras 1 y 2) y el del Campo Experimental Rosario Iztapa del INIFAP, Tuxtla Chico, Chiapas, liderados por los doctores Jorge Martínez-Herrera y Alfredo Zamarripa-Colmenero, respectivamente.



Fig 1

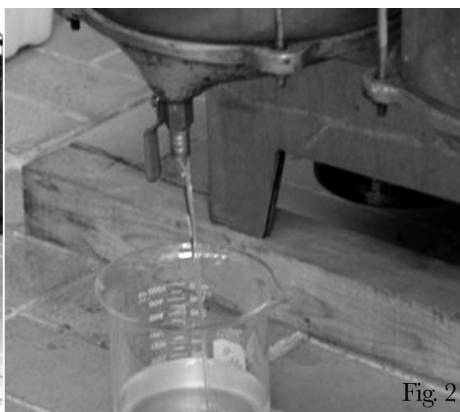


Fig 2

Figura 1. Dispositivo hidromecánico para extracción de aceite de *Jatropha curcas*, en el CEPROBI-IPN en Yautepec, Morelos, mayo de 2009.

Figura 2. Aceite de *Jatropha* extraído en el Laboratorio del CEPROBI-IPN en Yautepec, Morelos, mayo de 2009.

Fuente: elaboración propia

El piñón, piñoncillo, nuez o pistache mexicano como comúnmente se le conoce a *Jatropha curcas* L. es una planta con potencial silvícola y agrícola utilizadas de diferentes maneras como cercos vivos y para reforestar zonas erosionadas, así como para usos medicinales e industriales por su alto poder bioenergético en la producción de biodiesel. Es una planta que pertenece a las Euphorbiaceae, originaria de México y Centroamérica, ampliamente cultivada en África, Asia y Centroamérica. Es una especie resistente a sequía y regiones con bajas precipitaciones, crece en suelos pobres y arenosos, en climas tropicales y subtropicales, en altitudes que varían de 0 a 1600 m (Zamarripa et al., 2009; Martínez, 2009). En el año 2005 se emprendió el cultivo de la *Jatropha curcas* L en etapa experimental, específicamente en Yautepec, Morelos, por iniciativa del

CEPROBI-IPN. Posteriormente, se establecieron plantaciones en Nuevo León, Sinaloa, Chiapas y Michoacán, para las cuales el CEPROBI-IPN contribuyó al proporcionar plantas de genotipos identificadas como no tóxicas (Martínez-Herrera, 2007).

El Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP), a través del proyecto “Estudio de Insumos para la Obtención de Biocombustibles en México”, que encabeza el doctor Alfredo Zamarripa-Colmenero, coordinador nacional de la Red de Investigación e Innovación en Bioenergéticos del INIFAP, tiene entre sus avances el mejoramiento genético. Un equipo de 75 investigadores, además de técnicos y personal de apoyo, trabajan desde el año 2007 en un macroproyecto mediante que comprende colectas en 14 entidades de México, para formar un Banco de Germoplasma de Piñón (*Jatropha curcas* L.) que tiene poco más de 400 accesiones, con 6 plantas o ejemplares por accesión. El banco está en el Campo Experimental Rosario Izapa, en Tuxtla Chico, Chiapas (Zamarripa et al., 2010).

El biodiesel presenta un efecto benéfico en el ciclo del carbono, debido que la combustión libera bióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera, pero ese CO_2 es captado y fijado más fácilmente por los vegetales en la formación de moléculas de fotoasimilados o azúcares primarios, principal fuente de energía para los diversos procesos fisiológicos de las plantas. Es posible cuantificar el crédito ambiental de un combustible renovable calculando la cantidad de fijación de CO_2 de una los cultivos, por ejemplo de una plantación de oleaginosas y compararlo con el CO_2 que genera y libera a la atmósfera, la combustión del biodiesel generada por dicha plantación (Paneque, 2009).

Tamaulipas cuenta con una superficie óptima para el cultivo de piñón de 317 690 ha, es el segundo estado de la república mexicana que registra la mayor superficie de cultivo, después de Sinaloa que ocupa el primer lugar con una superficie estimada de 557 641 ha, información recabada de la zonificación agroecológica para el establecimiento de plantaciones de *Jatropha* realizada por Zamarripa y col. (2009), basada en la altitud, pendiente de los terrenos, temperatura y precipitación. Entre las experiencias exitosas sobre plantaciones de genotipos tóxicos en el noroeste de México, destacan las plantaciones del cultivo de *Jatropha* establecidas bajo condiciones de riego y temporal, realizadas por Fundación Produce Sinaloa, en el municipio de Sinaloa de Leyva en el norte de Sinaloa, los resultados obtenidos fueron muy prometedores debido que se establecieron y manejaron con éxito los predios pilotos (Félix, 2008).

La Unión de Silvicultores y Empresarios Forestales de Tamaulipas, A.C. y la Universidad Autónoma de Tamaulipas firmaron un convenio de colaboración con la finalidad de apoyar a los Silvicultores y productores Forestales de la entidad en abril de 2009, dicho convenio incluyó apoyos y asesoría en la investigación, generación de técnicas y conocimientos; también se acordó participar en el Proyecto de la Unión de Silvicultores del Estado, para buscar alternativas de producción y generación de especies agrosilvícolas potenciales de uso para producir biocombustibles. Esto inició con la evaluación de genotipos no-tóxicos de *Jatropha curcas*, para desarrollar, transferir y aplicar tecnología en la obtención de biodiesel a partir de los recursos silvícolas y forestales con potencial en la entidad. Un grupo de investigadores del área de ciencias agronómicas de la

UAT en conjunto con el investigador titular y responsable técnico del proyecto, miembro del Colegio de Tamaulipas, inició con la investigación sobre el estudio exploratorio para el establecimiento de plantaciones de *Jatropha curcas* no tóxica en cuatro localidades del centro y sur del estado de Tamaulipas (Martínez-Saldívar, 2008).

El estudio exploratorio se realizó durante los años 2010 y 2011, para evaluar la adaptación de siete genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas* L. en diferentes tipos de suelos, condiciones ambientales, diferentes sistemas de riego, fuentes y calidades de agua de riego en las zonas centro y sur del estado de Tamaulipas, en los municipios de Hidalgo y Jaumave en el centro y suroeste y en el municipio de Gómez Farías en la región sur del estado de Tamaulipas, complementario del propósito fundamental del proyecto respectivo apoyado por fondos mixtos CONACyT-Gobierno del estado de Tamaulipas (Martínez-Saldívar, 2008). Debido que la mayor diversidad y cantidad de materiales genéticos, cinco genotipos de *Jatropha curcas* se establecieron en el rancho “El Chiflido” en el municipio de Gómez Farías, en dicho predio se realizaron las mediciones sistematizadas y periódicas de las variables de respuesta vegetativas. En este documento se hace una descripción general de las cuatro localidades, pero también se describen y analizan a detalle los resultados de las variables vegetativas observadas durante el periodo comprendido desde la etapa de trasplante realizado en el mes de junio de 2010 hasta octubre del 2011.

Metodología

Las semillas adquiridas de los siete genotipos de *Jatropha curcas* L. en los diferentes centros e institutos proveedores del respectivo material vegetativo colectado en Morelos, Puebla, Tlaxcala, y Veracruz; se sembraron en charolas de plástico, se cultivaron en macetas y se produjo la planta de *Jatropha curcas* L. en el Vivero Tecnificado Tamatán, propiedad de la Unión de Silvicultores del Estado de Tamaulipas. Para posteriormente seleccionar, preparar el terreno, establecer y trasplantar los respectivos genotipos de *Jatropha* en cuatro localidades o sitios experimentales como lotes demostrativos de plantaciones de *Jatropha*, con una extensión mínima de una hectárea cada uno, sitios de las zonas centro y sur del estado, para conocer su comportamiento agronómico, la adaptación al clima, con diferentes tipos y calidades de agua de riego, diferente sistema de riego, en diferentes suelos, de los genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas* L.

Sitio experimental	Municipio	Latitud N	Longitud W	Altitud (m)
Rancho “La Coma”	Jaumave	23° 25' 00”	99° 23' 02”	738
Rancho “Los Cheles”	Hidalgo	24° 02' 25”	99° 12' 55”	235
Rancho “El Chiflido”*	Gómez Farías	22° 59' 48.5”	99° 04' 25”	101
Rancho “Las Quientas”*	Gómez Farías	22° 52' 58.5”	99° 04' 07”	75

Tabla 1. Ubicación geográfica de los sitios de investigación en el Centro y Sur de Tamaulipas.

Nota: *Medidos con GPS.

Fuente: elaboración propia.

La distribución de los diferentes genotipos estudiados de acuerdo a su ubicación geográfica y diferentes condiciones climáticas de las cuatro localidades seleccionadas se muestran en la Tabla 1.

Los métodos y sistemas de riego que se utilizaron en los predios de los sitios experimentales son muy diversificados basados en las condiciones e infraestructura disponible en los ranchos. Debido a su forma de aplicación los sistemas de riegos localizados de goteo y microaspersión instalados en los ranchos “El Chiflido” y “Las Quinientas” son los más eficientes. En el periodo comprendido del 15 de enero al 20 de mayo del año 2011 se aplicaron variadas láminas de riego (LR) de 6.59 cm en El Chiflido” y de 5.92 y 16.96 cm en el rancho “Las Quinientas” en goteo y microaspersión respectivamente en el municipio de Gómez Farías, éstos son considerados además de riegos más tecnificados, más eficientes en el ahorro de energía, mano de obra y volumen de agua aplicado al cultivo de *Jatropha* (Tabla 2).

Tabla 2. Concentrado de láminas horarias y láminas de riego acumuladas aplicadas del 15 de enero al 31 de mayo del 2011, por tipo de sistema de riego en los diferentes Sitios Experimentales. Nota: *Lámina de riego aplicada por tandeo mensual. TR Acum. es el tiempo de riego acumulado en el periodo; LRAcum es la lámina de riego acumulada en el periodo; N.D. es dato no disponible.

¹(5 riegos)

Fuente: Elaboración propia.

Sitio experimental	Sistema de riego	Separación entre líneas de riego	Distancia entre emisores	Gasto del emisor	Lámina horaria	TR Acum (Hr)	LR Acum. (cm)
“El Chiflido”, Gómez Farías	Presurizado-Goteo Tipo-Cinta	3.0 m	0.2 m	0.869 L/Hr	1.433 mm	46	6.59
“Las 500”, Gómez Farías	Presurizado-Microaspersión	3.0 m	2.0 m	25.43 L/Hr	4.24 mm	40	16.96
“Las 500”, Gómez Farías	Presurizado-Goteo Tipo Cinta	3.0 m	0.2 m	0.598 L/Hr	0.987 mm	60	5.92
“Los Cheles”, Hidalgo	Presurizado-Aspersión Semiportátil	9.0 m	9.15 m	N.D.	14.0 mm	47.5	66.50
“La Coma”, Jaumave	Superficial-Melgas	Var.	No aplica	60 L/seg	17.28 cm*	70 ¹	86.4

Al comparar los tiempos y láminas de riego de los sistemas de riego de los sitios del centro del estado, en los cuales se utiliza sistema de riego por aspersión en el rancho “Los Cheles” de Hidalgo y el sistema de riego por superficie o tradicional en el rancho “La Coma” de Jaumave, las láminas de riego totales aplicadas rebasaron varias veces las LR aplicadas en los riegos localizados, en Hidalgo donde hasta el 20 de mayo se aplicó una LR acumulada de 66.5 cm, comparada con los sistemas de riego localizados utilizados en el sur del estado, en promedio en riego por aspersión se ha aplicado diez veces la lámina total que se ha aplicado en riego por goteo y cinco veces la lámina de riego que ha sido aplicada en riego por microaspersión; aunque hay que mencionar que en el rancho “Los Cheles” la *Jatropha* estuvo asociada con árboles de cítricos mayores de 25 años, los cuáles indujeron la demanda hídrica y requerimiento de aplicación del volumen de agua de riego.

A principios de febrero del 2011 se presentó una onda gélida que afectó de gravedad a las plantas de los predios de *Jatropha* establecidos en las localidades en estudio en el centro del estado. Si al efecto meteorológico de las

bajas temperaturas se le adiciona que la asociación de cultivos *Jatropha*-Alfalfa planeado y establecido en Jaumave, donde se utilizó riego superficial, y puesto que el cultivo de alfalfa requiere de la aplicación de grandes láminas de riego superiores al que requieren la mayoría de los cultivos, debido que es un cultivo con grandes requerimientos hídricos en condiciones semiáridas características de la cabecera municipal de Jaumave con usos consuntivos que oscilan de 6 a 8 mm/día (Enciso y Col., 1998). Este tipo de asociación de cultivos *Jatropha*-Alfalfa en esas condiciones climáticas y manejadas con riego superficial y con agua de baja calidad, es la menos recomendable.

**Sitio experimental rancho “El Chiflido”,
Gómez Farías, Tamaulipas**

El estudio exploratorio de adaptación ambiental de cinco genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas*, utilizó materiales vegetativos procedentes de colectas y selecciones de semillas obtenidas a través de la Unión de Silvicultores y Empresarios Forestales de Tamaulipas, A.C. Se utilizaron semillas del CEPROBI-IPN del estado de Morelos, del Centro de Biotecnología Aplicada del IPN en Tlaxcala, del estado de Guerrero y semillas procedentes de colectas de plantas nativas de Papantla, Veracruz.

La investigación se realizó en dos etapas, la etapa inicial de siembra se efectuó el 15 de marzo de 2010 en charolas. Las plantas posteriormente se trasplantaron a macetas ubicadas en el vivero tecnificado de Tamatán, en Ciudad Victoria, Tamaulipas. La segunda etapa, la de trasplante en campo, se efectuó del 30 de junio al 2 de julio de 2010, en esta segunda etapa del estudio que se terminó el 30 de octubre de 2011, comprendida a partir de establecimiento en campo, crecimiento y adaptación climática de las plantas de los cinco genotipos se realizó en una superficie de una hectárea.

Para tener una buena distribución topológica se utilizó un marco de plantación de 3.0 m x 2.0 m, tres metros entre hileras orientadas de norte a sur y dos metros entre plantas, para obtener una densidad de población de 1 667 plantas por hectárea. Esto se hizo para facilitar las labores culturales, chapoleo mecánico y en algunos casos la labor de rastreo en las calles, así como, para facilitar las labores de recolección de frutos (cosecha), cada genotipo quedó separado por una calle de 4.0 m de ancho alineada en sentido perpendicular a las hileras (Figura 3).

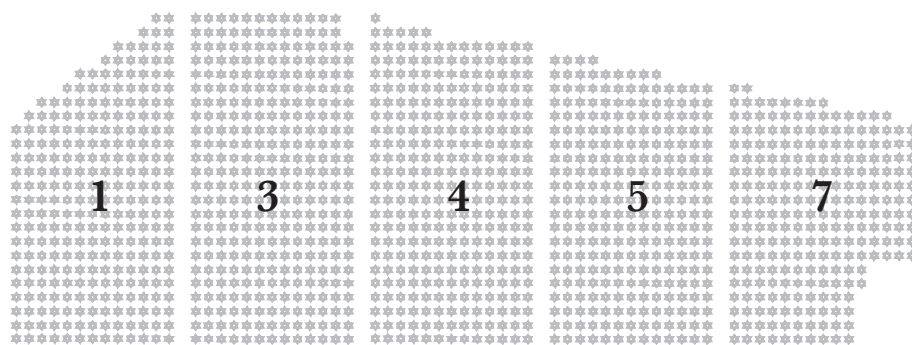


Figura 3. Distribución topológica y marco de plantación de los cincogenotipos, en el Rancho “El Chiflido”, Gómez Farías, Tamaulipas (Sotres, 2012).

El predio se encuentra en la carretera nacional México-Laredo en el km 128 del tramo Ciudad Mante–Ciudad Victoria. El clima predominante de la región es semi-húmedo cálido con temperatura media anual de 24.8o C, una precipitación promedio anual de 1,040.6 mm y una evaporación de 1 572 mm (CNA, 2005).

Análisis de las propiedades físicas, químicas y de fertilidad del suelo, y calidad de agua de riego

Se realizó un muestreo de suelos en el predio, se recogieron 20 submuestras a una profundidad de 0-30 cm, se colectaron cuatro submuestras de suelo por subparcela o genotipo. Las muestras de suelo representativa del predio, así como, la muestra de la fuente de alimentación del agua de riego se enviaron para sus análisis a “Laboratorios A-L de México, S.A. de C.V.” en Guadalajara, Jalisco.

Tabla 3. Resultados del análisis de textura y capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Fuente: elaboración propia, resultados de análisis de Laboratorios A-L de México, S.A. de C.V.

Característica	Componente textural			Situación catiónica					Relación K/Mg adimensional
	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	H (%)	Na (%)	
Suelo arcilloso									
CIC: 53.8 meq/100 g	61.2	23.6	15.2	1.1	94.1	3.8	0.0	1.0	0.29

El suelo es de textura arcillosa con un alto contenido de arcilla de 61.2% (Trejo-Cabrera, 2009), tiene un pH de 7.8, es medianamente alcalino; la conductividad eléctrica del extracto de saturación, el tipo y cantidad de sales alcalinotérricas, evidencia y manifiesta las características alcalinas de los suelos calcáreos característicos de zonas subtropicales y semiáridas del noreste de México (Tabla 3).

En los parámetros de fertilidad del suelo, presenta una capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, un buen nivel de fertilidad capacidad de cambio con un valor de 53.8 meq/100 gr de suelo, denota la gran disponibilidad de cationes de cambio y la fertilidad del suelo de este predio (Tabla 3); presentó un contenido medio de materia orgánica de 3.3% otro indicador de la fertilidad del suelo, la cual es la materia prima para la producción de nitrógeno mineralizado por los microorganismos principalmente las bacterias del suelo. Los análisis de calidad del agua utilizada en el riego determinan con base en una serie de indicadores y a la concentración relativa de los diferentes tipos de iones disueltos, el efecto e impacto que ocasionan sobre las propiedades del suelo así como el daño potencial sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Ortiz, 1997; Aguilera y Martínez, 1996). Basado en los resultados del laboratorio, la calidad del agua utilizada presenta un pH de 7.8, ligeramente alcalina, con un RAS de 1.33 meq/L, 755 mg/L de sólidos disueltos totales (SDT), contiene 153 mg/L de calcio, 397 mg/L de bicarbonatos y 190 mg/L de sulfatos, los cuales debido a la precipitación de bicarbonatos y carbonatos de calcio y magnesio, así como a la evaporación de sulfatos y bicarbonatos provocan el taponamiento de los goteros del sistema de riego. La interpretación de los cálculos de indicadores de la calidad del agua y sus problemas de afectación en los suelos es una manera de evaluar los riesgos potenciales de salinización y alcalinización de los predios y sus afectaciones a los cultivos objetivo o establecidos al utilizar las aguas de riego, en consecuencia

realizar una estimación más real del peligro que presentan las sales del agua de riego en las propiedades físicas y químicas del suelo, de acuerdo a lo mencionado por Ortiz (1994), Aguilera y Martínez (1996), Llanos (1999) y Castellanos et al. (2000).

Láminas de riego aplicadas y precipitaciones presentadas.

A través del sistema de riego por goteo, desde el 15 de enero hasta el 29 de septiembre del 2011 se aplicó una lámina acumulada de 105 mm, en ese año las precipitaciones pluviales fueron muy erráticas o atípicas, debido que la mayor cantidad de lluvia se presentó cuando en el estado de Tamaulipas azotó el huracán “Arlene”, a finales del mes de junio de 2011, la cantidad de lluvia acumulada por este meteoro fue de 332.3 mm, que corresponde al 40.52% de la precipitación acumulada normalmente hasta septiembre, de acuerdo a los registros históricos del Campo Experimental del Ingenio de Xicoténcatl (2008), basado en los datos del 2011, se registró una precipitación total de 590.6 mm, un año con problemas de sequía y el valor más crítico históricamente en los últimos 25 años.

Podas. La primera poda realizada fue la eliminación de yemas y brotes laterales del tallo principal de los genotipos, ésta se realizó a 0.40 m de altura del tallo principal, en el periodo del 05 de abril al 11 de abril de 2011. Durante el proceso de la poda se llevaron a cabo todas las precauciones necesarias para prevenir la entrada o ataque de fitopatógenos. La segunda poda, fue de formación con la finalidad de constituir el tallo principal de la planta de manera similar como se maneja esta práctica en un árbol frutal, para formar “la tinajera” o soporte de las ramas secundarias, dicha práctica se realizó del 13 al 16 de junio de 2011 (Figuras 4 y 5).



Fig 4



Fig 5

*Figura 4. Aspecto post-poda de formación en cinco genotipos de la plantación de *Jatropha curcas*, 15 de junio de 2011, Rancho “El Chiflido”, Gómez Farias, Tamaulipas.*

*Figura 5. Plantación de cinco genotipos de *Jatropha curcas*, dos meses post-poda, con manejo de conservación del suelo en el rancho “El Chiflido”, Gómez Farias, Tamaulipas.*

Fuente: elaboración propia

Las condiciones ambientales imperantes a principios del mes de julio, principalmente temperaturas y humedades relativas altas fueron condiciones ambientales idóneas para la presencia de fitopatógenos que incidieron sobre los tallos, posterior a la poda de formación, realizada a mediados del mes de junio, los cuales se estima fueron la combinación de factores desencadenantes para que se presentaran los problemas de enfermedades, con mayor susceptibilidad en el genotipo 3 el cual presentó un 38.94% de tallos afectados, el genotipo 4 presentó un 6.30% de tallos enfermos y el resto de los genotipos (1, 5 y 7) presentaron menos del 2.40% de tallos afectados. El nivel de incidencia y virulencia de los patógenos que producen la pudrición de los tallos de las plantas, presentaron un

ambiente idóneo para su ataque en la primera quincena de julio de 2011, después de los remanentes de lluvias del huracán “Arlene” que azotó a Tamaulipas a finales de junio y principios de julio de 2011.

Diseño experimental y tratamientos

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con seis repeticiones por tratamiento (genotipo) cada planta seleccionada aleatoriamente, representó una unidad experimental, Martínez-Garza (1994). Para la validación estadística post-poda, a partir de los datos del número de ramas secundarias y altura por planta, medidas periódicamente desde Julio de 2011 hasta la finalización del experimento se utilizó un análisis de varianza de bloques con submuestreo en las unidades experimentales (las ramas secundarias por planta), los datos se analizaron con el paquete de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5 (Olivares, 1994).

Variables agronómicas. Se analizaron las siguientes: diámetro basal del tallo principal (10 fechas), la altura de planta hasta antes de poda de formación (7 fechas), número de ramas secundarias o laterales (14-07-2011), longitud de ramas secundarias en tres fechas post-poda (14-07-2011, 15-08-2011 y 20-09-2011). Se realizaron diez fechas de mediciones de variables vegetativas y de crecimiento.

Resultados y Discusión

Diámetro basal del tallo. El periodo de medición del diámetro basal del tallo se realizó en diez fechas consecutivas, los datos se registraron mensualmente. Iniciaron el 04 de noviembre del 2010 a 4.1 MDP y se concluyeron el 20 de septiembre de 2011 a 14.5 MDP, al realizar el análisis estadístico por fecha, sólo se encontró diferencia estadística significativa ($Pr > F = 0.023$) en los diámetros medidos el 08 de diciembre de 2010 en los cinco genotipos, a los 5.2 meses después de plantado (MDP), en el resto de las mediciones realizadas no se encontró diferencia estadística significativa entre los diámetros basales de los cinco genotipos estudiados.

Al aplicarle el análisis estadístico de la prueba de medias (Tukey $\alpha=0.05$) del diámetro basal del tallo a los 5.2 MDP antes de la poda, indicó que el genotipo 3 presentó el diámetro basal mayor de 3.10 cm, significativamente diferente con respecto al diámetro basal que presentó el genotipo 5 que tuvo un promedio de 2.20 cm, los tres genotipos restantes no presentaron diferencia estadísticas significativas entre sus diámetros.

Altura de la planta desde trasplante hasta la poda de formación. La medición de la altura de las plantas en la primera etapa estuvo comprendida del 04 de noviembre de 2010 a los 4.1 MDP los cinco genotipos hasta mediados de junio de 2011 a los 11.3 MDP, al realizarse la poda de formación a 0.40 m de altura del tallo principal. Al realizar el análisis estadístico los resultados no mostraron que hubiera una diferencia estadísticamente significativa en la altura promedio de los cinco genotipos, pero es importante mencionar, que las mayores alturas las presentaron los genotipos 4 y 1, con 146 y 143 cm respectivamente. En este análisis estadístico de la altura de la planta de *Jatropha* se obtuvieron coeficientes de variación que oscilaron de 34.52% en el mes de noviembre

hasta 17.87% en el mes de junio. El genotipo 3 mantuvo la mayor altura de planta desde el inicio del trasplante hasta el mes de mayo de 2011 a los 10.4 MDP, en esta etapa presentaba una altura media de 105 cm, posteriormente disminuyó su vigor de crecimiento. Después del mes de abril de 2011 a los 9.3 MDP fue muy notorio el incremento del crecimiento de las plantas de los genotipos 4 y 1, lo cual puso de manifiesto en estos materiales genéticos tanto, el nivel de adaptación edáfico-ambiental, tanto su respuesta a la poda por el número de brotes laterales realizada el 11 de abril de 2011 así como, como el mejor aprovechamiento nutrimental de las aplicaciones de fertilizantes al suelo realizada en el mes de marzo y la serie de aplicaciones foliares realizadas durante esta etapa, que concluyó con la poda del tallo a mediados de junio de 2011.

El periodo de reposo vegetativo presentado a principios de diciembre de 2010 que tuvieron los cinco genotipos de *Jatropha*, el cual es característico de especies vegetales caducifolias, como la *Jatropha*. Dicho concluyó hasta principios de abril de 2011, el reposo vegetativo se mantuvo a pesar de haber iniciado la aplicación del riego por goteo desde el 15 de enero de 2011, por lo tanto, en ésta región antes del mes de marzo no es necesaria la aplicación del riego. Posterior a las aplicaciones de fertilizantes al suelo, control de plagas y aplicaciones de fertilizantes foliares, combinado con las condiciones ambientales adecuadas para esta planta se denotó el crecimiento tanto en el diámetro como en altura a finales del mes de marzo. El crecimiento promedio del tallo en los cinco genotipos fue de 43.1 cm en el periodo del 4 de abril al 12 de mayo y de 87.4 cm en el periodo del 12 de mayo al 10 de junio de 2011. Las tasas de crecimiento de los genotipos de *Jatropha* evaluados en este estudio se incrementan exponencialmente en primavera y verano.

Número de ramas secundarias post-poda de formación y longitud de ramas secundarias. Posterior a la poda de formación del tallo principal realizada a una altura de 0.40 m a partir de la superficie del suelo, se realizó el conteo del número de ramas secundarias producto de las yemas laterales que aparecieron posterior a esta práctica de formación de “tinajera”. Al realizar el análisis estadístico o análisis de varianza, el resultado no mostró que hubiera una diferencia estadísticamente significativa entre los cinco genotipos, a pesar que se tuvieron plantas con 2 y 8 ramas secundarias, con un promedio general de 5 ramas secundarias por genotipo. La Tabla 15 muestra las comparaciones de las longitudes medias que presentaron las ramas secundarias a los 12.4 MDP, los genotipos 1 y 4 presentaron las magnitudes mayores en longitud con valores de 28.4 y 21.4 cm, los menores valores los presentó el genotipo 3 con una longitud media de 12.4 cm, lo cual denota el grado de afectación de la pudrición del tallo que afectó severamente a este genotipo. Para la última medición del periodo de estudio, de la longitud de las ramas secundarias realizada a 14.5 MDP, los genotipos 7, 4, 5, y 1 presentaron longitudes similares, pero significativamente diferentes con respecto al genotipo 3, que presentó el valor más bajo de 52 cm. Corroborando aún más, las secuelas en disminución del vigor de las plantas de este genotipo que fueron las más susceptibles al ataque de fitopatógenos que produjeron la pudrición del tallo.

Conclusiones

Rancho “El Chiflido”, Gómez Farías, Tamaulipas

Los genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas* L. evaluados, presentan poca demanda hídrica en su fase de crecimiento inicial, considerando la validez de esta información sólo hasta los 15 meses después de plantados, en crecimiento de meristemas primarios y secundarios antes del desarrollo y/o fructificación de las plantas, y con el uso de un sistema de riego presurizado tipo cinta de goteo.

En los primeros meses de plantado y antes de realizar la poda de formación del tallo principal, el genotipo 3 presentó el mayor diámetro, y el menor diámetro lo presentó el genotipo 5, los mayores diámetros del tallo y alturas de planta la presentaron los genotipos 4 y 1. Las tasas de crecimiento de los genotipos de *Jatropha* evaluados en este estudio se incrementan exponencialmente en primavera y verano.

Los cinco genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas* L. evaluados en este sitio, no presentaron diferencias estadísticas en el número de ramas secundarias después de la poda de formación. Las mayores longitudes de ramas secundarias las presentaron los genotipos 4, 1 y 7 al primer y tercer mes después de la poda. El genotipo 3 fue el que presentó la mayor precocidad en la floración y formación de frutos, pero también presentó una gran susceptibilidad a la enfermedad pudrición del tallo, debido a las condiciones cálidas y húmedas que imperaron inmediatamente después de las lluvias, característicos del verano en esta región. Basado en los parámetros vegetativos analizados en este estudio que son el diámetro y la altura de la planta, el número y longitud de ramas secundarias post-poda de formación, la mejor adaptación ambiental la presentaron los genotipos 4 y 1, de los genotipos no tóxicos de *Jatropha curcas* L., cultivados en un suelo arcilloso.

Bibliografía

- Aguilera. C.M. y R. Martínez E. 1996. Relaciones agua-suelo-planta-atmósfera. 3ª ed. Universidad Autónoma Chapingo, México. 256 pp.
- Castellanos, J. Z., J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. 2ª. ed. Intagri. 201 pp.
- Cervantes, S.M.A. 2006. Proyecto MDL (Mecanismos de Desarrollo Limpio). Presentación Electrónica. Reunión INIFAP-SEMARNAT sobre producción de Biodiesel en México. 21 de Abril de 2006. México, DF.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 2005. Normales climatológicas de estación meteorológica del ingenio Mante, Subgerencia Regional Golfo Norte, Cd. Victoria, Tam., México.
- Enciso, M. J., J.C. Herrera P. y E. Peña P. 1998. Manual para planificar la tecnificación del riego parcelario. Ed. CNA-IMTA, México. 107 Pp.
- Félix, M. J.G. 2008. Experiencias en el manejo del cultivo de *jatropha* bajo condiciones de riego y temporal en el norte de Sinaloa. Fundación Produce, Sinaloa, A.C. 24 pp.

- Henning, R.K. 1998. Use of *Jatropha curcas* L. (JCL): A household perspective and its contribution to rural employment creation. Regional Workshop on the Potential of *Jatropha curcas* in Rural Development & Environmental Protection. Harare, Zimbabwe. Mayo, 1998. 5 p.
- Llanos, P. 1999. Parámetros para la evaluación de la calidad de agua para riego. Artículo No. 3, Vol. 1, Abril de 1999. En sitio web: www.walcoagro.com.
- Martínez-Garza. A. 1994. Experimentación Agrícola, Métodos Estadísticos. Universidad Autónoma Chapingo, México. 357 pp.
- Martínez, H. J. 2007. El piñón mexicano: una alternativa bioenergética para México. Revista Digital Universitaria, UNAM. Vol. 8 Núm. 12, 10 pp.
- Martínez, H. J. 2009. La *Jatropha curcas* como un nuevo cultivo en México para la producción de biodiesel. En: Memorias de Capacitación de Jornadas sobre producción de biocombustibles y sus perspectivas para Sinaloa. Fundación Produce, Sinaloa, A.C. 58 pp.
- Martínez-Saldívar, M.L. 2008. Desarrollo de Tecnología y Rentabilidad para el Establecimiento y Manejo de Plantaciones Comerciales de *Jatropha curcas* L. en el Estado de Tamaulipas. Proyecto de investigación: TAMPS-2009-C22-123622, Fondo Mixto, CONACYT- Gobierno del Estado de Tamaulipas.
- Niño-García, N., G. Sánchez-Ramos, A. Mora-Olivo, L.M. Pérez-Quilantán. 2012. Controversia en la producción de biodiesel. Caso: *Jatropha* en Tamaulipas. Ciencia Uat 24(2) 06-13.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete de diseños experimentales FAUANL. Versión 2.5. Facultad de Agronomía, UANL, Marín, N.L., México.
- Ortíz, O. M., 1997. La calidad de las aguas de riego. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México. 53 pp.
- Paneque, M. 2009. Contexto internacional en la producción de biocombustibles. En: Memorias de Capacitación de Jornadas sobre producción de biocombustibles y sus perspectivas para Sinaloa. Fundación Produce, Sinaloa, A.C. 58 pp.
- Sotres, E., J.E. 2012. Respuesta ambiental de cinco genotipos de *Jatropha curcas* L. en Gómez Farías, Tamaulipas. Tesis de Licenciatura Ingeniero Agrónomo, Unidad Académica Multidisciplinaria Mante, UAT. 65 pp.
- Trejo-Cabrera, A. 2009. Muestreo e identificación de predios cañeros con presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno en tres municipios del sur de Tamaulipas. Tesis de Licenciatura de la Carrera de Ingeniero Agrónomo, UAM Mante de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. 78 pp.
- Zamarripa-Colmenero, A., P.A. Ruíz-Cruz; J.L. Solís-Bonilla; J. Martínez-Herrera.; A. Olivera de los Santos y B.B. Martínez-Valencia. 2009. Biocombustibles: perspectivas de producción de Biodiesel a partir de *Jatropha curcas* L. en el trópico de México. Folleto Técnico núm. 12. INIFAP-Campo Experimental Rosario Iztapa, Tuxtla Chico, Chiapas, México. 46 pp.
- Zamarripa, C. A., Pecina, Q.V., Avendaño, A.C.H., Solís, B.J.L. y Martínez, V.B.B. 2010. Genetic diversity of Mexican germplasm collection of *Jatropha curcas* L. En Proceedings 18th European Biomass Conference and Exhibition 2010. Lyon, France, pp 542-543.

Biorrefinerías, una alternativa para la sustentabilidad

Biorefineries, an alternative for sustainability

*Benigno Ortiz-Muñiz³⁵

Jorge Arturo Mendoza-Sosa

Javier Gómez-Rodríguez

María Guadalupe Aguilar-Uscanga

Resumen

*Instituto Tecnológico de Veracruz, Av. Miguel A. de Quevedo 2779 Col. Formando Hogar, CP. 91860, Veracruz, México.
Contacto: mc.benigno@gmail.com

Las biorrefinerías son instalaciones que permiten la transformación de biomasa a productos de interés industrial, combustibles y energía, presentando tasas de retorno energético (TRE) favorables y mitigando la huella de carbono, garantizando el desarrollo sustentable. Existen diferentes clasificaciones de las biorrefinerías, siendo posible clasificarlas en función de la biomasa empleada: de azúcares, de triacilglicéridos y de lignocelulosa. Las biorrefinerías con plataformas bioquímicas han tenido un mayor impacto a nivel industrial que aquellas que emplean plataformas químicas. En México se han dado los primeros pasos para la instalación de plantas productoras de etanol, exigiendo por normatividad una $TRE = 1.8$. La instalación de biorrefinerías conlleva no sólo el desarrollo tecnológico, sino también la disminución del impacto ambiental y a su vez, permite impulsar el desarrollo económico del campo, por lo que genera fuentes de empleo y riqueza que permitirán mejorar la calidad de vida de la sociedad.

Abstract

Biorefineries are facilities that allow the conversion of biomass products of industrial interest, fuel and energy, presenting appropriate Energy Returned on Invested (EROI) and mitigating the carbon footprint, ensuring sustainable development. There are different classifications of biorefineries, sort being possible depending on the biomass used in: sugar, triacylglycerol and lignocellulose. Biorefineries with biochemical platforms have had a greater impact on an industrial level that those using chemical platforms. Mexico has taken the first steps for the installation of ethanol plants, by regulations requiring $EROI=1.8$. Biorefineries installation involves not only technology development but also reduce environmental impact and in turn, can boost economic development of the field, which generates jobs and wealth that will improve the quality of life of society.

Introducción

Una biorrefinería es la instalación para el procesamiento sustentable de biomasa en un espectro de productos para el mercado y la producción de energía (IEA

Bioenergy Task 42 on Biorefineries). El Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos define a una biorrefinería como una planta de procesamiento en donde la biomasa es convertida en un espectro de productos de valor agregado; mientras que el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), perteneciente al DOE, establece que es una instalación que facilita los procesos de conversión integral de la biomasa y equipos para producir combustibles, energía y químicos de de valor agregado desde la biomasa, siendo el concepto de biorefinería análogo a la refinería de petróleo (NREL, 2009).

En las refinerías de petróleo, éste es transformado para la obtención de compuestos empleados como combustibles (gasolina, diésel, aceites pesados, entre otros) y la obtención de moléculas denominadas bloques de construcción que para la síntesis de más de 2000 de compuestos con aplicabilidad en diferentes industrias. Los bloques de construcción son de diferente número de átomos de carbono como el metano, etano, propileno, butileno, y los bloques cíclicos como el benceno y el tolueno. En la refinerías de biomasa, la bioenergía y los biocombustibles son obtenidos mediante la obtención de bioetanol, biodiesel, bioaceite, biogás, biohidrógeno, biocarbón y los pellets; y los bloques de construcción son moléculas que van desde uno a seis carbonos, incluyendo moléculas con carbonos quirales donde solo uno de los isómeros se encuentra presente. También existen bloques de construcción de tipo aromático, así como la posibilidad mediante el empleo de las proteínas de obtener polímeros de interés.

Los productos de interés que se pueden obtener a partir de las biorrefinerías de biomasa tienen diferentes usos. Por ejemplo, por sus aplicaciones: industriales, en la obtención de inhibidores de corrosión y lubricantes; textiles, para fibras, nylon, tejidos, colorantes; agrícolas, para pesticidas y fertilizantes; alimentarias, para conservadores, vitaminas, empaques; medio ambientales, para floculantes y quelantes; en comunicaciones, para la obtención de cristal líquido, fibra óptica; en construcciones, para la producción de pinturas, resinas, cementos, adhesivos; en la salud e higiene, debido a que se pueden obtener detergentes, cosméticos y farmacéuticos. En el 2008, los principales productos obtenidos a partir de biomasa por volumen de producción fueron el etanol (32×10^6 Ton), la glucosa (20×10^6 Ton), la fructosa (10×10^6 Ton), el ácido acético (7×10^6 Ton), el ácido L-glutámico (1.5×10^6 Ton), el butanol (1.2×10^6 Ton), el sorbitol (1.1×10^6 Ton) y el ácido cítrico (1×10^6 Ton) (Menrad, Klein, & Kurka, 2009).

Biomasa

La biomasa es cualquier materia orgánica renovable disponible y de acuerdo a su naturaleza química se puede clasificar en biomasa de triacilglicéridos, de azúcares y almidones, y lignocelulósica (Maity, 2015).

La biomasa de triacilglicéridos consiste en aceites vegetales, animales, algas y desechos. En este tipo de biomasa, se presentan como bloques constructores al glicerol y a los ácidos grasos, los cuales están unidos mediante enlaces éster formando triacilglicéridos. El perfil de ácidos grasos varía dependiendo de su origen y de las condiciones edafológicas. La biomasa de azúcares, es reconocida generalmente como los cultivos ricos en sacarosa, como la caña de azúcar y el sorgo dulce; mientras que la biomasa de almidones es

aquella que presenta un alto contenido en esta macromolécula, como la papa y el maíz. Los bloques constructores en el caso de la sacarosa son la glucosa y la fructosa unidos por un enlace glucosídico; y en el caso del almidón el bloque constructor es la glucosa y para el caso de la amilosa se presentan enlaces α -1,4 glucosídicos y para la amilopectina se tienen enlaces α -1,4 y α -1,6 (Figura 1).

La biomasa lignocelulósica está formada por celulosa (40-50%), hemicelulosa (25-35%) y lignina (15-20%). En el caso de la celulosa el bloque constructor es la celulosa de enlaces β -1,4; para la hemicelulosa se presentan cinco bloques constructores: la xilosa, la arabinosa, galactosa, glucosa y manosa. Para la lignina los bloques constructores son compuestos aromáticos como el alcohol cumárico y los enlaces son muy diversos (Figura 2).

Figura 1. Química de la biomasa de triacilglicéridos, azúcares y almidones (Maity, 2015).

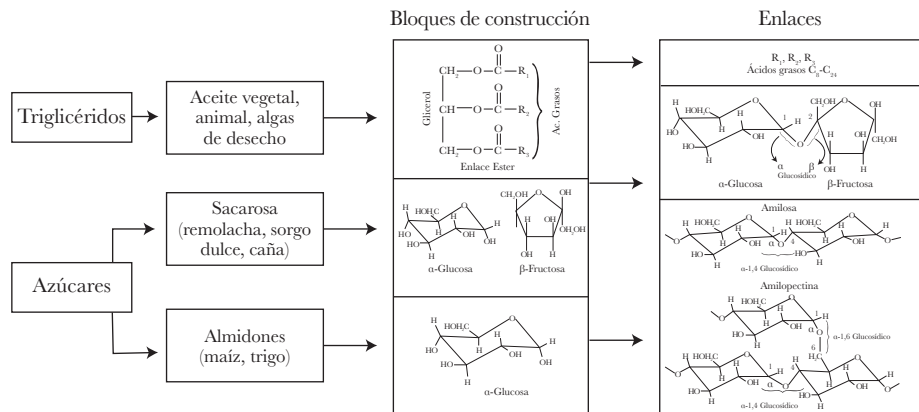
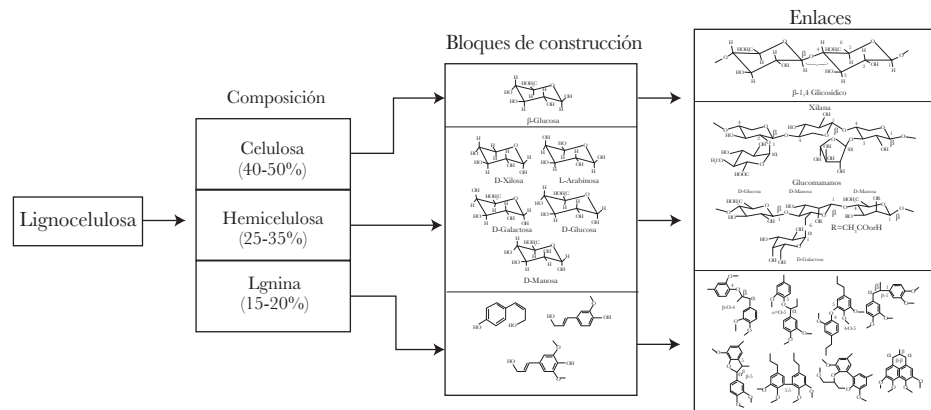


Figura 2. Química de la biomasa lignocelulósica (Maity, 2015).



Por su uso en biorrefinerías, la biomasa se clasifica en: cultivos energéticos, como el sorgo dulce y la higuera; los residuos agrícolas, como el rastrojo de maíz y la cascarilla de arroz; los residuos forestales, como el aserrín; y finalmente, los desechos municipales.

Clasificación de las biorrefinerías

Durante el desarrollo de las biorrefinerías se han propuesto tres fases (Clark, Luque, & Mathar, 2012). Las biorrefinerías de la fase I, son aquellas donde los procesos son fijos destinados a un solo producto empleando solo una materia prima. Un ejemplo sería una planta productora de biodiesel a partir de semillas de girasol, que son trituradas para la extracción de aceite, el cual es sometido

a una trans-esterificación usando metanol y un catalizador para obtener el biodiesel. Las biorrefinerías de fase II son aquellas enfocadas a obtener diversos productos a partir de una sola materia prima. Esto les permite una mayor flexibilidad en el procesamiento que puede ser orientado de acuerdo a la demanda, precios y obligaciones de contrato. Un ejemplo de esta fase es una biorrefinería que puede producir polímeros, aminoácidos y biocombustible a partir de granos de cereal, como el trigo como una fuente de materia prima. Las biorrefinerías de fase III son las más avanzadas debido a que pueden utilizar una combinación de diversas materias primas para dar lugar una amplia variedad de productos mediante una combinación de tecnologías. A su vez, las biorrefinerías de fase III pueden ser clasificadas dependiendo de la materia prima utilizada (verde, cereales, lignocelulosa o marina), la tecnología empleada (bioquímica o termoquímica) y la generación del combustible producido (primera, segunda o tercera generación).

El Laboratorio Nacional de Energía Renovable del Departamento de Energía de los Estados Unidos (US DOE/NREL), propone la clasificación de las biorrefinerías en función de la tecnología empleada: con plataforma en azúcares, con plataforma termoquímica, con plataforma de biogás, con plataforma en cadenas ricas en carbono y con plataforma en productos de plantas.

Las tecnologías para la conversión empleadas en las biorrefinerías son desarrolladas casi siempre por la naturaleza química de la biomasa, es por ello que se ha propuesto una nueva forma de clasificarlas dependiendo de la naturaleza química de la materia prima (Maity, 2015) en biorrefinerías de triacilglicéridos, biorrefinerías de azúcares y almidones y biorrefinerías de lignocelulosa.

Las biorrefinerías de triacilglicéridos son aquellas que parten de las semillas con un alto contenido de aceite, el cual es extraído para obtener el aceite y una torta. El aceite puede ser sometido a diferentes procesos como: la transesterificación, para la obtención de biodiesel y glicerol; una pirolisis, para la obtención de diésel y gasolina; un reformamiento con vapor seco, para obtener gas de síntesis; entre otros. La torta es empleada para la producción de fertilizantes, hidrógeno, metano o bien, como materia prima para una biorrefinería de lignocelulosa.

En las biorrefinerías de azúcares y almidones, los azúcares son empleados directamente y, en el caso de los almidones éstos son degradados a su bloque constructor (glucosa), para ser empleados en procesos de fermentación para la producción de diferentes compuestos de interés como el ácido láctico, ácido succínico, ácido glutámico, etanol, acetona, butanol; o bien, en procesos termoquímicos, como catálisis en fase acuosa, para la obtención de compuestos aromáticos y alcanos o por ejemplo, en la procesos de deshidratación para la producción de 5-hidroxi-metil furfural y posteriormente, ácido levulínico.

Las biorrefinerías de lignocelulosa aplican pretratamientos de diferente naturaleza (físicos, químicos, fisicoquímicos y biológicos) a la biomasa para obtener los bloques constructores correspondientes de la lignina, hemicelulosa y celulosa. Los bloques constructores de la lignina son empleados para obtener compuestos aromáticos y coque. Los bloques constructores de la hemicelulosa (pentosas) y de la celulosa (glucosa) son empleados para reacciones de deshidratación, para

la obtención de 5-hidroxi-metil furfural y furfural, respectivamente; en procesos de fermentación y termofísicos para obtener etanol, acetona, butanol, alcanos (1 a 6 carbonos), compuestos aromáticos, hidrógeno, entre otros.

Biorrefinerías y sustentabilidad

El concepto de biorrefinerías involucra la integración de diferentes disciplinas, no únicamente la parte relacionada con los procesos que se llevan a cabo, sino también con los aspectos que conforman la instalación, puesta en marcha, operación; presentando la interacción con diferentes áreas como la biotecnología, la química verde, derecho ambiental y social, ingeniería de recursos naturales, ingeniería económica, ingeniería civil, ingeniería agroindustrial, ingeniería ambiental, la ingeniería de procesos, entre otras. Una biorrefinería representa la instalación para producir biocombustibles, energía y productos de interés mediante el aprovechamiento de los residuos, bajo un enfoque de desarrollo sostenible (Ghatak, 2011). Las biorrefinerías representan una oportunidad para la instauración de tecnologías sustentables que permitan la disminución de la huella de carbono, mediante la reducción de las emisiones de dióxido de carbono al ambiente, así como tener un balance energético favorable, al que se le conoce como la tasa de retorno energético (TRE), definido como la relación entre la energía producida y la energía empleada para producirla (Ballenilla & Ballenilla, 2007). Los procesos se consideran sostenibles cuando la TRE es mayor a uno; sin embargo este valor es el mínimo que representa una coherencia energética, por ejemplo, en México, la licitación de PEMEX P4LN029001 denominada: “Adquisición de etanol anhidro para el mezclado con gasolinas en terminales de almacenamiento y reparto (TAR) de Pemex-Refinación”, donde se establece que el TRE deberá tener un mínimo de 1.8, para garantizar la sustentabilidad energética (PEMEX, 2014). Formalmente, existen procesos reportados que han permitido alcanzar valores máximos de TRE de 8. Se vuelve indispensable el desarrollar y transferir tecnologías sustentables que permitan la producción de biocombustibles, energía y productos de interés con un enfoque sustentable, teniendo valores de tasa de retorno energético mayores a los que se han reportado en la actualidad de modo que permitan el desarrollo sustentable.

Biorrefinerías instaladas

Estados Unidos es uno de los países que migra hacia la instauración de biorrefinerías, debido en parte, por ser uno de los principales países consumidores de energía. En junio de 2015, se tenían 174 plantas de biodiesel instaladas, se construían 16 y en nivel propuesta existían 6; mientras que en Canadá existían 6 plantas instaladas y se estaba construyendo una en Mount Uniacke (Biodiesel Magazine, 2015). En Estados Unidos existían 214 plantas de etanol de primera generación instaladas, 4 en construcción y 12 a nivel propuesta. Para etanol de segunda generación existían 15 instaladas, 2 en construcción y 12 en propuesta. Los Estados Unidos tenían 229 plantas de etanol con una capacidad de producción de 15 547.06 millones de litros mientras que Canadá contaba con 21 instaladas (17 de primera generación y 4 de segunda generación) con una capacidad instalada de 1 987 millones de litros (Ethanol Producer Magazine, 2015).

Existe una gran cantidad de biorrefinerías instaladas a nivel mundial, por ejemplo, el grupo Abengoa Bioenergía, en 2010 contaba con 14 biorrefinerías instaladas en España, Alemania, Reino Unido, Francia, Estados Unidos y Brasil; las cuales produjeron en conjunto: etanol, 2 915 ML; biodiesel, 225 ML; azúcar, 645 000 t; glicerina, 18, t y 1 370 000 MWh, de electricidad, teniendo ingresos por 1 575.2 millones de Euros (Abengoa Bioenergy, 2010). Cabe destacar que al ser empresas económicamente viables permiten la mejora de la calidad de vida del entorno en el cual son instaladas, puesto que generan fuentes de empleo y zonas de desarrollo.

Las biorrefinerías con plataforma termoquímica (torrefacción y pirolisis) continúan siendo muy pocas a nivel industrial, por lo que el mayor desarrollo se ha tenido empleando las plataformas de azúcares, triacilglicéridos y lignocelulosa (Kuparinen, Heinimö, & Vakkilainen, 2014). En los últimos años se ha observado un mercado creciente en la demanda de biocombustibles en respuesta tanto al agotamiento del petróleo, como a los cambios en normativas tanto nacionales como internacionales que buscan mitigar el impacto ambiental.

Conclusiones

Las biorrefinerías son una opción para la mitigación del cambio climático al disminuir la emisión de gases efecto invernadero y al considerar en su balance de ciclo de vida desde la producción de la biomasa hasta el empleo del combustible producido. Representan no sólo una opción ambiental, sino también una opción tecnológica y social para permitir el desarrollo sustentable en diferentes regiones, evitando la centralización de éstas, tal como ocurre en las refinerías basadas en petróleo. Se han propuesto diferentes clasificaciones de biorrefinerías, sin embargo la clasificación en función de la biomasa empleada en ellas, permite el agruparlas de tal modo que permitan migrar, como sucede en la actualidad, a biorrefinerías capaces de procesar diferentes materias primas. Las biorrefinerías presentan viabilidad tecnológica, económica y ambiental, para el logro del desarrollo sustentable que permita mejorar la calidad de vida.

Bibliografía

- Abengoa Bioenergy. (2010). *Abengoa Bioenergy*. Recuperado el 14 de mayo 2015, de Informe Anual 2010: http://www.abengoabioenergy.com/export/sites/abg_bioenergy/resources/pdf/acerca_de/es/Informe_Anual_2010_1.pdf
- Ballenilla, M., & Ballenilla, F. (2007). La tasa de retorno energético. *El Ecologista*, 55, 24-58.
- Biodiesel Magazine. (08 de junio de 2015). *Biodiesel Magazine*. Recuperado el 29 de junio de 2015, de <http://www.biodieselmagazine.com/plants/listplants/USA/existing/>
- Clark, J. H., Luque, R., & Mathar, A. S. (2012). Green Chemistry, Biofuels, and Biorefinery. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 3, 183-207.
- Ethanol Producer Magazine. (9 de junio de 2015). *Ethanol Producer Magazine*. Recuperado el 29 de junio de 2015, de <http://ethanolproducer.com/plants/listplants/US/Existing/All>
- Ghatak, H. R. (2011). Biorefineries from the perspective of sustainability: Feedstocks, products, and processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 4042-4052.
- Kuparinen, K., Heinimö, J., & Vakkilainen, E. (2014). World's largest biofuel and pellet plants – geographic distribution, capacity share, and feedstock supply. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 8(6), 747-754.
- Maity, S. K. (2015). Opportunities, recent trends and challenges of integrated biorefinery: Part I. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1427-1445.
- Menrad, K., Klein, A., & Kurka, S. (2009). Interest of industrial actors in biorefinery concepts in Europe. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3(3), 384-394.
- NREL. (28 de septiembre de 2009). *National Renewable Energy Laboratory*. Recuperado el 29 de mayo de 2015, de What is a Biorefinery?: <http://www.nrel.gov/biomass/biorefinery.html>
- PEMEX. (2014). *Petróleos Mexicanos*. Obtenido de <http://www.pemex.com>

Eficiencia energética en el sector agroindustrial

Energetic efficiency in the agribusiness sector

*Angelina González-Rosas³⁶

Juan Marcelo Miranda-Gómez

Fabián Fernández-Luqueño³⁷

Resumen

³⁶Universidad Tecnológica de Tulancingo, Área Electromecánica Industrial. Ingeniería en Energías Renovables. C.P. 36432, Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México. Tél. 52-775-7558210 ext. 26. *Contacto: angelina_gora@hotmail.com

³⁷Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav, Unidad Saltillo). Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. Saltillo, Coahuila, México.

Desde que se reconoció la interrelación energía-medio ambiente ha sido más claro que la producción, transformación, transporte y uso de energía impactan la Tierra y que esos impactos ambientales están asociados con emisiones térmicas, químicas y nucleares. En este capítulo se presentan los cálculos para cuantificar la eficiencia energética en el sector agroindustrial, en particular, en sus sistemas de bombeo, los cuales requieren para su optimización una tarifa eléctrica apropiada, reducción de pérdidas en la instalación eléctrica y motores de inducción de alta eficiencia. Además, se presentan algunas tecnologías emergentes para reducir el consumo intensivo de energía tradicional en el sector agroindustrial y se explica cómo favorecemos el medio ambiente y promovemos el desarrollo sustentable al incrementar la eficiencia energética en el sector agroindustrial.

Abstract

Since the relationship between energy-environment was recognized, it has been clear that the production, processing, transport and energy use impacts the Earth and that these environmental impacts are associated with thermal, chemical and nuclear emissions. This chapter presents calculations to quantify the energy efficiency in the agribusiness sector, particularly in pumping systems, which require an appropriated electricity tariff, reduction of losses in the electricity network and a high-efficiency asynchronous motors. In addition, some emerging technologies are presented to reduce the intensive use of traditional energy in the agribusiness sector and explains how to favor the environment and promote sustainable development by increasing energy efficiency in the agribusiness sector.

Introducción

La relación entre energía y economía se comenzó a estudiar en los 70 y en esa década la relación entre energía y medio ambiente no recibió mucha atención. En los 80 la relación energía e impacto ambiental comenzó a considerarse y en 1987 se publicó “Nuestro Futuro Común”, documento en el que se definió Desarrollo Sustentable (Wright y Boorse, 2011). Desde que se reconoció la interrelación energía-medio ambiente ha sido más claro que la producción, transformación, transporte y uso de energía impactan la Tierra y que esos impactos ambientales están asociados con emisiones térmicas, químicas y nucleares, las cuales son consecuencia necesaria de los procesos que proveen beneficios a la sociedad (Dincer y Rosen, 2007).

La relación entre desarrollo sustentable y el uso de los recursos, particularmente recursos energéticos, es de mayor relevancia para las sociedades. Por consiguiente, atender el desarrollo sustentable requiere que se usen eficientemente fuentes de energía renovable. Con base en Mansoor et al. (2013), la energía sustentable tiene dos grandes pilares: i) las energías renovables y ii) la eficiencia energética. De acuerdo con Ellabban et al., (2014) las energías renovables son fuentes de energía continuamente remplazadas por la naturaleza y se derivan directamente del sol (térmica, fotoquímica o fotoeléctrica) indirectamente del sol (eólica, hidráulica y fotosíntesis de biomasa) o de otros movimientos o mecanismos naturales en el medio ambiente (geotérmica y de mareas). Las energías renovables no incluyen recursos energéticos derivados de los combustibles fósiles o de sus desechos, ni de residuos de fuentes inorgánicas (Ellabban et al., 2014).

Eficiencia es uno de los términos más frecuentemente empleados en termodinámica; indica qué tan bien se realiza un proceso o una conversión de energía. En términos energéticos la localización, tipo y magnitud de desperdicios o pérdidas energéticas o de recursos se determinan a través de un análisis de exergía (Kanoglu et al., 2012). La exergía de un sistema es definida como el trabajo máximo que puede ser realizado por un sistema y su medio ambiente específico de referencia (Dincer y Rosen, 2007).

Debido al constante incremento en los precios de la energía y a los esfuerzos realizados para reducir la emisión de gases efecto invernadero, mejorar la eficiencia energética en la agroindustria se ha vuelto una prioridad. El ahorro de energía en la agroindustria se puede lograr a través de i) el incremento de la eficiencia energética de los procesos, ii) el remplazo de los equipos que requieren altos suministros de energía por maquinaria de última generación y iii) el uso de energías renovables (Wang, 2014).

El beneficio económico que se obtiene al incrementar la eficiencia energética de un proceso en un sector en particular no debe ser el único objetivo a alcanzar. Hay reportes que señalan que incrementar la eficiencia energética en la agroindustria también favorece la protección del medio ambiente, la sustentabilidad social, la seguridad energética y la competitividad industrial. Al respecto, hay un conjunto de tecnologías emergentes que han sido desarrolladas durante los últimos años para reemplazar, parcial o totalmente, el consumo intensivo de energía convencional en el sector agroindustrial (Liu y Liang, 2013; Dincer y Acar, 2015).

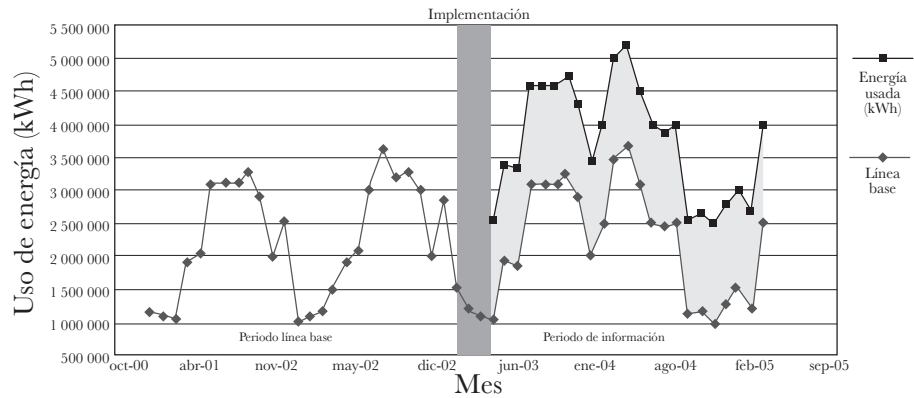
Los objetivos de este capítulo son i) explicar algunos criterios y técnicas para cuantificar la eficiencia energética en el sector agroindustrial, ii) dar a conocer algunas tecnologías emergentes para reducir el consumo intensivo de energía tradicional en el sector agroindustrial y iii) explicar cómo favorecemos el medio ambiente y promovemos el desarrollo sustentable al incrementar la eficiencia energética en el sector agroindustrial.

Criterios y técnicas para cuantificar la eficiencia energética en el sector agroindustrial

Existe la posibilidad que los procesos agroindustriales puedan reducir ciertos aspectos de su carga ambiental, a través de la creación de empresas con tecnologías de procesamiento más limpias o gracias a la mejora tecnológica de las empresas

existentes (Da Silva, 2013). En una agroindustria se miden dos tipos de energía, la energía eléctrica y la térmica, mientras que el análisis y diagnóstico energético de línea base, captura y describe el estado del sistema energético en el momento de su desarrollo; lo importante es que el diagnóstico establezca una línea base contra la cual se evalúen los efectos e impactos de mejora a implementar (Martínez, et al., 2014). Cuando la energía renovable desplaza a la energía eléctrica, que se genera a partir de combustible fósil, se puede utilizar el desplazamiento en kWh para estimar los beneficios ambientales resultantes. En programas de eficiencia energética, la clave métrica de interés es el ahorro de energía; esta cantidad no puede medirse directamente, por lo que los impactos del programa de eficiencia se estiman tomando la diferencia entre (a) el consumo real después de instalar las medidas de eficiencia energética y (b) el consumo de energía que se produce sin haber sido instaladas las medidas de eficiencia (es decir, la línea base) durante el mismo período de tiempo, como se muestra en la Figura 1 (EPA, 2007).

Figura 1. Comparación de uso de energía antes y después de implementar un programa de eficiencia energética (EPA, 2007).



El ahorro de energía se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro de energía} = (b) - (a) \pm (c)$$

donde a=uso de energía posterior a la instalación

b=uso de energía de línea base y

c=ajustes

En el programa de eficiencia energética, se pueden tomar medidas para ajustar la línea de base y/o el uso de energía posterior a la instalación para tener en cuenta otros factores, además de la medida de eficiencia energética que afectan el consumo de energía (por ejemplo, el clima, la creación de ocupación, horas de funcionamiento, etc.). La línea base refleja las condiciones normales de operación, incluye el consumo de energía y sus emisiones, que se producen sin el programa de eficiencia energética, ésta considera aspectos específicos del lugar y consideraciones políticas.

Los aspectos específicos de la línea base incluyen las características de los equipos en su lugar de operación antes de implementar la eficiencia energética y cómo y cuándo los equipos o sistemas afectados son operados. Por ejemplo, para reequipar un sistema de iluminación en forma eficiente, las decisiones iniciales incluyen el tipo de equipo de iluminación que fue reemplazado, el consumo de energía del equipo reemplazado (watts/accesorio), y cuántas horas las luminarias se mantienen operando. Las consideraciones de políticas de referencia implican

asegurar que el ahorro de energía y la demanda y las emisiones evitadas son “adicionales” a cualquiera que se produciría debido, por ejemplo, a las normas de energía federales o estatales.

También es importante tener en cuenta en qué parte del ciclo de vida de los equipos o sistemas existentes se instaló el nuevo equipo. Las opciones son: a) una rápida sustitución de los equipos que no han llegado al final de su vida útil; b) equipos nuevos más eficientes instalados para el remplazo de los equipos averiados; o c) nueva construcción. Para cada una de estas opciones, las dos aproximaciones genéricas a las líneas de base que se definen son un proyecto específico y un procedimiento estándar de rendimiento.

Con los programas de eficiencia energética, la forma común se logra a través de a) una evaluación de la tasa de consumo de los equipos existentes, basándose en mediciones o datos históricos; b) un inventario de los equipos preadaptados; o c) equipos de energía de un grupo de control (se utiliza cuando no existe una norma o cuando el proyecto es una “rápida sustitución”, es decir, implementado antes de la falla en el equipo). La mayoría de las organizaciones, al calcular sus propios ahorros, definen la línea de base de qué nuevo equipo se reemplaza realmente; es decir, la línea de base se relaciona con el consumo real de energía histórica de año base o demanda.

Se debe tener en cuenta que debido a que la identificación de este tipo de línea base siempre implica cierta incertidumbre. El segundo enfoque de líneas de base es evitar determinaciones específicas del proyecto y en su lugar tratar de garantizar la inclusión de energía cuantificada y ahorro de demanda, y las emisiones evitadas. Esto se hace mediante el desarrollo de un estándar de rendimiento, que proporciona una estimación de la energía y la demanda de referencia para todos los proyectos en un programa. La hipótesis es que cualquier actividad del proyecto producirá un ahorro adicional si las emisiones evitadas tienen una línea de base “menor” que la línea de base estándar de rendimiento (EPA, 2007).

El ahorro de energía se calcula por periodos pico o periodos fuera de pico o periodos de verano o invierno. Para calcular el consumo de energía se utilizan datos estadísticos por periodos de tiempo específicos, también existen equipos electrónicos de calidad de la energía que conectados a la línea de alimentación general o en algún área específica registran y almacenan la información en una base de datos para su posterior análisis. El resultado histórico de esta información definida en tiempo y las rutinas de operación de los equipos en la industria, sea esta agrícola o cualquier otra, define las características para tomar la decisión sobre dónde se pueden aplicar técnicas para el ahorro de energía.

La demanda de energía se calcula como sigue:

$$\text{Ahorro de demanda} = \frac{\text{Ahorro de energía}}{\text{Periodo de tiempo de ahorro de energía}}$$

El gobierno de México estima conformar una matriz energética en 35% por fuentes renovables dentro de los próximos 15 años; donde la distribución de ventas hasta el 2010 de la industria mediana y grande se estimaron en 58% y un apartado especial de bombeo agrícola con 5%, la cual tiene el segundo costo más alto, solo por abajo de la tarifa residencial de alto consumo (Residencial DAC) (IFC, 2012).

Tabla 1. Barreras para el impulso de la eficiencia energética a nivel mundial.

Fuente: AIE, 2012.

Barrera	Ejemplos
Mercado	La organización del mercado y la distorsión en los precios evitan que los consumidores visualicen el valor de la eficiencia energética. Disminución de incentivos cuando los inversionistas no pueden capturar los principales beneficios de las mejoras en eficiencia.
Financiera	Poca motivación de inversionistas derivada de altos costos iniciales y beneficios dispersos a lo largo del tiempo. Percepción de que los proyectos de eficiencia son complicados, rigurosos y con alto costo de transacción. Falta de conocimiento sobre los beneficios por parte de las instituciones financieras.
Información y conocimiento	Falta de información y entendimiento suficiente por parte de los consumidores para hacer un consumo racional y decisiones de inversión.
Regulatorias e institucionales	Tarifas energéticas que desmotivan las inversiones en eficiencia. Las estructuras de incentivos promueven la venta de energía en lugar de acciones de eficiencia energética costo efectivas. Modelos institucionales orientados hacia las inversiones para suministro de energía.
Técnicos	Falta de tecnología de eficiencia energética accesible. Capacidad insuficiente para identificar, desarrollar, implementar y mantener las inversiones en eficiencia energética.

Con base en la Estrategia Nacional de Energía 2013-2027 del gobierno mexicano y la Agencia Internacional de Energía, existen diversas barreras para el impulso de la eficiencia energética a nivel mundial (AIE, 2012; SENER, 2013; Tabla 1).

A pesar de las barreras para el impulso de la eficiencia energética a nivel mundial, uno de los ejes fundamentales del gobierno mexicano es fortalecer el programa de apoyo para la rehabilitación de sistemas de bombeo agropecuario. Un sistema típico de agua para riego agrícola representa hasta 80% del consumo de energía, del cual se pueden lograr ahorros globales del 50% en los sistemas de agua para la agricultura; donde el 29% se logra al optimizar tarifas eléctricas, reducir pérdidas en la instalaciones eléctricas, en el sistema de bombeo y pérdidas mecánicas, optimizar el factor de potencia, mejorar la eficiencia en motores eléctricos y las bombas; mientras que el 21% se consigue por optimizar la operación hidráulica del sistema de bombeo. Lo anterior mejora la sostenibilidad financiera de las unidades de riego, aumenta sus ingresos y reduce la presión sobre los cuerpos de agua y el entorno natural (Espino et al., 2011).

La tarifa eléctrica 9 es la utilizada para riego agrícola, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) dispone de las tarifas 9, 9M, 9CU y 9N. La tarifa 9 de servicio para bombeo de agua para riego agrícola en baja tensión, se aplica exclusivamente a los servicios en baja tensión que destinan la energía para el bombeo de agua utilizada en el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo, es la más cara en \$/kWh; la tarifa 9M de servicio para bombeo de agua para riego agrícola en media tensión, se aplica exclusivamente a los servicios en media tensión

que destinan la energía para el bombeo de agua utilizada en el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y al alumbrado del local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo; la tarifa 9CU de estímulo para bombeo de agua para riego agrícola con cargo único se aplica para la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo y rebombeo de agua para riego agrícola por los sujetos productivos inscritos en el padrón de beneficiarios de energéticos agropecuarios, hasta por la Cuota Energética determinada por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), sin embargo, la energía eléctrica consumida que exceda la Cuota Energética, será facturada con los cargos de la Tarifa 9 o 9M, según corresponda; y la tarifa 9N de estímulo nocturna para bombeo de agua para riego agrícola, es la más barata en \$/kWh, y se aplica para la energía eléctrica utilizada en la operación de los equipos de bombeo y rebombeo de agua para riego agrícola por los sujetos productivos inscritos en el padrón de beneficiarios de energéticos agropecuarios, hasta por la Cuota Energética determinada por la SAGARPA, la inscripción a esta tarifa será a solicitud del usuario, la energía eléctrica consumida que exceda la Cuota Energética, será facturada con los cargos de la Tarifa 9 o 9M, según corresponda. De acuerdo a esta información la tarifa más óptima depende de la actividad agrícola, de la demanda de energía eléctrica, la tensión a la que trabaja el sistema de bombeo, el horario de suministro y el no-exceso de consumo de energía eléctrica estipulado por el contrato actual de suministro de energía eléctrica ante la CFE.

Las pérdidas en instalaciones eléctricas se deben principalmente al mal dimensionamiento de la instalación, puntos calientes cuando no existe un buen contacto físico entre unión de conductores eléctricos, instalación de contactos eléctricos de baja calidad, empleo de extensiones eléctricas de baja calidad, calentamiento excesivo en los rodamientos de los motores de inducción del sistema de bombeo, bajo factor de potencia por exceso de cargas inductivas ocasionadas por los motores de inducción, desequilibrio de fases en la instalación eléctrica y componentes armónicos producto del uso excesivo de variadores de velocidad. Una técnica para reducir las pérdidas en un sistema de bombeo es trabajarlo a velocidad variable dependiendo de la razón de flujo de bombeo utilizando variadores de velocidad (drivers), la siguiente ecuación relaciona dos diferentes velocidades (n_1 y n_2) y la correspondiente eficiencia (η_1 y η_2)

Para bombas grandes si el cambio de la velocidad no excede el 33% la eficiencia no se ve afectada; y una reducción del 20% en la velocidad de la bomba la potencia demandada decrece al 50% la eficiencia constante de la bomba. La mayor eficiencia del sistema de bombeo se puede lograr si las partes que lo componen (motor eléctrico, variador de velocidad y la bomba mecánica) tiene alta eficiencia en la operación, la ecuación utilizada para un sistema de bombeo eficiente se define como:

$$\eta = \eta_m \eta_{VFD} \eta_p$$

donde

η_m es la eficiencia del motor;

η_{VFD} es la eficiencia del variador de velocidad; y

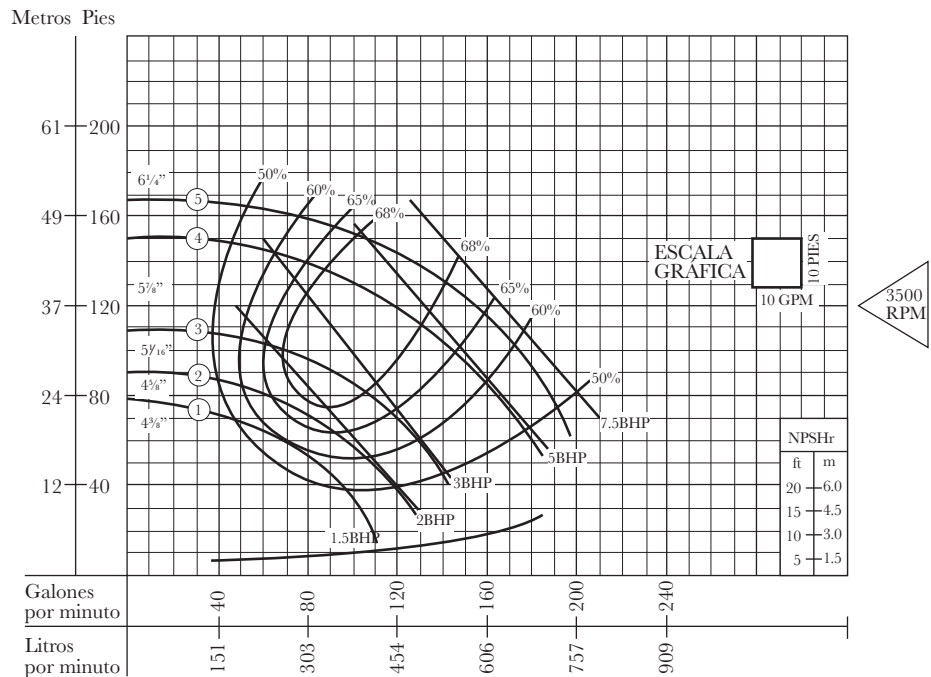
η_p es la eficiencia de la bomba

En sistemas de bombeo los motores más utilizados son los motores de inducción con alta eficiencia, permaneciendo constante si el motor opera arriba del 50% de carga. Sin embargo, el motor de imán permanente sin escobillas logra mayor factor de potencia que se refleja en mejor utilización de la potencia del motor, aunque estos son más caros entre 3-5% que los motores de inducción en el costo total de operación del sistema de bombeo; ligera variación de la eficiencia operativa podría afectar drásticamente los costos de electricidad aproximadamente en 70% durante toda su vida útil (Sarbu y Valea, 2015).

Para la selección de un sistema de bombeo centrífugo eficiente se debe considerar la razón de flujo del fluido, el diseño de las tuberías, el control del sistema de bombeo y la selección de la bomba. Las bombas se dividen en tres clases: bombas de flujo radial, bombas de flujo axial y bombas de flujo mixto. Su diseño reside en el impulsor o impelente, pudiendo lograr bombas eficientes en condiciones que varían dependiendo de la razón del flujo. Previo a la selección de una bomba en particular, se recomienda examinar la curva de rendimiento típica (Figura 2), ésta muestra la capacidad de la bomba en galones por minuto (gpm) o litros por minuto (lpm), la carga total en pies (ft) o metros (m), la eficiencia (%), potencia de entrada en caballos de vapor (CV), los requisitos del cabezal de succión en pies (ft) en un rango de caudales, el tipo y tamaño de la bomba, la velocidad de operación en revoluciones por minuto (RPM), y el tamaño del impulsor en pulgadas [in]. Un dato muy importante es el punto de mejor eficiencia de la bomba (BEP), ya que la bomba es más eficaz cuando el punto de funcionamiento está cerca del BEP.

Figura 2. Curva de rendimiento de electrobomba centrífuga de mediana presión (Barmesa, 2015).

Nota: el número en círculo encerrado indica el modelo de la bomba que se define por el tamaño del Impulsor o impelente (IB1½-X.X-X.X) de bombas fabricadas por Barmesa®.



SERIES: IB1½	1. IB1½-1.5-2
SUCCIÓN: 2" NPT	2. IB1½-2-2
DESCARGA: 1½"-1.5-2	3. IB1½-3-2
	4. IB1½-5-2
	5. IB1½-7.5-2

De la curva de la Figura 2 cada turbina tiene una curva de rendimiento que es función del tamaño del impelente y se recomienda que para reducir al mínimo el consumo de energía de un sistema de bombeo, se seleccione una bomba por lo que la curva del sistema se cruza con la curva de la bomba dentro del 20% de su BEP, se recomienda seleccionar un impulsor de gama media que se puede recortar o reemplazar para cumplir los requisitos de caudal superiores o inferiores. Y seleccionar una bomba de alta eficiencia por encima de su rango de puntos de funcionamiento. Algunos puntos de mejora de la eficiencia pueden ahorrar energía significativa en la vida de la bomba. Excesiva cavitación en bombas centrífugas reduce la eficiencia de la bomba y la puede dañar, para evitarlo se debe hacer referencia a la presión en la entrada que se define como la cabeza de succión positiva neta (NPSH), que tiene dos referencias principales: 1) la presión disponible (NPSHA) en la entrada del sistema, que es función del sistema y la velocidad de flujo, y 2) la presión requerida (NPSHR), que es función de la bomba y la velocidad de flujo. Si el NPSHA es suficientemente mayor de la NPSHR, entonces la bomba no debe producir cavitación. Una regla común en el diseño del sistema de bombeo es asegurar que el NPSHA sea entre 20-25% mayor que NPSHR para todos los caudales esperados. Cuando las bombas de gran tamaño operan en regiones muy a la derecha de sus puntos de diseño, la diferencia entre NPSHA y NPSHR puede llegar a ser peligrosamente pequeña (EDR 2010, IPT 2006).

Tecnologías emergentes para reducir el consumo intensivo de energía tradicional en el sector agroindustrial

La tecnología está entre los mayores agentes de cambio en el mundo moderno. Aunque no está exenta de riesgo, la tecnología promete soluciones innovadoras a los desafíos globales. Por ejemplo, relacionado con el tema de estudio que atañe a éste capítulo, el automóvil cero emisiones está entre las 10 tecnologías emergentes que el Foro Económico Mundial seleccionó en 2015, a través de un panel de expertos. Las tecnologías emergentes son nuevas tecnologías, las cuales surgen de las necesidades del ser humano y son más eficientes e innovadoras.

La energía es fundamental para el desarrollo sustentable porque contribuye, entre otras cosas, a mejorar los niveles de vida, favorece el acceso a la información, mejorar el suministro y calidad de agua, facilita la prestación de servicios de salud y aumenta la productividad. Adicionalmente, la energía también favorece el acceso a la educación y a la igualdad entre géneros. Si bien las energías renovables presentan diversas ventajas, algunas de las principales críticas que reciben están relacionadas con su difícil predicción y su imposibilidad de garantizar el suministro en un momento concreto, además, son energías difusas i.e. con poca potencia por unidad de superficie y emiten una cantidad considerable de CO₂ durante el proceso de producción de los dispositivos.

Algunas de las tecnologías emergentes con mayor potencial para emplearse en el sector agroindustrial están, entre otros: i) la producción de energía eléctrica a partir de residuos agropecuarios o subproductos, ii) la producción de fertilizantes orgánicos a través de procesos de composteo o vermicomposteo de alta calidad, iii) la generación de energía eléctrica o biocombustibles a partir

de residuos agroindustriales, iv) la refrigeración como nueva aplicación de la energía solar térmica, v) desinfección fotolítica, fotocatalítica o desalación de agua y vi) hornos y cocinas solares.

Además, para los sistemas productivos de empresas agroindustriales de mayor requerimiento de energía, por su tamaño o por sus procesos, existen también sistemas de alta temperatura como los dispositivos con concentradores y seguimiento solar.

Cuidado del medio ambiente y promoción del desarrollo sustentable al incrementar la eficiencia energética en el sector agroindustrial

Las energías renovables y la eficiencia energética se mencionan como pilares de la energía sustentable (Mansoor et al., 2013), se relacionan con el cuidado del medio ambiente y con la promoción del desarrollo sustentable. No obstante, estudios recientes han cuestionado algunos aspectos fundamentales de las energías renovables.

Tabla 2. Beneficios potenciales y limitaciones tecnológicas de la energía de biomasa.
Fuente: Ellaban et al., (2014).

Beneficios potenciales	Limitaciones tecnológicas
<i>Ganancias ambientales</i>	<i>Amenazas ambientales</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de dependencia y daño ambiental por productos derivados del petróleo y combustibles fósiles - Menores emisiones de gases efecto invernadero - Reducción de esmog y emisiones de gases tóxicos - Uso de desperdicios orgánico reduce la necesidad de rellenos sanitarios 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de zonas protegidas para la producción de biomasa - Agotamiento de fuentes de agua locales - Incremento en la demanda de fertilizantes y pesticidas - Favorece el cambio climático por las emisiones de CO₂ - Reducción de biodiversidad por contaminación de suelo o por introducción de especies vegetales - Incremento de emisiones de C articulado por quema de madera
<i>Beneficios económicos</i>	<i>Tecnologías asociadas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Recursos relativamente económicos - Las fuentes de energía distribuidas localmente proveen energía constante y confiable - Estabilidad en precios - Generación de oportunidades de empleo en áreas rurales - Uso de residuos orgánicos como fuente de biomasa inagotable 	<ul style="list-style-type: none"> - Colección y almacenamiento de materias primas - Pretratamiento de biomasa - Producción enzimática - Costo de la generación y mantenimiento de la tecnología

Si bien las energías renovables tienen algunos aspectos que recientemente han sido cuestionados, la eficiencia energética toma ventaja y se coloca como la principal estrategia para el ahorro de energía, en favor del desarrollo sustentable. No solo es importante cómo se genera la energía eléctrica o los combustibles, cómo se distribuyen y abastecen a una sociedad demandante de fuentes de energía.

También debemos pensar en qué podemos hacer para consumir menos energía o combustibles y recordar que detrás de cada kWh de energía, hay una gran cantidad de agua, contaminación y afectaciones ambientales, sociales y culturales.

Ellaban et al. (2014), reportan además una serie de ventajas y desventajas de las diferentes fuentes de energías renovables (Tabla 3).

Fuente de energía	Ventaja	Desventaja
Biomasa	<ul style="list-style-type: none"> - Abundante y renovable - Puede emplearse para incinerar residuos 	<ul style="list-style-type: none"> - Quema de biomasa podría generar contaminación de aire - Podría no ser conveniente, económicamente
Geotermia	<ul style="list-style-type: none"> - Fuente ilimitada de aporte de energía - No produce contaminación de aire o agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo inicial y de puesta en marcha puede ser caro - Costo de mantenimiento es caro, por corrosión
Hidráulica	<ul style="list-style-type: none"> - Abundante, limpia y segura - Fácilmente almacenable - Producción relativamente barata - Ofrece beneficios recreativos (pesca, paseo en bote, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> - Causa la inundación de gran superficie de suelo - Presas implican un gran daño ambiental - Solo puede emplearse si se cuenta con agua - Los mejores lugares para construir presas ya están utilizados
Marina	<ul style="list-style-type: none"> - Ideal para países con playas - Captura energía que de otra forma no podría ser empleada 	<ul style="list-style-type: none"> - La construcción es costosa - Negativo impacto sobre vida silvestre - Requiere mucho espacio y limita la navegación
Solar	<ul style="list-style-type: none"> - Aporte de energía potencialmente infinito - No causa contaminación de agua o aire 	<ul style="list-style-type: none"> - Podría no ser rentable - Almacenamiento y respaldo son necesarios - Confiabilidad depende de la luz del sol
Eólica	<ul style="list-style-type: none"> - Las granjas eólicas son relativamente baratas de construir - No causa contaminación de agua o aire - Suelos alrededor de las turbinas podría tener otro uso 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere constante viento - Las granjas eólicas requieren mucho suelo - Afectan el paisaje - Se requieren mejores tecnologías para almacenar energía

Tabla 3. Ventajas y desventajas de las diferentes fuentes de energía renovable.

Fuente: Ellaban et al., (2014).

También se han reportado impactos negativos relacionados con las fuentes renovables de energía (Tabla 4).

Tabla 4. Impactos negativos relacionados con las fuentes renovables de energía.

Fuente: Ellaban et al., (2014).

Fuente de energía	Potenciales impactos negativos sobre el medio ambiente
Biomasa	Podría no ser carbono neutral, podría liberar gases efecto invernadero, cambio de uso de suelo, deterioro de la productividad del suelo y producción de residuos tóxicos
Geotermia	Hundimientos, cambio de uso de suelo, contaminación de agua y emisiones atmosféricas
Hidráulica	Cambio del ecosistema, cambio de las condiciones climáticas, impacto social y cultura
Marina	Cambio del paisaje, reducción de la circulación y movimiento del agua, muerte de peces, cambios en el ecosistema
Solar	Erosión de suelo, alteración del paisaje, producción de desechos
Eólica	Ruido en el área, cambio de uso de suelo, erosión del suelo, muerte de aves

Conclusión

Existen diversas estrategias para determinar e incrementar la eficiencia energética en el sector agroindustrial, sin embargo, la asesoría de un experto es necesaria para obtener ahorros significativos. Desde algunos sistemas como los calentadores solares o las estufas solares de arcilla o cerámica, hasta poderosos concentradores solares o celdas fotovoltaicas de última generación, están disponibles para que la agroindustria mexicana ahorre energía. Si bien, muchos de los sistemas de producción de energía existentes en el mercado se promueven como energías renovables, es importante considerar que en muchos casos, será necesario realizar un análisis de ciclo de vida, porque aún las energías renovables emiten CO₂, favorecen la liberación de contaminantes y requieren grandes cantidades de agua en sus respectivos procesos de producción o durante su operación.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de sus respectivas instituciones de adscripción.

Bibliografía

- AIE; Agencia Internacional de Energía. (2012). *Energy Technology Perspectives 2012*. Recuperado el 12 de junio de 2015 de https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/ETP2012_free.pdf
- Barmesa® (2015). *Electrobomba centrífuga media presión*. Recuperado el 12 de junio de 2015 de http://barmesa.mannpumps.com/ficha-tecnica_ib-series_mx.pdf
- EDR, Energy Design Resources. (2010). *Design brief, centrifugal pump application and optimization*. Recuperado el 12 de junio de 2015 de <http://energydesignresources.com/resources/publications/design-briefs/design-brief-centrifugal-pump-application-and-optimization.aspx>
- Ellabban, E., Abu-Rub, H. & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.
- Da Silva, C. A., Baker, D., Shepherd, A., Jenane, C., & Miranda, D. C. S. (2013). *Agroindustrias para el desarrollo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, Roma, p. 316.
- Dincer, I., & Rosen, M.A. (2007). *Exergy; energy, environment and sustainable development*. Elsevier. Oxford, UK. 454 pp.
- Dincer, I., & Acar, C. (2015). A review on clean energy solutions for better sustainability. *International Journal of Energy Research*, 39(5), 585-606.
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748-764.
- EPA. Environmental Protection Agency. (2007). *Model Energy Efficiency Program Impact Evaluation Guide*. Recuperado el 12 de junio de 2015 de http://www.epa.gov/cleanenergy/documents/suca/evaluation_guide.pdf
- Espino, P. J. F., Pedraza-Martínez J. A. & Hernández-Yáñez C. (2011). *Estudio de Sistema de Bombeo Agropecuario en México*. Recuperado el 12 de junio de 2015 de <http://www.conuee.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7483/2/bombeoagua.pdf>.
- IFC, Corporación Financiera Internacional. (2012). *Estudio de Mercado del Financiamiento de Energías Sostenibles en México*. Reporte Final, Recuperado el 12 de junio de 2015 de <http://www.ifc.org/wps/wcm/connect/d75f9c004cf49a3bafaceff81ee631cc/October+2012-Market+Study+of+SEF+in+Mexico-ES.pdf?MOD=AJPERES>
- US-IPT, Industrial Technologies Program. (2006). *Improving pumping system performance. A Sourcebook for Industry*. Second Edition, p. 38. Recuperado el 12 de junio de 2015 de https://www1.eere.energy.gov/manufacturing/tech_assistance/pdfs/pump.pdf
- Kanoglu, M., Cengel, M., & Dincer, I. (2012). *Efficiency evaluation of energy systems*. Springer. NY, USA. 170 pp.
- Liu, H., & Liang, D. (2013). A review of clean energy innovation and technology transfer in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, 486-498.
- Mansoor, M., Marium, N., Ismail, N., & Wahab, N.I.A. (2013). A guidance chart for most probable solution directions in suitable energy developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 306-313.

- Martínez-Ruíz P. M. & Cosme-Moñino J. M. (2014). *Eficiencia Energética en empresas del Sector Agroalimentario*. Agencia Extremeña de la Energía, España, pp. 80.
- Sarbu, I. & Valea, E. S. (2015). Energy Savings Potential for Pumping Water in District Heating Stations. *Sustainability*. 7: 5705-5719.
- SENER, Secretaría de Energía. (2013). *Estrategia Nacional de Energía 2013-2027*. Recuperado el 12 de junio de 2015 de http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/ENE_2013-2027.pdf
- Wang, L. (2014). Energy efficiency technologies for sustainable agriculture and food processing. In: *Sustainable Energy Solutions in Agriculture*. Bundschuc, J., & Chen, G., (Eds.). CRC. London, UK. 97-122 pp.
- Wright, R.T., & Boorse, D.F. (2011). *Environmental science, toward a sustainable future*. 11th Edition. USA. 674 pp.

Nueva tecnología de producción de etanol 2G a partir de hidrolizado de bagazo de caña de azúcar

New technology to produce second-generation ethanol from sugarcane bagasse hydrolysate

*Dussán K.J.; Silva D.D.V.³⁸
Brumano L.P.; Silva S.S.

Resumen

Departamento de Biotecnologia, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, São Paulo, Brasil. Estrada Municipal do Campinho s/n, CEP 12602-810, Tel.: +5531595146.

**Contacto: kjdm16@gmail.com*

Las actuales perspectivas de escasez del petróleo se han prorrogado en varias ocasiones debido al descubrimiento de nuevas reservas, las cuestiones relacionadas con la inestabilidad política y social en los principales países productores y el conocimiento sobre los efectos nocivos para el medio ambiente por el uso de combustibles fósiles han impulsado la búsqueda mundial por la posibilidad de utilizar biocombustibles. En la actualidad, la atención se centra en la biomasa con el objetivo de producir bioetanol de segunda generación. Teniendo en cuenta que nuevas tecnologías están siendo desarrolladas buscando optimizar los procesos de pretratamiento, hidrólisis, fermentación y separación utilizando materiales lignocelulósicos como materia prima, el bioelectromagnetismo y particularmente biorreactores asistidos por campos magnéticos constituyen una reciente y prometedora área de investigación dentro del campo de la biotecnología a través de la cual es posible estudiar alternativas en la etapa de fermentación de pentosas y/o hexosas que resulten en un aumento en el rendimiento y/o productividad del proceso de obtención de etanol de segunda generación a partir de materiales lignocelulósicos.

Abstract

Although the prospects for oil shortages have been extended on several occasions, due to the discovery of new reserves, the issues related to the political and social instability in the main producing countries and the knowledge regarding the harmful effects of environmental by the use of fossil fuels have driven the global search for the possibility of using biofuels. Currently, the focus is on biomass valorization with the objective of second-generation ethanol production. Bearing in mind that, new technologies are being developed aiming to optimize the processes of pretreatment, hydrolysis, fermentation and separation using lignocellulosic materials as raw material. In this context, the bioelectromagnetism and particularly bioreactors assisted by external magnetic fields stand for a new and promising research within the biotechnology field through which it is also possible to study the fermentation of pentose and/or hexose as an alternative that allow improve the yield and/or productivity of fermentation process from lignocellulosic biomass aiming second-generation ethanol production.

Introducción

El uso indiscriminado de combustibles fósiles es reconocido como el principal motor del cambio global debido al aumento de las emisiones de CO₂ en la atmósfera, siendo visto como la causa de problemas relacionados con el cambio climático. Brasil inició un programa en la década de 1970, para substituir la gasolina por etanol ante la gravedad de estos hechos. La caña de azúcar fue elegida como materia prima para producir etanol, y en consecuencia, los estudios tanto en áreas tecnológicas como en la agricultura fueron intensificadas. Sin embargo, debemos tener en cuenta que un tercio de la planta es utilizada para la producción de azúcar, otro tercio corresponde al bagazo que en la mayoría de las usinas es quemado para producción de electricidad y el tercio restante se utiliza por lo general en diversas aplicaciones, como por ejemplo, alimento para animales, especialmente para los rumiantes, y no obstante existe un excedente de bagazo que queda disponible en el campo. Un aumento significativo en la producción de etanol sería posible con el desarrollo de nuevas tecnologías que permitieran convertir los polisacáridos presentes en las hojas, paja y bagazo de la caña de azúcar que representan dos tercios de esta biomasa.

Innúmeros trabajos de investigación se han realizado con el objetivo de posibilitar los procesos de fermentación de pentosas, azúcares presentes en los materiales lignocelulósicos, utilizando diversas cepas, como por ejemplo, *Scheffersomyces stipitis*, *Scheffersomyces shehatae* y *Spathaspora arborariae*, para la producción de etanol de segunda generación. De acuerdo con la literatura científica, el proceso de fermentación debe estar bien establecido para aplicaciones a gran escala y diversos factores tales como la concentración inicial de sustrato y células, la influencia de la suplementación nutricional, aireación, pH y agitación deben ser evaluados para conseguir mejorar la productividad y rendimiento de etanol. Estudios en medios sintéticos e hidrolizados usando frascos Erlenmeyer y reactores de bancada han mostrado resultados prometedores con relación a la optimización de estos factores. Además deberá tenerse en cuenta que el proceso de fermentación presenta dificultades en lo que respecta al ajuste del metabolismo microbiano para el consumo de pentosas, dando lugar a valores bajos de productividad y rendimiento de etanol, como consecuencia de los grandes tiempos de fermentación. Nuevos enfoques deben ser desarrollados para la optimización del proceso de fermentación de pentosas.

En la última década, se han presentado avances en cuanto a la aplicación de campos magnéticos o electromagnéticos de baja y alta frecuencia (microondas) en el desarrollo de bioprocesos buscando el mejoramiento de las productividades y rendimiento. El Biomagnetismo puede ser aplicado a la ingeniería de procesos y es un tema relativamente nuevo. Biorreactores (fermentadores) con aplicación de campos electromagnéticos de baja frecuencia e intensidad están siendo estudiados ya que ellos permiten ser operados en diferentes configuraciones. Sin embargo, dado el carácter innovador de esta tecnología, estudios básicos a nivel de laboratorio son necesarios para evaluar las ventajas técnicas y económicas de estos procesos; la ejecución posterior en una escala industrial que se traduciría en algunos casos en ventajas como una mayor eficiencia y facilidad en la recuperación de los biocatalizadores, lo que

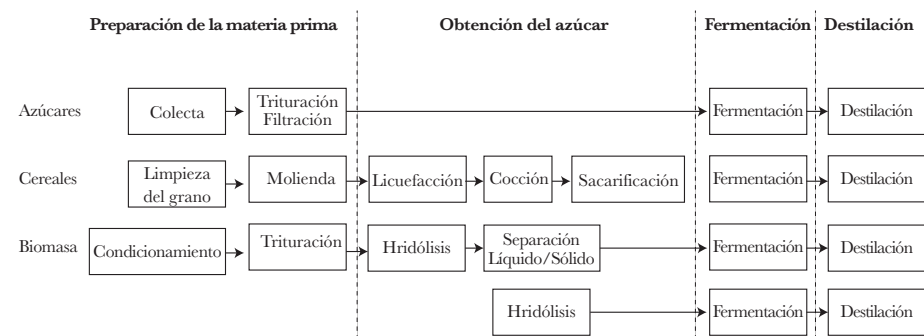
permitiría el uso de sistemas de lotes repetidos o sistemas continuos, permitiendo el uso de flujos altos de alimentación sin peligro de “washout”.

Producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica

La producción de etanol combustible a partir de biomasa lignocelulósica envuelve varias etapas, entre ellas se encuentran: pretratamiento, hidrólisis de la celulosa, fermentación de hexosas/pentosas, separación, destilación y tratamiento de efluentes (Ojeda & Kafarov, 2009). En los últimos años se ha realizado intensos esfuerzos para desarrollar tecnologías eficientes para las etapas de pretratamiento de materiales lignocelulósicos, búsqueda de enzimas que permitan una etapa de sacarificación eficiente de la celulosa/hemicelulosa y tecnologías apropiadas para la fermentación de los azúcares C6 cuanto C5. La Figura 1 muestra las diferencias entre los procesos de obtención de etanol de diferentes fuentes de materias primas.

Figura 1. Procesos para la obtención de etanol con diferentes materias primas.

Adaptado de Quintero, Rincón, and Cardona (2011).



Pretratamiento de la biomasa lignocelulósica

Desde un punto de vista económico, el pretratamiento es una etapa clave en el proceso de bioconversión de la biomasa porque éste debe mejorar la separación de los componentes de la pared celular, evitando la formación de compuestos que inhiban los procesos posteriores de fermentación. Muchos métodos se han utilizado para el tratamiento de biomasa lignocelulósica. Entre ellas se encuentran: explosión de vapor, lavado alcalino, cal, peróxido de hidrógeno alcalino, hidrólisis con ácidos diluidos, explosión con amonio, agua caliente y oxidación húmeda, entre otros (Balat, 2011; A. K. Chandel, Giese, Antunes, Santos Oliveira, & da Silva, 2013; Mosier et al., 2005).

El proceso de pretratamiento en la mayoría de los casos genera una fracción sólida comúnmente conocida como celullignina y una fracción líquida conocida como hidrolizado hemicelulósico. El pretratamiento puede formar algunos subproductos que interfieren negativamente en el proceso de fermentación de pentosas, tales como el ácido acético que se forma por hidrólisis del grupo acetilo presentes en la hemicelulosa; ácido fórmico y ácido levulínico, productos de degradación de azúcar; compuestos fenólicos, formados principalmente por degradación parcial de la lignina; furaldehídos y aldehídos o furanos, furfural y 5-hidroximetilfurfural se forman principalmente por la degradación de pentosas y hexosas, respectivamente (Martín, Almazán, Marcet, & Jönsson, 2007).

Todos estos compuestos, así como la liberación de metales de equipos hidrólisis son inhibidores potenciales del metabolismo microbiano. Para

aliviar o incluso eliminar los efectos de los inhibidores, es necesario tratar los hidrolizados para ser utilizados en procesos de fermentación.

Métodos de destoxificación

Diferentes métodos de destoxificación pueden ser aplicados, y en la mayoría de los casos, los inhibidores son parcialmente eliminados y se transforman en compuestos inactivos (Olsson & Hahn-Hägerdal, 1996; Parajó, Domínguez, & Domínguez, 1998). La elección del método de destoxificación dependerá del tipo de hidrolizado y del microorganismo a ser empleado en la etapa de fermentación (Olsson & Hahn-Hägerdal, 1996).

La etapa de destoxificación cuenta con una variedad de tratamientos físicos, químicos y biológicos que son utilizados para remover estos compuestos tóxicos y pueden ser aplicados individualmente o combinados (Palmqvist & Hahn-Hägerdal, 2000). Se han propuesto como estrategias de destoxificación métodos neutralizantes, adsorción por resinas de intercambio iónico, adsorción con carbón activado y “overliming” con hidróxido de calcio, entre otros (A. Chandel, da Silva, & Singh, 2013). Entre las metodologías presentadas, la técnica de “overliming” es la más utilizada debido a la eliminación parcial de los inhibidores tóxicos, tales como furfural y hidroximetilfurfural. Un método que está siendo utilizado en conjunto con la técnica de “overliming” para disminuir la concentración de ácido acético y fenoles de los hidrolizados es la adsorción con carbón activado ya que permite una mayor eficiencia en el proceso de remoción de compuestos tóxicos y prepara los hidrolizados para la etapa de fermentación (Alves, Felipe, Silva, Silva, & Prata, 1998; Cardona, Quintero, & Paz, 2010).

Microorganismos productores de etanol

El uso integral de la biomasa como fuente de materia prima lignocelulósica presenta la necesidad de estudiar los microorganismos que son capaces de convertir pentosas a etanol, tales como levaduras de los géneros *Candida*, *Scheffersomyces*, *Schizosaccharomyces*, *Kluyveromyces* y *Pachysolen*, hongos filamentosos como *Fusarium*, *Mucor*, *Monilia* y *Paecilomyces* y bacterias como *Clostridium*, *Bacillus*, *Bacteroides*, *Thermoanaerobacter* y *Erwinia*. Entre estos microorganismos las levaduras *Scheffersomyces shehatae*, *Scheffersomyces stipitis* y el hongo *Fusarium oxysporum* han presentado altos rendimientos de etanol (>0.45 g de etanol/g de xilosa) y productividades satisfactorias (>0.17 g/L/h) (Millati, Edebo, & Taherzadeh, 2005; Mussatto, Machado, Carneiro, & Teixeira, 2012; Singh, Kumar, & Schügerl, 1992).

Otra alternativa para la producción de etanol a partir de pentosas es el uso de microorganismos recombinantes (Eliasson, Christensson, Wahlbom, & Hahn-Hägerdal, 2000). Hay dos líneas principales de investigación de microorganismos recombinantes, los primeros tienen como objetivo la modificación del metabolismo de los microorganismos tradicionales productores de etanol (*Saccharomyces cerevisiae* y *Zymomonas mobilis*) para que puedan fermentar xilosa y arabinosa. El segundo introdujo genes de microorganismos que tienen la capacidad de metabolizar pentosas en etanol, tales como *Escherichia coli*, *Klebsiella oxytoca* y *Erwinia* (Dumsday, Jones, Stanley, & Pamment, 1997).

Aunque la eficiencia de microorganismos recombinantes es alta, muchas veces su uso en procesos industriales no es factible ya que éstos generalmente no son suficientemente estables y en muchos casos los medios de cultivo son complejos, lo que podría impedir el proceso a nivel industrial (Dumsday et al., 1997). Las levaduras como *Scheffersomyces stipitis* y *Scheffersomyces shehatae* han mostrado ser interesantes debido a que consiguen fermentar xilosa presentando altos rendimientos y aparentemente no producen xilitol como un subproducto (Nigam, 2002; Xavier et al., 2014). Además de estos factores, la levadura *Scheffersomycesstipitis* solo requiere la adición de nutrientes para la etapa de fermentación y es capaz de fermentar una variedad de azúcares, incluyendo celobiosa (Eken-Saraçoglu & Arslan, 2000; Nakamura, Sawada, & Inoue, 2001).

Varios estudios llevados a cabo en frascos Erlenmeyer y biorreactores usando las levaduras *Scheffersomyces stipitis* y *Scheffersomyces shehatae* han demostrado resultados prometedores en cuanto a la conversión de xilosa a etanol a partir de hidrolizados de biomasa lignocelulósica, por ejemplo, bagazo de caña de azúcar, paja de arroz, entre otros (Bellido, González-Benito, Coca, Lucas, & García-Cubero, 2013; Cadete et al., 2012; K. J. Dussan, Machado, Silva, & Da Silva, 2011).

Biorreactores utilizados en los procesos fermentativos

La elección del modelo de biorreactor para un proceso determinado, teniendo en cuenta la utilización de las técnicas de inmovilización o no, es una etapa muy importante, ya que el conocimiento de la cinética de la reacción y la forma como los reactores biológicos trabajan son fundamentales para la eficiencia del proceso (Doran, 1997). Cuando se trata del modelo de biorreactor a ser utilizado deben ser considerados aspectos como modo de operación, condiciones de proceso, configuración y tamaño del biorreactor, ya que estos aspectos ejercen un impacto significativo en el proceso (Schmidell, Lima, Aquarone, & Borzani, 2001).

La operación por lotes, especialmente en tanques agitados es una opción relativamente económica y flexible que puede ser utilizada en muchos procesos industriales; ya la operación continua requiere modelos específicos de biorreactores y presume un enorme gasto de capital para su implementación, pero tienen ventajas como menores costos de mantenimiento y control automático (Mazid, 1993).

Existen varias maneras de clasificar biorreactores. La Figura 2 presenta una forma mixta de clasificación que es la más utilizada hasta el momento.

En la producción de etanol, tanto para bebidas como para combustibles, diversas configuraciones de biorreactores emplean células inmovilizadas (Roukas, 1994). En la mayoría de los casos se utilizan en biorreactores de lecho empacado en lote o continuos, además de tanques agitados de flujo continuo (Goksungur & Zorlu, 2001). Así, varios modos de operación y configuraciones han sido probados y comparados, especialmente en cuanto a la eficiencia y la productividad en etanol. Entre estos biorreactores se pueden mencionar: de lecho fluidizado, de lecho empacado o reactores agitados operados en discontinuo o por lotes alimentados y de manera continua.

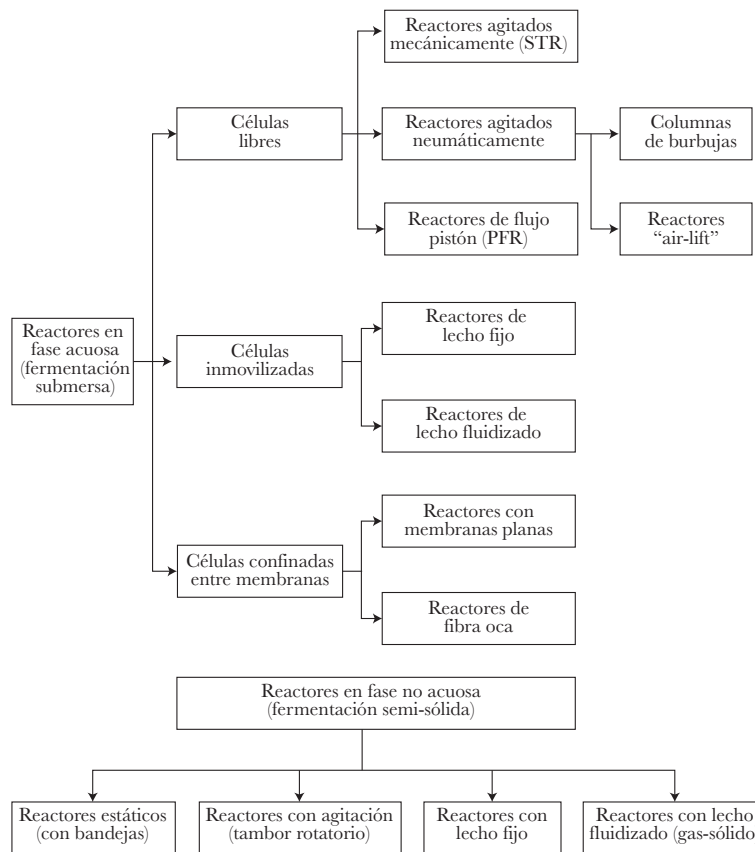


Figura 2. Clasificación general de los biorreactores. Adaptado de Schmidell et al. (2001).

El uso de células inmobilizadas permite obtener altas densidades de células en el reactor, y facilita su recuperación, permitiendo su uso en sistemas con lotes repetidos. La operación en los sistemas continuos también se ve facilitada, lo que permite el uso de altos flujos específicos de alimentación, evitando el “lavado del biorreactor”-“washout” (Ramakrishna & Prakasham, 1999). Varios soportes han sido utilizados en la fermentación alcohólica con células inmobilizadas, como por ejemplo, la fermentación de glucosa por las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* (Kishimoto, Nitta, Kamoshita, Suzuki, & Suga, 1997; Najafpour, Younesi, & Ku Ismail, 2004), *Kluyveromyces marxianus* (Riordan et al., 1996), y *Candida tropicalis* (Jamai et al., 2001) inmobilizadas en alginato de sodio y la levadura *Saccharomyces cerevisiae* inmobilizada en zeolita natural (Shindo, Takata, Taguchi, & Yoshimura, 2001) y en cascara de naranja (Plessas et al., 2007). La fermentación de mezclas de glucosa y xilosa por las células *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida shehatae* inmobilizadas en carregena-k (Nigam, 2000). La fermentación del suero por la levadura *Saccharomyces kefir* inmobilizada en un material celulósico deslignificado (Kourkoutas et al., 2002). Finalmente, diferentes tipos de biorreactores, tales como reactor de lecho fijo, reactor de lecho fluidizado y reactor de gas-lift han sido utilizados en los procesos de fermentación de azúcares utilizando biocatalizadores inmobilizados. Sin embargo, en hidrolizados hemicelulósicos provenientes de biomasa lignocelulósicas para producción de etanol son pocos los estudios encontrados con células inmobilizadas y en la mayoría de los casos son inmobilizadas en alginato de sodio (K.J. Dussan, 2013; Milessi, Antunes, Chandel, & da Silva, 2015).

Influencia de los campos magnéticos en células microbianas

Los efectos biológicos de los campos electromagnéticos de frecuencia baja han atraído la atención de muchos investigadores, no sólo por establecer los mecanismos básicos de esta interacción, sino también debido a sus aplicaciones prácticas posibles. Sin embargo, los mecanismos por los que estos campos pueden interactuar con el sistema biológico no están claros. Los efectos biológicos de los campos electromagnéticos han sido estudiados, especialmente en las células (mamíferos, células T, tejidos, tumores), biomoléculas, reacciones químicas, microorganismos (Polk & Postow, 1996) y en la interacción con las membranas celulares (Bauréus Koch, Sommarin, Persson, Salford, & Eberhardt, 2003).

Moore (1979) publicó sobre la estimulación e inhibición del crecimiento de cinco especies de bacterias y levaduras y encontró una dependencia entre la intensidad y la frecuencia del campo electromagnético y el tipo de bacterias. Esta estimulación e inhibición del crecimiento microbiano se ha estudiado por otros autores (Ceon, Martin, & Powell, 1987; Chacón et al., 1996; Fojt, Strasak, Vetterl, & Smarda, 2004; Ivanova, Hristov, Dobрева, Al-Hassan, & Penchev, 1996; Rao, Sonolihar, & Saheb, 1997). En particular, en un estudio sobre la influencia que el campo electromagnético ejerce sobre una suspensión celular de *Candida utilis* Y-660, fue observado que los campos electromagnéticos de frecuencia baja aceleran significativamente el crecimiento celular durante la fermentación en la fase sumergida en ciertas combinaciones de inducción electromagnética y tiempos de exposición (Chacón et al., 1996). Según Siannah, González, Melek, and Cabeza (1999) el campo electromagnético mostró una influencia positiva sobre el crecimiento de *Trichoderma viride* para la producción de biopesticida en un sistema de fermentación utilizando un soporte sólido en columnas de vidrio. Varios dispositivos generadores de campo magnético se han desarrollado para llevar a cabo la investigación sobre los efectos de los campos magnéticos en materiales biológicos. Estos dispositivos permiten exponer cultivos de células al campo magnético en sistemas pequeños, tales como placas de Petri, tubos inclinados o pequeños frascos y recipientes para suspensiones de células.

De acuerdo con estas observaciones se puede considerar que algunos de los efectos primarios de campo magnético constante y de frecuencia baja, al interactuar con los sistemas biológicos, presentan cambios o modificación de la permeabilidad y el potencial de reposo de las membranas celulares de los procesos favoreciendo unión por la existencia de receptores específicos (magnetosomas) hormona-receptor y mejora del acoplamiento específico, además de la estimulación en la síntesis de ADN, influyendo en el proceso de reproducción celular, entre otros (Perez, Reyes, Justo, Alvarez, & Alegre, 2007). En bioprocesos, la aplicación de campos magnéticos o electromagnéticos incluye una amplia gama de fenómenos que van desde cambios en las tasas de crecimiento, inhibición, estimulación y en la producción de metabolitos, entonces deben ser considerados como parámetros de análisis la intensidad de campo, la frecuencia, la forma de impulsos, la intensidad y el tiempo de exposición magnética (Hunt, Zavalin, Bhatnagar, Chinnasamy, & Das, 2009).

Los resultados contradictorios y la falta de reproducibilidad son problemas típicos en la investigación con campos magnéticos, y la diferencia entre los resultados obtenidos por diferentes investigadores pueden producirse

por varios factores tales como el tipo de sistema de generador de campo, la intensidad de campo, el tipo de dirección de flujo (oscilatoria o estática), el tiempo de contacto del microorganismo con el campo, la densidad celular y el medio de fermentación (por ejemplo, el tipo de medio y sus nutrientes) y otras condiciones físicas y químicas que afectan el proceso de bioestimulación por las fuerzas electromagnéticas (Hunt et al., 2009; Mittenzwey, Süßmuth, & Mei, 1996).

Birreactores asistidos por campos magnéticos o electromagnéticos visando la obtención de etanol

Biorreactores asistidos magnéticamente ofrecen ventajas potenciales sobre los reactores convencionales de lecho fluidizado, tales como la eliminación de mezcla de sólidos, baja caída de presión en el lecho, facilidad en el transporte de sólidos, así como la posibilidad de funcionar con altas velocidades de flujo e incluso operación en contracorriente. Estos biorreactores han sido considerados como sistemas eficientes junto con células y/o enzimas magnéticamente inmovilizadas para procesos de biocatálisis y biotransformación (Chun-Zhao, Feng, & Fan, 2009).

Algunos trabajos se refieren a la aplicación de campos magnéticos y electromagnéticos en procesos de fermentación alcohólica utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y recientemente procesos de producción de etanol de segunda generación utilizando hidrolizados hemicelulósicos y la levadura *Scheffersomyces shehatae*.

Ivanova et al. (1996) analizó la viabilidad de la aplicación del campo magnético de 800 a 2600 Gauss en el proceso de fermentación continua para la producción de etanol, con células de *Saccharomyces cerevisiae* inmovilizadas y medio de cultivo compuesto por glucosa con concentración de 110-180 g/L y nutrientes a 32°C. El proceso de fermentación fue realizado con campo magnético transversal al escoamiento del fluido. Los autores obtuvieron como resultado, un aumento en la concentración de etanol y velocidad de consumo del sustrato, comparado con el proceso convencional.

Motta, Montenegro, Stamford, Silva, and Silva (2001) estudiaron la influencia del campo magnético en el cultivo de *Saccharomyces cerevisiae* aplicando un campo magnético de 1100 y 2200 Gauss y analizaron el crecimiento celular y la actividad metabólica del microorganismo, calculada por el dióxido de carbono producido y por las alteraciones de pH del medio. Para el análisis del crecimiento de la biomasa, los frascos de vidrio conteniendo 10 mL de medio de fermentación (glucosa 2%) e inoculados con 10% de suspensión celular fueron incubados a 25°C y observados durante 24 h, tomando muestras a cada 2h. Un sistema de reactores idénticos fue montado para la determinación de la producción de CO₂, estando los frascos cerrados y en la presencia de un manómetro. Los resultados presentaron incremento en el crecimiento celular de 1.84% y en la producción de CO₂ de 36.1%, en la presencia de 2200 Gauss de campo magnético.

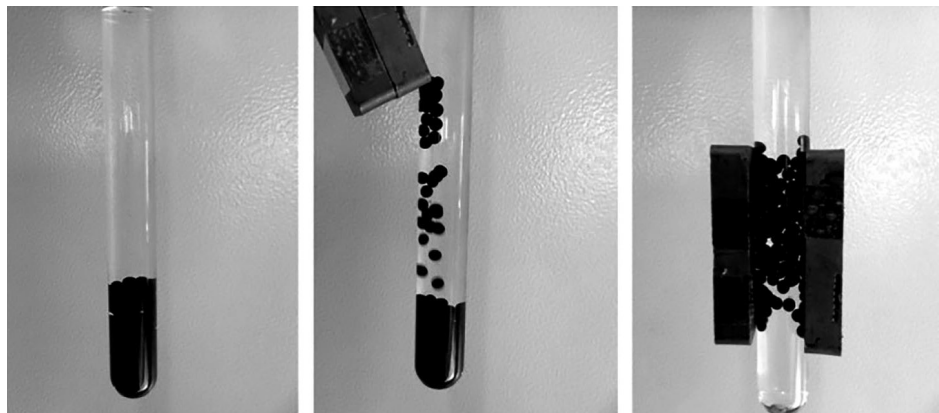
Da Motta, Muniz, Schuler, and Da Motta (2004) también estudiaron el efecto del campo magnético en la fermentación alcohólica, utilizando glucosa como sustrato. El sistema estaba compuesto por dos reactores de capacidad nominal de 200 ml, agitados mecánicamente a 23°C. Cinco pares de imanes fueron

colocados diametralmente opuestos alrededor de la pared de uno de los reactores, posibilitando la exposición de la levadura *Saccaromyces cerevisiae* DAUFPE-1012 con campo magnético de 2200 Gauss. Las muestras del medio de cultura, compuesto por extracto de levadura y glucosa (2%), fueron retiradas en intervalos de 2 h durante 24 h para la determinación de la concentración celular, de glucosa y de etanol. Los resultados mostraron un incremento de la concentración celular en 2.5 veces y de la concentración de etanol en 3.4 veces, en los cultivos magnetizados comparados con las que no fueron expuestas al campo.

Muniz, Marcelino, Motta, Schuler, and Motta (2007) evaluaron el efecto del crecimiento de *S. cerevisiae* bajo efecto del campo magnético constante en una fermentación por lotes. Los experimentos se llevaron a cabo en un tubo expuesto al campo con una intensidad de flujo de 220 mT producido por imanes de NdFeB opuestos diametralmente (N a S). En otro tubo, sin la presencia de imán, la fermentación fue realizada en las mismas condiciones (control), el medio de fermentación contenía sólo glucosa. Según los autores, la producción de biomasa celular fue más alta (2.5 veces mayor en comparación con el experimento sin campo) y como consecuencia la tasa de crecimiento fue mayor que la tasa de consumo de glucosa, esto como resultado de la aplicación de campo magnético lo que llevó a un aumento del proceso de producción biomasa.

Perez et al. (2007) estudiaron el efecto del campo magnético en la producción de etanol en una fermentación por lotes, utilizando caldo de caña como sustrato. El medio de cultivo del fermentador fue recirculado externamente por un tubo de acero inoxidable colocándolo en medio de dos generadores de campo magnético. La velocidad de recirculación y la intensidad del campo magnético variaron de 0.6-1.4 m/s y 50-200 Gauss, respectivamente. Los autores observaron un aumento de 17% en el rendimiento del proceso en la mejor condición de tratamiento (0.9-1.2 m/s y 200 Gauss). Mientras el proceso tradicional de fermentación demoró 15 h, con la aplicación de los imanes acoplados al biorreactor, este tiempo disminuyó a 12 h. Según los autores, la ganancia de producción fue posible, porque el campo magnético probablemente alteró el metabolismo de la levadura y aumentó la productividad, siendo este efecto justificado por la influencia potencial del campo magnético sobre las membranas celulares, alterando la permeabilidad del pasaje de nutrientes. Si la permeabilidad aumenta, el transporte de sustrato en el interior de la célula también aumenta, resultando en mayor producción de etanol.

Figura 3. Células de S. shehatae inmovilizadas en gel de alginato de sodio- Fe_3O_4 en presencia de imanes. Elaboración propia.



K.J. Dussan (2013) analizó la influencia de la configuración del campo magnético en el proceso de fermentación de hidrolizado hemicelulósico de bagazo de caña de azúcar empleando la levadura *S. shehatae* inmovilizada en un biopolímero con propiedades magnéticas. Las células fueron inmovilizadas por el método de aprisionamiento en gel de alginato de sodio. En la Figura 3 se muestran algunas imágenes de las células inmovilizadas y cómo se comportan en presencia de imanes.

Las fermentaciones para analizar el efecto del campo electromagnético sobre la producción de etanol fueron realizadas en un sistema experimental versátil (reactor de lecho fluidizado acoplado a una bobina), permitiendo estudiar el efecto del campo electromagnético para diferentes valores de inducción electromagnética sobre dos configuraciones de incidencia de la dirección de las líneas de campo, variando las líneas de campo en la dirección axial y transversal. Según la autora, el propósito de trabajar con sistemas estabilizados magnéticamente está enfocado en la reducción de los problemas de transferencia de calor y masa, característicos de sistemas empaquetados y de lecho fijo, sea con células inmovilizadas o cuando se trabaja con altas densidades celulares. Como resultado, K.J. Dussan (2013) mostró que las condiciones que favorecieron la producción de etanol fueron alcanzadas cuando se usó el sistema axial con una intensidad de 6A, probablemente porque la concentración de este campo en el sistema es más intensa y consecuentemente la estabilidad del lecho es mayor. Además, concluyó que la influencia del campo electromagnético fue positiva, observándose un aumento de 47% en la producción de etanol en relación al experimento control (sin campo).

Así, bajo estos efectos primarios, se están viabilizando los campos magnéticos y/o electromagnéticos en procesos de fermentación, con el fin de mejorar la producción de bioetanol y/o establecer avances tecnológicos que se irán a traducir en beneficios en términos de productividad.

Conclusiones

De un modo general, considerándose la aplicación de campos magnéticos y/o electromagnéticos, los estudios evidenciaron una influencia positiva del campo en las fermentaciones promoviendo un aumento en los rendimientos y productividades. La aplicación del campo es una herramienta mágica, especialmente en los procesos fermentativos. Los estudios establecen que no hay diseños adecuados tanto de biorreactores cuanto de unidades de magnetización desarrollados hasta el momento. Así, la aplicación de estos campos se presenta como una tecnología prometedora para los procesos de producción de etanol de segunda generación. También es importante resaltar que estos biocatalizadores magnéticos son fácilmente removidos del medio de fermentación, permitiendo su recuperación y posterior reutilización.

Bibliografía

- Alves, L. A., Felipe, M. G. A., Silva, J. B. A. E., Silva, S. S., & Prata, A. M. R. (1998). Pretreatment of sugarcane bagasse hemicellulose hydrolysate for xylitol production by *Candida guilliermondii*. *Appl Biochem Biotechnol*, 70-72(1), 89-98. doi: 10.1007/bf02920126
- Cadete, R. M., Melo, M. A., Dussán, K. J., Rodrigues, R. C. L. B., Silva, S. S., Zilli, J. E.,... Rosa, C. A. (2012). Diversity and Physiological Characterization of D-Xylose-Fermenting Yeasts Isolated from the Brazilian Amazonian Forest. *PLoS ONE*, 7(8), e43135. doi: 10.1371/journal.pone.0043135
- Cardona, C. A., Quintero, J. A., & Paz, I. C. (2010). Production of bioethanol from sugarcane bagasse: Status and perspectives. *Bioresour Technol*, 101(13), 4754-4766.
- Ceon, R., Martin, J. T., & Powell, M. R. (1987). Low-level, magnetic-field-induced growth modification of *Bacillus subtilis*. *Bioelectromagnetics*, 8, 275-282.
- Chacón, D. A., Haber, V. P., Fong, A. R., Mas, S. D., Serguera, M. N., & Rodriguez, O. J. (1996). Influence of the electromagnetic field in the growth of *Candida utilis* Y-660 yeast. *Tecnología Química*, 15-16, 52-60.
- Chandel, A., da Silva, S., & Singh, O. (2013). Detoxification of Lignocellulose Hydrolysates: Biochemical and Metabolic Engineering Toward White Biotechnology. *BioEnergy Research*, 6(1), 388-401. doi: 10.1007/s12155-012-9241-z
- Chandel, A. K., Giese, E. C., Antunes, F. A. F., Santos Oliveira, I. d., & da Silva, S. S. (2013). Pretreatment of Sugarcane Bagasse and Leaves: Unlocking the Treasury of "Green Currency". In Z. Fang (Ed.), *Pretreatment Techniques for Biofuels and Biorefineries* (pp. 369-391): Springer Berlin Heidelberg.
- Chun-Zhao, L., Feng, W., & Fan, O.-Y. (2009). Ethanol fermentation in a magnetically fluidized bed reactor with immobilized *Saccharomyces cerevisiae* in magnetic particles. *Bioresource Technology*, 100, 878-882.
- Da Motta, M. A., Muniz, J. B., Schuler, A., & Da Motta, M. (2004). Static magnetic fields enhancement of *Saccharomyces cerevisiae* ethanolic fermentation. *Biotechnol Prog*, 20(1), 393-396. doi: 10.1021/bp034263j
- Doran, P. M. (1997). *Bioprocess Engineering Principles*: Elsevier Science & Technology Books.
- Dumsday, G. J., Jones, K., Stanley, G. A., & Pamment, N. B. (1997). Recombinant organisms for ethanol production from hemicellulosic hydrolyzates - A Review of Recent Progress. *Australasian Biotechnology*, 7(4), 285-295.
- Dussan, K. J. (2013). *Produção de bioetanol a partir de hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar empregando as leveduras Scheffersomyces (Pichia) stipitis NRRL Y-7124 e Candida shehatae UFMG HM 52.2 visando à aplicação em bioprocessos com campo eletromagnético*. (Ph.D. Doutorado), Escola de Engenharia de Lorena - USP, Lorena.
- Dussan, K. J., Machado, E., Silva, S. P., & Da Silva, S. S. (2011). Comparative study of xylose fermentation with *Candida shehatae* HM52.2 and *Pichia stipitis* NRRL Y-7124. *Current Opinion in Biotechnology*, 22 (Supplement 1), S148-S148.

- Eken-Saraçoglu, N., & Arslan, Y. (2000). Comparison of different pretreatments in ethanol fermentation using corn cob hemicellulosic hydrolysate with *Pichia stipitis* and *Candida shehatae*. *Biotechnology Letters*, 22, 855-858.
- Eliasson, A., Christensson, C., Wahlbom, F., & Hahn-Hägerdal, B. (2000). Anaerobic Xylose Fermentation by Recombinant *Saccharomyces cerevisiae* Carrying XYL1, XYL2, and XYS1 in Mineral Medium Chemostat Cultures. *Applied and Environmental Microbiology*, 66 (8),3381-3386.
- Fojt, L., Strasak, L., Vetterl, V., & Smarda, J. (2004). Comparison of the low-frequency magnetic field effects on bacteria *Escherichia coli*, *Leclercia adecarboxylata* and *Staphylococcus aureus*. *Bioelectrochemistry*, 63, 337-341.
- Goksungur, Y., & Zorlu, N. (2001). Production of Ethanol from Beet Molasses by Ca-Alginate Immobilized Yeast Cells in a Packed-Bed Bioreactor. *Turkish Journal of Biology*, 25, 265-275.
- Hunt, R., Zavalin, A., Bhatnagar, A., Chinnasamy, S., & Das, K. (2009). Electromagnetic Biostimulation of Living Cultures for Biotechnology, Biofuel and Bioenergy Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(10), 4515-4558.
- Ivanova, V., Hristov, J., Dobрева, E., Al-Hassan, Z., & Penchev, I. (1996). Performance of a magnetically stabilized bed reactor with immobilized yeast cell. *Appl Biochem Biotechnol*, 59, 187-198.
- Jamai, L., Sendide, K., Ettayebi, K., Errachidi, F., Hamdouni-Alami, O., Tahri-Jouti, M. A.,... Ettayebi, M. (2001). Physiological difference during ethanol fermentation between calcium alginate-immobilized *Candida tropicalis* and *S. cerevisiae*. *FEMS Microbiology Letters*, 204, 375-379.
- Kishimoto, M., Nitta, Y., Kamoshita, Y., Suzuki, T., & Suga, K. I. (1997). Ethanol production in an immobilized cell reactor coupled with the recycling of effluent from the bottom of a distillation column. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 84, 449-454.
- Kourkoutas, Y., Psarianos, C., Koutinas, A. A., Kanellaki, M., Banat, I. M., & Marchant, R. (2002). Continuous whey fermentation using kefir yeast immobilized on delignified cellulosic material. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 2543-2547.
- Martín, C., Almazán, O., Marcet, M., & Jönsson, L. J. (2007). A study of three strategies for improving the fermentability of sugarcane bagasse hydrolysates for fuel ethanol production. *International Sugar Journal*, 109(1297), 33-39.
- Mazid, M. A. (1993). Biocatalysis and Immobilized Enzyme/Cell Bioreactors. *Nature Biotechnology*, 11(6), 690-695.
- Milessi, T. S., Antunes, F. A., Chandel, A. K., & da Silva, S. S. (2015). Hemicellulosic ethanol production by immobilized cells of *Scheffersomyces stipitis*: effect of cell concentration and stirring. *Bioengineered*, 6 (1), 26-32. doi: 10.4161/21655979.2014.983403
- Millati, R., Edebo, L., & Taherzadeh, M. J. (2005). Performance of *Rhizopus*, *Rhizomucor*, and *Mucor* in ethanol production from glucose, xylose, and wood hydrolyzates. *Enzyme and Microbial Technology*, 36(2-3), 294-300. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enzmictec.2004.09.007>

- Mittenzwey, R., Süßmuth, R., & Mei, W. (1996). Effects of extremely low-frequency electromagnetic fields on bacteria—the question of a co-stressing factor. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 40(1), 21-27. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0302-4598\(95\)00504-8](http://dx.doi.org/10.1016/0302-4598(95)00504-8)
- Moore, R. L. (1979). Biological effects of magnetic fields: studies with microorganisms. *Canadian Journal of Microbiology*, 25, 1145-1151.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M., & Ladisch, M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 96 (6), 673-686. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.025>
- Motta, M. A., Montenegro, E. J., Stamford, T. L., Silva, A. R., & Silva, F. R. (2001). Changes in *Saccharomyces cerevisiae* development induced by magnetic fields. *Biotechnol Prog*, 17(5), 970-973. doi: 10.1021/bp010076e
- Muniz, J. B., Marcelino, M., Motta, M. d., Schuler, A., & Motta, M. A. d. (2007). Influence of static magnetic fields on *S. cerevisiae* biomass growth. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50, 515-520.
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Carneiro, L. M., & Teixeira, J. A. (2012). Sugars metabolism and ethanol production by different yeast strains from coffee industry wastes hydrolysates. *Applied Energy*, 92 (0), 763-768. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.08.020>
- Najafpour, G., Younesi, H., & Ku Ismail, K. S. (2004). Ethanol fermentation in an immobilized cell reactor using *S. cerevisiae*. *Bioresource Technology*, 92, 251-260.
- Nakamura, Y., Sawada, T., & Inoue, E. (2001). Mathematical model for ethanol production from mixed sugars by *Pichia stipitis*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 76, 586-592.
- Nigam, J. N. (2000). Continuous alcoholic fermentation of glucose xylose mixtures by co-immobilized *S. cerevisiae* and *C. shehatae*. *Journal of Biotechnology*, 80, 189-193.
- Nigam, J. N. (2002). Bioconversion of water-hyacinth (*Eichhornia crassipes*) hemicellulose acid hydrolysate to motor fuel ethanol by xilose-fermenting yeast. *Journal of Biotechnology Progress*, 97, 107-116.
- Ojeda, K., & Kafarov, V. (2009). Energy analysis of enzymatic hydrolysis reactors for transformation of lignocellulosic biomass to bioethanol. *Chemical Engineering Journal*.
- Olsson, L., & Hahn-Hägerdal, B. (1996). Fermentation of lignocellulosic hydrolysates for ethanol production. *Enzyme and Microbial Technology*, 18 (5), 312-331.
- Palmqvist, E., & Hahn-Hägerdal, B. (2000). Fermentation of lignocellulosic hydrolysates. I: inhibition and detoxification. *Bioresource Technology*, 74 (1), 17-24.
- Parajó, J. C., Domínguez, H., & Domínguez, J. (1998). Biotechnological production of xylitol. Part 3: Operation in culture media made from lignocellulose hydrolysates. *Bioresource Technology*, 66 (1), 25-40.
- Perez, V. H., Reyes, A. F., Justo, O. R., Alvarez, D. C., & Alegre, R. M. (2007). Bioreactor Coupled with Electromagnetic Field Generator: Effects of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields on Ethanol Production by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnol Prog*, 23(5), 1091-1094. doi: 10.1021/bp070078k

- Plessas, S., Bekatorou, A., Koutinas, A. A., Soupioni, M., Banat, I. M., & Marchant, R. (2007). Use of *S. cerevisiae* cells immobilized on orange peel as biocatalyst for alcoholic fermentation. *Bioresource Technology*, 98, 860-865.
- Polk, C., & Postow, E. (1996). *Handbook of Biological Effects of Electromagnetic Field* (2nd ed.). New York: CRS Press.
- Quintero, J. A., Rincón, L. E., & Cardona, C. A. (2011). Chapter 11 - Production of Bioethanol from Agroindustrial Residues as Feedstocks. In A. P. L. C. R.-G. D. Gnansounou (Ed.), *Biofuels* (pp. 251-285). Amsterdam: Academic Press.
- Ramakrishna, S. V., & Prakasham, R. S. (1999). Microbial fermentations with immobilized cells. *Current Science*, 77(1), 87-100.
- Rao, T. B. M. L. R., Sonolihar, R. L., & Saheb, S. P. (1997). Influence of magnetic field on the performance of bubble columns and airlift bioreactor with submerged microorganisms. *Chemical Engineering Science*, 52(41), 55-60.
- Riordan, C., Love, G., Barron, N., Nigam, P., Marchant, R., McHale, L., & McHale, A. P. (1996). Production of ethanol from sucrose at 45°C by alginate-immobilized preparations of the thermotolerant yeast strain *Kluyveromyces marxianus* IMB3. *Bioresource Technology*, 55, 171-173.
- Roukas, T. (1994). Continuous ethanol production from carob pod extract by immobilized *Saccharomyces cerevisiae* in a packed-bed reactor. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 59 (4), 387-393. doi: 10.1002/jctb.280590412
- Schmidell, W., Lima, U. D. A., Aquarone, E., & Borzani, W. (2001). Modelagem matemática e simulação de processos fermentativos. In W. Schmidell, U. A. Lima, E. Aquarone, & W. Borzani (Eds.), *Biotecnologia Industrial* (pp. 123-178). São Paulo: Edgard Blucher.
- Shindo, S., Takata, S., Taguchi, H., & Yoshimura, N. (2001). Development of novel carrier using natural zeolite and continuous ethanol fermentation with immobilized *S. cerevisiae* in a bioreactor. *Biotechnology Letters*, 23, 2001-2004.
- Siannah, M., González, A., Melek, S., & Cabeza, D. (1999). Influencia del campo electromagnético en la propagación de *Trichoderma viride* mediante fermentación en estado sólido (FES). *Tecnología Química*, 19(3), 64-69.
- Singh, A., Kumar, P., & Schügerl, K. (1992). Bioconversion of cellulosic materials to ethanol by filamentous fungi *Enzymes and Products from Bacteria Fungi and Plant Cells* (Vol. 45, pp. 29-55). Berlin: Heidelberg.
- Xavier, A. M. R. B., Frazão, C. J. R., Pereira, S. R., Nogueira, V. S. i., Serafim, L. S., & Gorwa-Grauslund, M. F. (2014). Bioethanol Production: Adaptation of *Scheffersomyces stipitis* to Hardwood Spent Sulfite Liquor. *New Biotechnology*, 31, Supplement (0), S101. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nbt.2014.05.1853>

Obtención de bioetanol a partir de jugo de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L. Moench)

Obtaining Bioethanol From Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Juice

Benigno Ortiz-Muñiz³⁹
Javier Gómez-Rodríguez
María Guadalupe Aguilar-Uscanga
Noé Montes-García⁴⁰

Resumen

³⁹*Instituto Tecnológico de Veracruz*

⁴⁰*INIFAP Río Bravo*

En México ha iniciado el empleo de bioetanol como combustible mediante las leyes y las acciones concretas realizadas por PEMEX con la nueva ley energética. La producción de etanol a partir de jugo de sorgo dulce representa una opción biotecnológica para el aprovechamiento de este cultivo energético. Existen diferentes métodos para llevar a cabo la fermentación, no obstante la mejor estrategia es dependiente de las características de la levadura empleada y de la concentración de azúcares presentes en el jugo de sorgo. La purificación de etanol involucra la recuperación del dióxido de carbono, dos procesos de destilación y la deshidratación del etanol mediante el empleo de mallas moleculares. Estos procesos de recuperación representan una opción técnica y económicamente viable; siendo hasta el momento, la que conlleva a una mayor sustentabilidad del proceso.

Abstract

Mexico has begun the shift toward the use of bioethanol as fuel by changes in the laws and concrete actions by PEMEX. The production of ethanol from sweet sorghum juice is a biotechnology option for the use of this energy crop. There are different methods for carrying out the fermentation, however the best strategy is dependent on the characteristics of the yeast used and the concentration of sugars present in the juice sorghum. Purification of ethanol involves the recovery of carbon dioxide, two distillation processes and dehydration of ethanol by using molecular sieves. These recovery processes represent a technically and economically viable option; It is so far, which leads to greater sustainability of the process.

Introducción

El mercado mundial del bioetanol puede dividirse en tres vertientes, de acuerdo a sus destinos fundamentales como: combustible, uso industrial y en bebidas alcohólicas. El uso como combustible al transcurso de los años ha ido en aumento, en 1975 el etanol solo se empleaba para bebidas y uso industrial, para 1977 se empieza a utilizar como combustible. En el año 2007, el 81% de la producción

mundial fue empleada para mezclar o reemplazar petróleo y derivados (RFA, 2012). Si bien, el etanol anhidro puede ser utilizado directamente como combustible, su aplicación más común es en mezclas con gasolina. Es así que se conocen nomenclaturas tales como E10 y E85, que representan mezclas de etanol-gasolina con una concentración de etanol (en volumen) de 10 y 85% (RFA, 2012).

México tiene reservas probadas para satisfacer el consumo de gasolina hasta el año 2030 (PEMEX, 2014). Bajo esta situación el gobierno de México ha establecido políticas en búsqueda de alternativas para fuentes de energía no renovables. El 1° de febrero del 2008, se publicó en el Diario Oficial de la Federación la “Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos” que promueve el desarrollo bioenergético para lograr su diversidad y sostenibilidad. A finales de 2014 fue emitida la licitación de PEMEX P4LN029001 que establece la implementación de una mezcla de etanol-gasolina al 5.8% v/v, mediante la instalación de plantas productoras de etanol anhidro, estableciendo una necesidad de 123 millones de L/año, únicamente para los estados de Veracruz, Tamaulipas y San Luis Potosí (PEMEX, 2014).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias desarrolla un plan de investigación para generar tecnologías en cultivos, para obtener variedades e híbridos de sorgo dulce dirigidos a la producción de etanol de acuerdo al Programa Nacional de Bioenergéticos (INIFAP, 2011).

El sorgo dulce

El sorgo dulce (*Sorghumbicolor L. Moench*) es un cultivo C4 de la familia de las gramíneas, es una planta rica en azúcares, almidón y material lignocelulósico. Se caracteriza por tener una alta eficiencia fotosintética y es considerado uno de los cultivos agrícolas más resistentes a la sequía, ya que tiene la capacidad de permanecer inactivo durante los períodos más secos (Woods, 2000). Aunque es una planta originaria de zonas tropicales, el sorgo dulce se adapta bien a los climas templados. La planta llega a alcanzar una altura hasta de 220 cm o más, la cual dependerá del tipo de variedad (RB cañero, Dale, Etanol, Huasteco, Norteño u otra) y de las condiciones de cultivo y de la tierra. Esta planta puede ser un cultivo perenne anual o corto. La composición físico-química del sorgo dulce depende de la variedad, estadio de la planta y condiciones de cultivo (Almodares & Sepahi, 1996), teniendo en promedio: un jugo con un contenido en sólidos totales entre el 14 y 23% Brix (Hahn-Hagerdal, Galbe, Gorwa-Grauslund, Lidén, & Zacchi, 2006). En Estados Unidos, alrededor del 20% de la producción de sorgo dulce se utiliza para la producción de etanol, además tiene ventajas significativas al ser un cultivo no transgénico (Maunder, 2006).

Considerando que el 16% de la superficie total de México está destinada a la agricultura, es decir 30 millones de hectáreas, y el 61% de esta superficie es secano (el 45% con déficit severo de humedad, clima árido o semiárido), el sorgo dulce es factible de cultivarse en este tipo de tierras (SENER, 2006). En estados como Tamaulipas, Sinaloa, Nuevo León, Michoacán, Colima, Sonora, San Luis Potosí existen regiones con las características de suelo ya mencionadas sin necesidad de riego (INIFAP, 2011). El sorgo dulce es un cultivo que en México ocupa el segundo lugar en producción nacional y en apoyos gubernamentales

(SAGARPA, 2012). El sorgo dulce representa una opción para la producción de biocombustibles, como el bioetanol.

Producción de bioetanol

En el establecimiento de una fuente de energía renovable para cierta región, se deben tomar en cuenta ciertas consideraciones que establezcan su sostenibilidad. Los agrocombustibles deben tener la capacidad de reducir las emisiones de CO₂ (balance de carbono negativo, esto es, que se capture más CO₂ que el que se emita), no causar efectos colaterales sobre la alimentación y el medio ambiente y disminuir el consumo de fuentes energéticas no-renovables en su proceso de producción.

El etanol se obtiene a partir de la acción de microorganismos sobre azúcares fermentables (glucosa, xilosa, fructosa y sacarosa) como los que contiene el maíz, la caña de azúcar y el sorgo. Si bien es posible técnicamente obtener etanol de cualquier material orgánico que contenga azúcares, las principales materias primas son la caña de azúcar y el maíz, a partir de las cuales se genera más del 90% de la producción mundial de etanol.

El bioetanol producido a partir del jugo de sorgo dulce presenta una alta sostenibilidad ambiental, económica y energética: se atribuye un ahorro de gases de efecto invernadero de 70-71%, la sencillez técnica del proceso de transformación y el aprovechamiento de los subproductos garantiza la viabilidad económica tanto para plantas de escala pequeña, mediana y grande, siendo su Tasa de Retorno Energético (TRE) de 1.7 a 7.3. La Tasa de Retorno Energético (TRE) relaciona la energía útil que un proceso determinado produce (ER) entre la energía útil invertida (EI) para desarrollar y mantener ese proceso de transformación de energía. Para tener un proceso sostenible el cociente no puede ser menor a la unidad. Un recurso de energía renovable que tenga un valor elevado de la TRE será la mejor opción para poder desarrollarla, puesto que obtiene mayor cantidad de energía retornada por cada unidad de energía invertida (Ballenilla & Ballenilla, 2007). Por el momento la cadena de bioetanol a partir de sorgo dulce no se toma en cuenta debido a la falta de conocimientos acerca de sus potencialidades y a la falta de información o de un balance energético sobre la cantidad de energía que requiere el proceso y a la que éste produce.

La producción de etanol a partir del jugo dulce es un proceso que ya empieza a utilizarse en Brasil, como con la caña de azúcar. El proceso de fermentación es previsto en continuo en cascada utilizando un tren de fermentadores y un tanque semilla. La concentración de alcohol se eleva desde 6-7% (vol) en el primer fermentador a 9-10 % (vol) en el último. La temperatura se mantiene entre 33 y 35 °C (Partida-Sedas, en proceso).

Los métodos empleados para la producción de etanol son: procesos en lote, en lote alimentado y continuos.

En el proceso a partir de la cuba madre, la levadura crece bajo condiciones aeróbicas en concentraciones bajas de sustrato (70 gL⁻¹), después de aproximadamente 10 horas se obtienen concentraciones de biomasa entre 60 y 80x10⁶ cel/mL⁻¹, y éstas son transferidas a la cuba de fermentación, ocupando aproximadamente un 30% del volumen total y se alimenta el sustrato azucarado

concentrado (melazas de caña de azúcar o remolacha, por ejemplo) hasta obtener una concentración de azúcar alrededor de 220 gL⁻¹. Este proceso se realiza sin aireación, y en un tiempo de 36 a 48 horas se obtiene alrededor del 10 a 16 % v/v de etanol, con productividades entre 2.2 y 3.6 g L⁻¹ h⁻¹, dependiendo del sustrato empleado (Gilis, 1999).

El proceso con recirculación de células se lleva a cabo de manera similar al proceso a partir de la cuba madre, sólo que al terminar la fermentación se separan las levaduras del medio. La crema de levadura obtenida puede ser llevada a una cuba de regeneración durante un corto periodo de tiempo en presencia de aire, transcurrido este tiempo se obtienen alrededor de 2x10⁸ cel/mL⁻¹ que se alimentan a la cuba de fermentación teniendo como resultado tiempos de fermentación de 36 a 48 horas, obteniendo productividades entre 3.2 y 4.8 g L⁻¹ h⁻¹ y concentraciones del 19 al 21% de etanol (Cot, 2007).

En modo de operación en lote alimentado deriva del cultivo por lote, donde el sustrato es alimentado durante la fermentación con el fin de evitar la inhibición por sustrato. La producción de etanol se divide en dos etapas: una fase de crecimiento y una fase de producción de etanol (Cot, 2007). Con este método, se han alcanzado concentraciones entre 19 y 21 %v/v; y en tiempo entre 20 y 48 horas con productividades de hasta 12 gL⁻¹h⁻¹, en los cuales se manejan estrategias de alimentación de cofactores y de la fuente de carbono (Alfenore, Molina-Jouve, Guillouet, Uribelarrea, Goma, & Benbadis, 2002).

Los procesos continuos tienen como ventaja general un incremento en la productividad de cualquier proceso, entre los procesos continuos se encuentran principalmente el multietapa y el continuo en cuba única, también conocido como Proceso BIOSTIL (Gilis, 1999).

El cultivo continuo multietapa consiste en una serie de cinco a ocho fermentadores colocados en serie, obteniendo concentraciones de etanol de 16.7 %v/v con productividades de 12 a 18 gL⁻¹h⁻¹ (Cot, 2007).

El cultivo continuo de cuba única (BIOSTIL) fue propuesto en los años 80 por la Compañía Alfa-Laval. Este método consta de un fermentador único aireado donde se tienen dos alimentaciones: la primera proviene de la alimentación fresca de medio y la segunda de la recirculación de levaduras y vinazas. En cuanto a la forma de realizar la recirculación existen diferentes métodos, como la centrifugación y la sedimentación; sin embargo, se destacan los procesos de membrana que permiten altas densidades celulares y confieren menor daño a las células; obteniendo concentraciones de alcohol del 12 %v/v con productividades de 30 a 40 gL⁻¹h⁻¹ a partir de un medio enriquecido en sólidos, disminuyendo el volumen de vinazas obtenidas (Cot, 2007).

Todos los métodos descritos anteriormente presentan ventajas y desventajas, sin embargo, la selección del método a emplear es dependiente de la concentración de azúcares presentes en el jugo de sorgo y de las características de la levadura empleada, la cual idealmente debe encontrarse adaptada a las condiciones presentes en el jugo de sorgo, tales como el pH, la osmotolerancia, la resistencia a etanol y la temperatura del proceso.

El caldo de fermentación debe separarse de la biomasa, obteniendo una mezcla de glucosa, etanol, agua, glicerol, ácido acético y bióxido de carbono. El producto de interés (etanol) está contenido en dicha mezcla. Los pasos para la

recuperación de etanol son mostrados en la Figura 1. El gran volumen de bióxido de carbono permitió la agitación del medio de cultivo durante la fermentación, pero ahora debe ser separado. El primer paso de la purificación del etanol es minimizar la concentración del bióxido de carbono en el caldo de fermentación. Esta operación se hace en un separador de fases, obteniendo en el domo el CO_2 con una mayor pureza. Una pequeña cantidad de etanol y agua es atraída por el gas hacia el domo. El bióxido de carbono es recuperado mediante la inyección de agua a 25° C. El gas producido en los fermentadores lleva una cierta cantidad de etanol. Por tal motivo, este flujo de CO_2 se lava con agua en un destilador y de esta manera poder recuperar el etanol. Este último debe ser recirculado a los fermentadores. El bióxido de carbono se puede vender para gasificar bebidas y obtener un beneficio económico (Guzmán-Hernández, 2015).

El fluente de la columna separadora, tiene la mayor cantidad de etanol contenido en el caldo de fermentación. El cual será recuperado para ser llevado a la columna concentradora previo a la columna azeotrópica. Lo anterior es necesario, pues se tiene un etanol hidratado con al menos 6% v/v de etanol. Por lo tanto se debe concentrar hasta 96%, situación que conlleva a un paso intermedio (columna concentradora). De esta manera se evitará tener una columna azeotrópica con platos teóricos infinita. La columna concentradora pierde muy poco del producto principal. También es importante destacar que en el vapor sólo se recuperan los compuestos más volátiles, motivo por el cual el glicerol se queda en el fondo de la columna. Las vinazas son un subproducto contaminante que tiene que ser tratado antes de ser descargado al medio ambiente.

Una vez concentrado el caldo de fermentación éste tiene una segunda concentración, pues tiene que pasar de 50% v/v a 96% v/v. En la columna azeotrópica se forma un azeótropo agua-etanol que es imposible separar pues están fuertemente unidos. Por esta razón es necesario una deshidratación del etanol en una columna con tamices moleculares. En la columna azeotrópica se obtiene varios subproductos, el Fusel es una mezcla de alcoholes terciarios, cuaternarios entre otros. Los cuales son formados a partir del etanol, es decir que moléculas de etanol se unieron unas con otras como consecuencia de la temperatura (Guzmán-Hernández, 2015).

El etanol azeotrópico debe de ser deshidratado para obtener el producto principal etanol anhidro (99.5% v/v). Para esta etapa se emplean tamices moleculares debido a que es la operación unitaria para deshidratar el etanol altamente empleada en la industria del combustible. También es importante destacar que la inversión de energía para este proceso es menor comparado con las otras tecnologías, además que no se emplea otro insumo como es el caso de la destilación azeotrópica, la cual utiliza el benceno (derivado del petróleo) para separar el agua del etanol formando otro azeótropo benceno-agua más fuerte que el del agua-etanol. La destilación al vacío tiene costos de capital elevados que hace su empleo en la industria poco atractiva (Quintero, Montoya, Sánchez, & Cardona, 2007).

Los tamices moleculares son esperas o cilindros de origen natural o artificial (aluminosilicatos de potasio), se emplean zeolitas sintéticas (tamices moleculares) de tipo 3 Ångstroms y polares. De esta manera las moléculas de

agua de diámetro de 2.8 Ångstroms y polares son captadas por el poro del tamiz (diámetro de 3 Ångstroms) mientras que las moléculas de etanol con diámetro de 4.4 Ångstroms pasan sin ser adsorbidas como consecuencia de su mayor tamaño y ser poco polares.

Para disminuir el consumo de zeolitas, se requieren dos columnas deshidratadoras (Figura 2). Las cuales se estarán utilizando intercaladamente para producir etanol anhidro. Una columna (columna 1) producirá vapores de etanol súper calentados bajo presión, mientras que la otra (columna 2) se estará regenerando en condiciones de vacío por medio de una recirculación del 15% de vapores de etanol provenientes de la columna 1. La columna 2 está saturada con agua, debido al primer flujo de etanol proveniente de la columna azeotrópica fue deshidratado en ella. La regeneración (remoción de agua) de la columna 1 y 2 se hace pasando además de los vapores de etanol con una corriente de gas caliente (N_2 o CO_2) a 1.378 kPa. El dióxido de carbono recuperado de la fermentación de etanol puede ser empleado, si es químicamente puro. Regenerando cada columna las zeolitas pueden durar hasta por 10 años (Guzmán-Hernández, 2015).

El rendimiento de etanol es de 87 L por tonelada de jugo dulce procesado. La eficiencia (expresado como la relación de la cantidad de etanol producido a la máxima recuperación de etanol teórico) alcanza un 94 % (Partida-Sedas, en proceso).

Conclusiones

El uso del jugo de sorgo dulce para la producción de etanol, desde el punto de vista de sustentabilidad, tiene un valor estratégico superior como un combustible del motor debido a la escasez de energías renovables de alta calidad combustibles para vehículos líquidos. La producción de etanol a partir de jugo de sorgo dulce representa una opción biotecnológica para el aprovechamiento de este cultivo energético. Además, la purificación de etanol considerando la recuperación del dióxido de carbono, procesos de destilación y el empleo de mallas moleculares representan la opción técnica, económicamente y hasta el momento, la que conlleva a una mayor sustentabilidad del proceso.

Bibliografía

- Alfenore, S., Molina-Jouve, C., Guillouet, S. E., Uribebarrea, J. L., Goma, G., & Benbadis, L. (2002). Improving ethanol production and viability of *Saccharomyces cerevisiae* by a vitamin feeding strategy during fed-batch process. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 60, 67-72.
- Almodares, A., & Sepahi, A. (1996). Comparison among sweet sorghum cultivars, lines and hybrids for sugar production. *Ann Plant Physiol*, 10, 50-55.
- Ballenilla, M., & Ballenilla, F. (2007). La tasa de retorno energético. *El Ecologista*, 55, 24-58.
- Cot, M. (2007). Etudes physiologiques de l'adaptation et de la résistance de la levure *Saccharomyces cerevisiae* au cours de la production intensive d'éthanol. Tesis Doctoral. Toulouse, Francia: INSA.
- Gilis, F. (1999). Etude de Contaminations de Fermentations alcooliques Industrielles par les levures *Brettanomyces*. Tesis Doctoral. Toulouse, Francia: INPT.
- Guzmán-Hernández, R. (2015). Diseño de una planta de producción de etanol anhidro a partir del almidón de papa *Solanum tuberosum L.*, utilizando una fermentación en cocultivo *Aspergillus niger* y *Saccharomyces cerevisiae*. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Bioquímica. Veracruz: Instituto Tecnológico de Veracruz.
- Hahn-Hagerdal, B., Galbe, M., Gorwa-Grauslund, M., Lidén, G., & Zacchi, G. (2006). Bio-ethanol - the fuel of tomorrow from the residues of today. *Trends in Biotechnology*, 24(12), 549-556.
- INIFAP. (2011). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Obtenido de <http://www.inifap.gob.mx>
- Maunder, B. (2006). Sorghum: The global grain of the future. Recuperado el Agosto de 2013, de <http://www.sorghumgrowers.com/Sorghum+101>.
- Partida-Sedas, G. (en proceso). Producción de etanol a partir de sorgo dulce. Tesis de Doctorado. Veracruz: Instituto Tecnológico de Veracruz.
- PEMEX. (2014). Petróleos Mexicanos. Obtenido de <http://www.pemex.com>
- Quintero, U. A., Montoya, M. I., Sánchez, O. J., & Cardona, C. A. (2007). Evaluación de la deshidratación de alcohol carburante mediante simulación de procesos. Recuperado el 12 de Abril de 2014, de <http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol5/8.pdf>
- RFA. (2012). Renewable Fuels Association. Obtenido de <http://www.ethanolrfa.org>
- SAGARPA. (2012). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx>
- SENER. (2006). Secretaría de Energía. Obtenido de <http://www.sener.gob.mx>
- Woods, J. (2000). Integrating Sweet sorghum and sugarcane for bioenergy: Modelling the potential for electricity and ethanol production in SE Zimbabwe. Ph.D. Thesis. London.: Kings College.

Lista de Figuras

Figura 1. Proceso de recuperación de etanol mediante destilación y deshidratación (Elaboración propia).

Figura 2. Deshidratación de etanol con tamices moleculares (Elaboración propia).

Obtención de moléculas bioactivas a partir de la cáscara de café

Bioactive molecules production from coffee husk

Thamires de Fatima Andrade Duro⁴¹

*Boutros Sarrouh

Juan Daniel Rivaldi⁴²

Resumen

⁴¹Universidade Federal de São João Del Rei. Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos. Caixa Postal: 131- CEP 36 420 000. Ouro Branco, MG/Brasil. *Contacto: bsarrouh@ufsj.edu.br

⁴²Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena. Departamento de Ciências Básicas e Ambientais. CEP 12602-810. Lorena, SP/Brasil.

El café es uno de los productos agroindustriales más producidos en Brasil, destacándose el estado de Minas Gerais, también se produce en otros países de Latinoamérica, como Colombia. Este fruto tiene como subproducto la cáscara en una proporción 1:1. Generalmente, estas materias orgánicas eran utilizadas como enriquecedor de suelos (abono) y ración animal, con uso limitado debido a la presencia de factores antinutricionales. Actualmente, la presencia de compuestos bioactivos en la cáscara de café ha despertado el interés de diversas industrias del ramo alimenticio, cosmético y farmacéutico. Las diversas biomoléculas presentes en los polímeros de lignina, por ejemplo; como los ácidos fenólicos, poseen características benéficas para la salud humana, actuando como antioxidantes, antimutagénicos e antimicrobianos, además de influir en la reducción de la incidencia de enfermedades degenerativas. Para el aprovechamiento de dichas moléculas, se requiere de pre-tratamientos que permitan la separación de la fracción lignocelulósica. Este capítulo presenta las características de la cáscara de café y las principales biomoléculas con propiedades bioactivas presentes en su estructura lignocelulósica.

Abstract

Coffee is one of the most agro-industrial commodities produced in Brazil, mainly highlighting the state of Minas Gerais, and other Latin American countries such as Colombia. This fruit produces coffee husk as a main byproduct in a 1:1 ratio. Generally, these organic materials were used for enriching soil (fertilizer) and animal feed, with limitation due to the presence of anti-nutritional factors. Currently, the presence of bioactive compounds in coffee husk has attracted interest from various industries related to food, cosmetic and pharmaceutical product. The different biomolecules present in the lignin polymer, for example; phenolic acids, possess beneficial characteristics to human health by acting as antioxidants, and antimicrobial antimutagenic, besides influencing the reduction in the incidence of degenerative diseases. For the use of such molecules, coffee husk requires pre-treatments procedures that allow solubilization of the lignin fraction. This chapter presents the chemical characteristics of the coffee husk and the major biomolecules with bioactive properties present in its lignocellulosic structure.

Introducción

En las últimas décadas, la generación de residuos orgánicos aumentó de forma significativa en función de las actividades industriales, urbanas, agrícolas y pecuarias (Lima et al., 2014). Debido al elevado crecimiento poblacional, y consecuentemente, a la elevada demanda de alimentos, el uso indiscriminado de recursos y la generación de grandes volúmenes de residuos, surgen y se agravan los problemas asociados con la disposición final y la contaminación potencial. Para minimizar los efectos negativos provocados por descarte inadecuado en el medio ambiente, los residuos agroindustriales, además de ser utilizados como ración animal y fertilizante (abono natural), vienen siendo estudiados como fuente potencial de biomoléculas de gran interés agroindustrial.

Entre los sectores agroindustriales de importancia en la economía brasileña, se destaca la industria cafetera, que caracteriza al país como el mayor productor y exportador mundial de café. Según datos de la Compañía Nacional de Abastecimiento (CONAB-Brasil), la producción brasileña de café en 2014 fue de 45,3 millones de bolsas (60 kg), siendo el estado de Minas Gerais el mayor productor con casi 50% de la producción nacional, con un área plantada de 1 238 270 ha, siendo la especie arábica predominante (98,87%) en dicho estado (CONAB, 2015).

Durante el procesamiento de café, cerca de 6% en peso del fruto es destinado a la producción de polvo utilizado en la preparación de bebidas, siendo 94% subproductos como pulpa y cáscara (Yoshida, 2005). En décadas pasadas, la preocupación por el destino de las cáscaras generadas por el procesamiento de frutos de café era nula, como ejemplo, en la década de los años 40, cerca de 77 millones de bolsas de café verde fueron quemadas, lanzadas al mar y/o enterradas. El interés por la reducción de los problemas ambientales ha estimulado, de forma significativa, la búsqueda por alternativas para el aprovechamiento y destino final de los residuos de café (Matos, 2014). Debido a la concentración de componentes tóxicos como cafeína, polifenoles y taninos, la cáscara no posee utilización definida, a pesar de ser constituida por varias biomoléculas (carbohidratos, proteínas, ácidos grasos y pectinas) que pueden ser utilizados como substrato en diferentes bioprocesos (Soccol, 2002).

Entre los progresos alcanzados para la utilización de cáscara de café para fines industriales, actualmente se destaca la producción de energía (Kondamudi, Mohapatra, & Misra, 2008), soporte sólidos para adsorción de compuestos (Franca, Oliveira, & Ferreira, 2009) y fabricación de aglomerados e insumos como etanol, ácido giberélico y α -amilasa (Bekalo & Reinhardt, 2010; Torres et al., 2009; Machado et al., 2002; Murthy, Naidu, & Srinivas, 2009). Además de estas alternativas, los extractos provenientes del fruto de café, por contener flavonoides, taninos, ácido quínico y ácido ferúlico, encuentran aplicación para la obtención de productos cosméticos destinados al cuidado de la piel (Farris, 2007).

En trabajos de investigación realizados por Ramírez-Coronel et al. (2004) las principales clases de fenoles encontradas en subproductos de café de la variedad Arábica fueron los polifenoles, ácidos hidroxicinámicos, flavonoides y antocianidinas. Ramírez-Martínez (1988) identificó una variedad

de compuestos fenólicos obtenidos a partir de la pulpa de café de gran interés farmacéutico y alimenticio. Entre los compuestos fenólicos identificados se incluye el ácido clorogénico (ácido 5-cafeoilquínico representando 42,2% de total de compuestos), epicatequina (21,6%), ácido 3,4-dicafeoilquínico (5,7%), ácido 3,5-dicafeoilquínico (19,3%), ácido 4,5-dicafeoilquínico (4,4%), catequina (2,2%), rutina (2,1%), ácido protocatecuico (1,6%) e ácido ferúlico (1,0%).

De esta forma, los residuos provenientes del procesamiento del café muestran un futuro prometedor como fuente potencial de insumos y productos fitoquímicos para la industria farmacéutica y de alimentos, principalmente, debido a su amplia diversidad composicional. En este capítulo se analiza el potencial de la cáscara de café como materia prima renovable en procesos de hidrólisis alcalina (deslignificación) para la obtención de licor rico en moléculas bioactivas de interés tecnológico.

Residuos agroindustriales renovables

Las materias primas lignocelulósicas son consideradas las fuentes renovables más abundantes de la naturaleza, constituidas mayoritariamente por residuos agroindustriales, residuos urbanos y maderas de angiospermas y gimnospermas (Szengyel, 2000). La biomasa lignocelulósica está constituida por tres principales fracciones: lignina, celulosa y hemicelulosa, unidas entre sí por enlaces de carácter covalente formando una red resistente a microorganismos (Jeffries, 1990). Estas materias primas presentan un gran potencial para ser utilizadas en procesos industriales como en la producción de alimentos, combustibles, insumos químicos, enzimas y bienes de consumo diversos, sin embargo, cuando son acumuladas en el ambiente ocasionan problemas como polución ambiental e inducen la pérdida de valiosos recursos (Latif & Rajoca, 2001; Lynd et al., 2005).

Los materiales lignocelulósicos presentan ventajas por ser abundantes, renovables, poseer bajo costo de producción y altos índices de rendimiento (Balat et al., 2008; Balat, 2011). Por tanto, el desarrollo de procesos viables que utilicen estos residuos agroindustriales para la obtención de productos de mayor valor agregado, constituye uno de los grandes desafíos que podrían contribuir a la reducción de impactos ambientales causados por las disposiciones finales inadecuadas.

Entre los residuos agroindustriales renovables, la cáscara de café es caracterizada por la composición lignocelulósica rica en diferentes biomoléculas, siendo los carbohidratos representados por la celulosa y hemicelulosa que constituyen más de 50% de su peso seco. Debido a la presencia de sustancias tóxicas como cafeína (1,2%), taninos (6,3%) y polifenoles, la cáscara es considerada antinutricional (Soccol et al., 2002). Este subproducto, juntamente con la pulpa, es recomendado y utilizado en la alimentación de rumiantes, siendo adicionado en un 30% en el concentrado para vacas en lactantes y 40% en el concentrado para novillos confinados (Barcelos, et al., 2001). Debido a la gran disponibilidad de residuos en las regiones cafeteras, se promueven pesquisas para buscar diferentes medios de utilización de estas materias primas (Barcelos, et al., 2001).

Composición química de los residuos lignocelulósicos

Los residuos lignocelulósicos son constituidos básicamente por tres diferentes polímeros: celulosa, hemicelulosa y lignina. Los dos primeros son polisacáridos y la lignina es un material polifenólico complejo. Estos componentes se enlazan por fuerzas covalentes y no-covalentes de manera a mantener la integridad estructural del vegetal de que forman parte (Scheufele, 2012). La proporción de estos polímeros varía de acuerdo con la especie vegetal del cual son originados conforme indicado en la Tabla 1.

Residuos	Hexosanas (Hemicelulosa)	Pentosas (Celulosa)	Lengina	Cenizas
Cáscara de café	25	37	15	8
Bagazo de caña de azúcar	33	30	29	4
Mazorca de maíz	42	39	14	2
Paja de arroz	32	24	13	12
Cáscara de arroz	36	15	19	20
Aserrín	55	14	21	5
Paja de sorgo	33	18	15	10
Paja de trigo	30	30	18	10

Tabla 1. Composición (%) de diferentes residuos agrícolas.

Fuente: (adaptada de Kuhad & Singh, 1993)

La celulosa está presente principalmente en la pared secundaria de los vegetales, constituyendo entre 40 a 50% de casi todas las plantas (Ogeda & Petri, 2010). Este compuesto orgánico encontrado de forma abundante en la naturaleza, se caracteriza por ser un polímero lineal constituido por moléculas de glucosa anhidra unidas por enlaces glicosídicos β -(1-4) con grado de polimerización entre 5.000 y 7.500 unidades de D-glucosa en plantas (Ogeda; Petri, 2010). La celulosa es utilizada como base para la fabricación de papel, fibras, aditivos y otros productos industriales.

La hemicelulosa es un polímero heterogéneo altamente ramificado, amorfo y con bajo grado de polimerización, variando entre 50 y 300 unidades monoméricas (Alvarenga, 2013). Este polímero se compone por hexosas (glucosa, manosa y galactosa) y por pentosas (xilosa y arabinosa), pudiendo presentar ácidos urónicos y desoxihexosas en algunas especies (Furlan, 2009). Las hemicelulosas son depositadas en la pared celular del vegetal antes de la lignificación, actuando como un compuesto de reserva y sustentación (Nascimento, 2011).

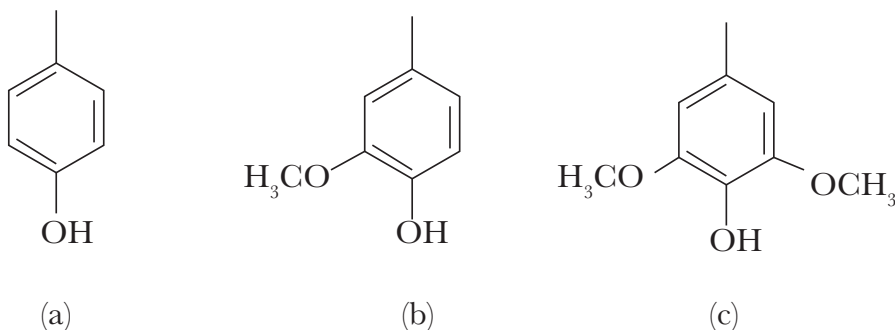
La última fracción componente del material lignocelulósico es la lignina. En biomasa vegetal, la lignina confiere rigidez a la pared celular, originando una estructura resistente a impactos, compresión y flexión, además de conferir resistencia a ataques microbianos y hacer la pared celular hidrofóbica, permitiendo el desarrollo eficiente de los tejidos para el transporte de agua en plantas vasculares (Moraes, Nascimento & Melo, 2005; Önnnerud, et al., 2002). Esta macromolécula es considerada de mayor abundancia en la naturaleza, después de la celulosa, representando entre 20 y 30% del total de lignocelulósicos (Fasanella, 2008). La lignina puede ser removida para producir ácidos fenólicos,

vainillina y ácido ferúlico que son utilizados en la industria farmacéutica, como aromatizante en la industria de alimentos y en la industria cosmética.

La lignina es un polímero fenólico complejo constituido por una estructura amorfa de alta masa molecular, fuertemente aromático e insoluble en agua, más soluble en soluciones básicas concentradas o solventes orgánicos (Scheufele, 2012). Este compuesto heterogéneo es formado por la polimerización oxidativa de tres precursores fenilpropanoides monoméricos: alcohol sinapílico (siringil propanol), alcohol coniferílico (guaicil propanol) y alcohol cumarílico (propanol p-hidroxifenil) unidos entre sí, y con los polisacáridos presentes en la pared celular por enlaces éter y carbono-carbono (Figura 1) (Fasanella, 2008). Los monómeros varían en proporción de acuerdo con la especie de planta, siendo los enlaces β -O-4 los más frecuentes (Jeffries, 1994; Hofrichter, 2002; Önerud, et al., 2002).

La lignina es de gran interés científico y económico debido a su naturaleza aromática y compleja, sin embargo, el gran potencial de las ligninas no es aprovechado satisfactoriamente. Casi la totalidad de la lignina es quemada para la generación de energía, siendo una cantidad limitada utilizada en aplicaciones como adhesivos, biomateriales, bioinsecticidas, bioestabilizantes y como abono (fertilizante) (Kleinert, & Barth, 2008; Stewart, 2008; Lora, & Glasser, 2002). Los compuestos fenólicos derivados de la lignina, por ejemplo, pueden ser convertidos a éteres de arila y utilizados como aditivos en gasolina, en cuanto que solventes y ácidos orgánicos pueden ser sintetizados por craqueo químico y alquilación (Fanasella, 2008).

Figura 1: Precursores de la lignina: unidades de hidroxifenil (a), guaicil (b) y siringil (c) (Saliba et al. 2001).



Una de las limitaciones del aprovechamiento de la lignina está relacionada con la propia estructura lignocelulósica, ya que generalmente es necesario romper el complejo celulosa-lignina-hemicelulosa, o remover cada fracción por técnicas de pre-tratamiento, como la hidrólisis alcalina (deslignificación).

La extracción alcalina de la lignina, a partir de la explosión a vapor, por ejemplo, puede originar una serie de compuestos fenólicos de interés comercial como el siringaldehído, p-hidroxibenzaldehído y vainillina (esencia de vainilla), producidas por oxidación de los productos de la hidrólisis (Fanasella, 2008).

De esta forma, la falta de tratamiento de la biomasa dificulta su aprovechamiento en procesos industriales, una vez que la asociación de sus fracciones confiere gran resistencia al ataque de agentes químicos, enzimáticos o microbianos (Cunha, 2006).

Hidrólisis de la lignina en medio alcalino-deslignificación

Existen varias técnicas de pretratamiento que son empleadas en materiales lignocelulósicos *in natura*, los cuales presentan una estructura rígida y recalcitrante (Oliveira, 2010). La pulpación con soda o sulfito, pulpación Kraft y pulpación organosolvente son algunos métodos conocidos para remover la lignina de la biomasa vegetal (Sanchez, & Cardona, 2008). Estos procesos de remoción emplean agua y requieren el uso de solventes orgánicos en elevadas concentraciones para que ocurra la ruptura de los enlaces y posterior remoción de la lignina (Rossi, 2012).

El hidróxido de sodio es uno de los agentes alcalinos más efectivos y ha sido utilizado para tratar diversos tipos de materiales lignocelulósicos (Soto et al., 1994). El pretratamiento con soda fue el primer método químico de pulpación reconocido. En este proceso se utiliza una solución alcalina fuerte de hidróxido de sodio para deslignificación de trozos y astillas de madera (Bonfatti Jr., 2010). La remoción de lignina de un material fibroso utilizando el método de hidrólisis alcalina, o deslignificación, consiste en el mismo procesos de pulpación con soda, pero en condiciones de reacción más amenas (concentración de álcali de máximo 4% y temperaturas de 70 °C) (Silva, 2009). Su acción provoca la ruptura de la estructura de la lignina por la saponificación de los grupos ésteres, liberando de esa forma los ácidos fenólicos de interés.

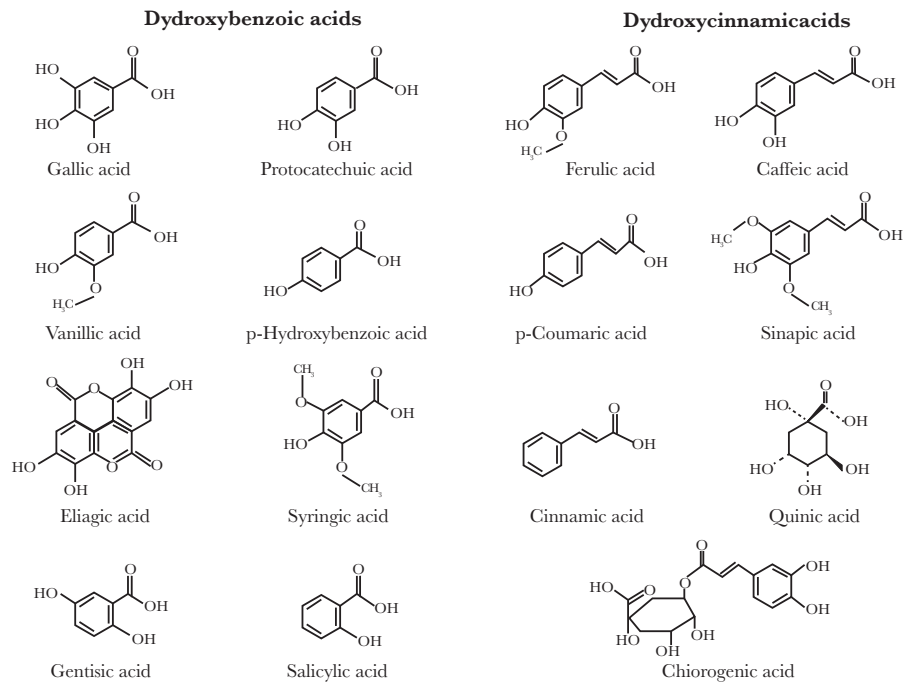
El pretratamiento con álcali posee ventajas cuando comparado con métodos ácidos, una vez que utiliza condiciones más amenas y la remoción de la fracción de lignina no actúa degradando otros componentes importantes (Balat et al., 2008). Esta forma de remoción también posibilita la utilización de esos polímeros importantes que permanecen íntegros, permitiendo el máximo aprovechamiento del material separado. Como los residuos lignocelulósicos son abundantes, varios trabajos son realizados para separación de la fracción celulosa-lignina-hemicelulosa. El pre-tratamiento de la biomasa es esencial y permite la obtención de un producto de interés industrial. Nascimento (2011), por ejemplo, utilizó el pretratamiento alcalino con hidróxido de sodio de bagazo de caña de azúcar para producir etanol y obtener xilooligómeros. Aguiar y Lucena (2011) utilizaron el pretratamiento con hidróxido de sodio para evaluar la producción de celulosas producidas por el hongo *Aspegillus niger* en bagazo de caña de azúcar, paja de trigo y paja de maíz. De esta forma, existiendo varios trabajos relacionados con el pre-tratamiento alcalino con hidróxido de sodio, poco se sabe de investigaciones relacionadas con la cáscara de café, principalmente en relación al tratamiento y la diversidad de compuestos bioactivos que este residuo puede ofrecer.

Compuestos bioactivos obtenidos a partir de la lignina solubilizada

Los alimentos de origen vegetal presentan compuestos no nutricionales (fitoquímicos) con actividades biológicas consideradas promotoras de la salud, tal como la actividad antioxidante, antiinflamatoria e hipocolesterolemica. La posibilidad de reducir el riesgo de enfermedades a través de la dieta, ha atraído la atención de la comunidad científica y de las industrias alimenticias, con el objetivo común de desarrollar “alimentos funcionales”, o alimentos ricos en uno o más compuestos o componentes bioactivos que presentan efectos positivos en la salud (Pinto, 2008).

Los compuestos fenólicos son definidos como sustancias que poseen anillo aromático con uno o más sustituyentes hidroxílicos, incluyendo sus grupos funcionales y representan la mayor categoría de agentes fitoquímicos (Lee et al., 2005). Estos compuestos se encuentran ampliamente distribuidos en el reino vegetal, como derivados de las vías del ácido siquímico (también ácido shiquímico) y aceto-melonato y son incluidos en la categoría de neutralizadores de radicales libres, siendo eficientes en la prevención de la auto-oxidación. En alimentos, son responsables por el color, astringencia, aroma y estabilidad oxidativa (Balasundram, Sundram, & Samman, 2006). Los tres mayores grupos de fenólicos son los flavonoides, los ácidos fenólicos y los polifenoles (taninos).

Figura 2. Ejemplos de compuestos fenólicos encontrados en plantas (Martins et al., 2011).



Los ácidos fenólicos comprenden los ácidos benzoicos y sus derivados (hidroxibenzoico, gálico, elágico, etc) y los ácidos cinámicos y derivados (cumárico, caféico, ferúlico e clorogénico) (Figura 2). Ácidos hidrobenczoicos son componentes de complejas estructuras de los taninos hidrolizables y son menos abundantes en los vegetales consumidos por los humanos. Los ácidos hidroxicinámicos están presentes en varios alimentos y bebidas de origen vegetal como el café, hierba mate, cereales, entre otros (Manach et al., 2004; Clifford, 1999).

Flavonoides son compuestos polifenólicos biosintetizados a partir de la vía de los fenilpropanoides y de acetato, precursores de varios grupos de sustancias como aminoácidos alifáticos, terpenoides, ácidos grasos, entre otros (Mann, 1987). Estos compuestos participan de importantes funciones en el crecimiento, desarrollo y en la defensa de vegetales contra ataques de microorganismos patógenos (Dixon & Harrison, 1990) y están presentes en la mayoría de las plantas, concentrados de semillas, frutos, cáscaras, raíz, hojas y flores (Feldmann, 2001). Los flavonoides poseen una estructura básica formada por C6-C3-C6, siendo los compuestos más diversificados del reino vegetal.

Pueden ser divididos en 14 clases, dependiendo de la sustitución y del nivel de oxidación del anillo C3, siendo seis clases incluidas en la dieta humana. La clasificación de los grupos comprende a los flavanoles (catequina, epicatequina); flavonoles (quercetina, kaempferol y quercetina); flavonas (rutina, apigenina y luteoleína); antocianidinas (cianidina, petunidina, malvidina); isoflavonoides (genisteína, coumestrol) y las flavonas (mirecetina, hesperidina, naringina, naringenina). Los flavonoides también difieren en la sustitución de los anillos A y B, los cuales pueden ser encontrados en la naturaleza bajo la forma de aglicona, glicósidos y/o derivados metilados y/o acilados, las modificaciones en el anillo central de esas sustancias llevan a las clases citadas anteriormente como flavonoles, antocianidinas, sucesivamente (Coutinho, Muzitano, & Costa, 2009; Silva, 2004).

Los taninos son polímeros de alto peso molecular divididos en dos clases: taninos hidrolizables, que comprenden polímeros de ácidos gálico o elágico, encontrados en frutas como fresas o uva Muscadine (*Vitis rotundifolia*) y en las nueces; y los taninos condensados, polímeros de catequina o epicatequina (King; Young, 1999). Los polifenoles están constituidos por unidades monoméricas de fenol, cuya molécula de fenol está formada por un anillo aromático enlazado a un grupo hidroxilo (-OH). Los fenólicos son considerados los componentes más importantes de las especiarías y otros materiales derivados de plantas, siendo reportada la correlación entre la alta concentración de fenólicos y la capacidad antioxidante de los vegetales (Hu & Skibsted, 2002). Para que un polifenol pueda ser definido como antioxidante es necesario satisfacer dos condiciones básicas: primero, cuando presente en bajas concentraciones en relación al sustrato, debe bloquear, retardar o prevenir la auto-oxidación o la oxidación mediada por un radical libre; segundo, el radical resultante formado después del secuestro debe ser estable en los enlaces de hidrogeno intramoleculares. La actividad antioxidante de los ácidos fenólicos y de sus ésteres depende del número de grupos hidroxilos de la molécula, y es reforzada por el impedimento estérico (Rice-Evans, Miller, & Paganga, 1996).

Los compuestos fenólicos, en general, son muy utilizados en la industria de alimentos como agentes de prevención de oxidación lipídica. Ácidos fenólicos, específicamente, actúan como antioxidantes proporcionando aumento de vida útil de alimentos de 15 a 200% (Soares, 2002). En los últimos años, los compuestos bioactivos vienen siendo estudiados debido a la capacidad de promover beneficios para la salud humana, actuando en la reducción de la incidencia de enfermedades degenerativas, tales como cáncer y diabetes (Kim et al, 2009). Otros beneficios de estos compuestos incluyen propiedades antimutagénicas, antialérgicas, efectos antiinflamatorios y antimicrobianos (Ham et al. 2009; Parvathy et al. 2009). Debido a estas características benéficas para la salud, diferentes frutos, legumbres, plantas agrícolas y residuos agroindustriales vienen siendo estudiados como fuente de compuestos fenólicos bioactivos.

Conclusión

Las posibles aplicaciones de los residuos agroindustriales están siendo estudiados por diversos investigadores para la obtención de productos de interés en gran escala y bajo costo para minimizar los impactos ambientales de su disposición inadecuada. Brasil se convierte en el objetivo de estos estudios, principalmente por su diversidad en el sector agroindustrial, siendo una fuente atractiva para estudios de diferentes bioprocesos. Poco se sabe del potencial de reutilización de muchos residuos provenientes de la agroindustria, como las cáscaras de café. Debido a su gran diversidad de composición, este subproducto se muestra altamente viable para la extracción de biocompuestos de interés industrial a partir de su fracción lignocelulósica, como flavonoides, ácidos fenólicos y polifenoles (taninos).

Bibliografía

- Aguiar, C. M & Lucena, S. L. (2011). Produção de celulases por *Aspergillus niger* e cinética de desativação celulásica. *Acta Scientiarum Technoly*, 33(4), 385-391.
- Alvarenga, M. L. (2013). Pirólise de residuos de embalagens cartonadas e seus componentes puros: uma avaliação cinética. Dissertação em mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. São Mateus, ES, Brasil.
- Balasundram, N., Sundram, K., & Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agroindustrial byproducts: antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chem*, 99, 191–203.
- Balat, M. (2011). Production of bioethanol from lignocellulosic materials via the biochemical pathway: a review. *Energy conversion and management*. Barking. V. 52, n. 2, p. 858-875.
- Balat, M.; Balat, H.; Öz, C. (2008). Progress in bioethanol processing. (V. 34, n. 5, p. 551-573). Amsterdam: Progress in Energy and Combustion Science.
- Barcelos, A. F.; Paiva, P.C.A.; Pérez, J.R.O.; Santos, V.B.; Cardoso, R.M. (2001). Fatores Antinutricionais da Casca e da Polpa Desidratada de Café (*Coffea arabica* L.) Armazenadas em Diferentes Períodos. (v. 30, n. 4). Viçosa: Revista Brasileira de Zootecnia.
- Bekalo, S. A., & Reinhardt, H. W. (2010). Fibers of coffee husk and hulls for the production of particleboard. *Materials and Structures*, 43, 1049–1060.
- Bonfatti Jr, E. A. (2010). Caracterização das propriedades anatômicas, química e densidade da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J. C. Wendl., para a produção de celulose Kraft com diferentes cargas de Álcali. Graduação. Universidade de Brasília. Brasília, DF, Brasil.
- Clifford, M. N. (1999). Chlorogenic acids. In: Clarke, R. J.; Macrae, R. (Ed.). *Coffee Chemistry* v. 1, London: Elsevier Applied Science. p. 153-202.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. (2015). Acompanhamento da Safra Brasileira Café Safra 2015 primeira estimativa. Brasília.
- Coutinho, M. A. S.; Muzitano, M. F., & Costa, S. S. (2009). Flavonóides: Potenciais agentes terapêuticos para o processo inflamatório. (v. 1, n.3, p. 241-256). Rio de Janeiro: Revista Virtual Química.

- Cunha, M. A. A. (2006). Bioprodução de xilitol a partir de hidrolisado de bagaço de cana-de-açúcar em sistemas com células de *Candida guilliermondii* imobilizadas em géis de álcool polivinílico. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Lorena, SP, Brasil.
- Dixon R. A., & Harrison, M. J. (1990). Activation, structure, and organization of genes involved in microbial defense in plants. *Adv Genet*, 28, 165-234.
- Farris, P. (2007). Idebenone, green tea, and Coffeeberry® extract: New and innovative antioxidants. *Dermatologic Therapy*, 20, 322–329.
- Fasanella, C. C. (2008). Ação das enzimas ligninolíticas produzidas por *Aspergillus niger* e *Penicillium sp.* em bagaço de cana-de-açúcar tratado quimicamente. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP, Brasil.
- Feldmann, K.A. (2001). Cytochrome P450s as genes for crop improvement. *Curr Opin Plant Biol*, 4,162-7
- Furlan, V.J.M. (2009). Produção de bioetanol a partir de resíduos lignocelulósicos da agroindústria do arroz. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, RS, Brasil.
- Gouvea, B. M., Torres, C., Franca, A. S., Oliveira, L. S., & Oliveira, E. S. (2009). Feasibility of ethanol production from coffee husks. *Biotechnology Letters*, 31, 1315–1319.
- Ham S-S, Kim S-H, Moon S-Y, Chung MJ, Cui C-B, Han E-K, et al. (2009). Antimutagenic effects of subfractions of Chaga mushroom (*Inonotus obliquus*) extract. *Mutat Res Gen Toxicol*, 672, 55–9.
- Hofrichter, M. (2002). Review: lignin conversion by manganese peroxidase (MnP). (v. 30, p. 554-556). New York: Enzyme and Microbial Technology.
- Hu, M., & Skibsted, L. H. (2002). Antioxidative capacity of rhizome extract and rhizome knot extract of edible lotus (*Nelumbo nucifera*). *Food Chemistry*, v. 76, p. 327-333.
- Jeffries, T. W. (1990). Biodegradation of carbohydrate ceomplexes. *Biodegradation*, 1, 163-176.
- Jeffries, T. W. (1994). Biodegradation of lignin and hemicelluloses In: Ratledge, C. (Ed). *Biochemistry of microbial degradation*. Netherland: Kluwer Academic Plubishers. 590 p.
- Kleinert, M., & Barth, T. (2008). Phenol from lignin. *Chemical Engineering and Technology*. 31, 736-745.
- Kim G-N, Shin J-G, Jang H-D. (2009). Antioxidant and antidiabetic activity of Dangyuja (*Citrus grandis* Osbeck) extract treated with *Aspergillus saitoi*. *Food Chem*, 117, 35–41.
- King, A.; Young, G. (1999). Characteristics and occurrence of phenolic phytochemicals.(v. 99, n. 2, p. 213-218). Chicago: J. Am. Diet. Assoc.
- Kondamudi, N., Mohapatra, S. K., & Misra, M. (2008). Spent coffee grounds as a versatile source of green energy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 11757–11760.
- Kuhad, R. C., & Singh, A. (1993). Lignocellulose Biotechnology: Current and Future Prospects. *Critical Reviews in Biotechnology*,13, 151-173.
- Latif, F., & Rajoka, M. I. (2001). Production of Ethanol And Xylitol From Corn Cobs By Yeasts. *Bioresource Technology*, 77, 57-63.

- Lee, S. J.; Umano, K.; Shibamoto, T.; LEE, K. G. (2005). Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum*) and thyme leaves (*Thymes vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food Chemistry*, 91(1), 131-137.
- Lima, L. K. S.; Santos, C. C.; Moura, M. F. C.; Dutra, A. S.; Filho, A. F. O. (2014). Utilização do resíduo oriundo da torrefação do café na agricultura em substituição a adubação convencional. (v.10, n.1, p. 14-19). Campus de Patos, PB, Brasil: Revista ACSA.
- Lynd, R. L.; Van zyl, W. H.; McBride, J. E.; Laser, M. (2005). Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update. *Current Opinion in Biotechnology*, 16, 577–583.
- Lora, J. H., & Glasser, W. G. (2002). Recent industrial application of lignin: a sustainable alternative to nonrenewable materials. *Journal of Polymers and the Environment*, 10, 39-48.
- Machado, C.M. M., Soccol, C. R., de Oliveira, B. H., & Pandey, A. (2002). Gibberellic acid production by solid-state fermentation in coffee husk. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 102–103, 179–191.
- Mann J. (1987). *Secondary metabolism*. (p.374.) Oxford: Clarendon Press.
- Manach, C.; Scalbert, A.; Morand, C.; Rémesy, C.; Jimenez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *American Journal of Clinical Nutrition*, 79, 727-747.
- Martins, S., Mussatto, S.I., Martínez-Avila, G., Montañez-Saenz J, Aguilar, N.C., Teixeira A.J. (2011). Bioactive phenolic compounds: Production and extraction by solid-state fermentation. A review. *Biotechnology Advances*, 29:365–373.
- Matos, L. P. C. (2014). Compostos fitoquímicos e atividade antioxidante de casca do café. Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, PR, Brasil.
- Moraes, S. A. L.; Nascimento, E. A., & Melo, D. C. (2005). Análise da madeira do *Pinus oocarpa* Parte II – Caracterização estrutural da lignina de madeira moída. (v. 29, n° 3, p. 471-478). Viçosa, MG, Brasil: Revista *Árvore*.
- Murthy, P. S., Naidu, M. M., & Srinivas, P. (2009). Production of α -amylase under solidstate fermentation utilizing coffee waste. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 84, 1246–1249.
- Nascimento (2011). Pré-tratamento alcalino (NaOH) do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de etanol e obtenção de xilooligômeros. Dissertação em mestrado. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, Brasil.
- Yoshida, L. M. (2005). Extração de solúveis do café torrado. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, MG, Brasil.
- Ogeda, T. L.; Petri, D.F.S. *Hidrólise Enzimática de Biomassa*. (2010). *Quím. Nova*, 33,(7),1549-1558.
- Oliveira, F.M. V. (2010). Avaliação de diferentes pré-tratamentos e deslignificação alcalina na sacarificação da celulose de palha de cana. Dissertação em mestrado. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo. Lorena, SP, Brasil.

- Önnerud, H.; Zhang, L.; Gellerstedt, G.; Henriksson, G. (2002). Polymerization of monolignols by redox shuttle – mediated enzymatic oxidation. *The Plant Cell*, 14,1953-1962.
- Parvathy KS, Negi PS, Srinivas P. (2009). Antioxidant, antimutagenic and antibacterial activities of curcumin- β -diglucoside. *Food Chem*, 115, 265–71.
- Pinto, M.S. (2008). Compostos bioativos de cultivares brasileiras de morango (*Fragaria x ananassa* Duch):caracterização e estudo da biodisponibilidade dos derivados do ácido elágico. Tese em doutorado.Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.
- Ramírez-Coronel, M. A., Marnet, N., Kolli, V. S. K., Roussos, S., Guyot, S., & Augur, C. (2004). Characterization and estimation of proanthocyanidins and other phenolics in coffee pulp (*Coffea arabica*) by thiolysis-high-performance liquid chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 1344–1349.
- Ramírez-Martínez, J. R. (1988). Phenolic compounds in coffee pulp: Quantitative determination by HPLC. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 43, 135–144.
- Rice-Evans, C.A.; Miller, N.J., & Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology & Medicine*, 20,933-956.
- Rossi, G. F. Análise dos processos de polpação do bagaço da cana-de-açúcar:estudo termocinético da influência da antraquinona no tratamento alcalino. (2012). Tese em doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil.
- Sánchez, O.J., & Cardona, C.A. (2008). Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresource Technology*, 99,5270–5295.
- Saliba, E. O. S.; Rodriguez, M. N.; Morais, S. A. L.; Piló-Veloso, D. (2001). Ligninas – Métodos de obtenção e caracterização química. *Ciência Rural*, 31(5), 917-928.
- Scheufele, F. B. Bioconversão de resíduos agroindustriais por micro-organismos do bioma amazônico produtores de enzimas lignocelulolíticas. (2012). Dissertação em mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Centro de Engenharia e Ciências Exatas. Toledo, PR. Brasil.
- Silva, M.deB.S.(2004).Flavonóides com capacidade antioxidante.Disponível em: Acesso em:13 mai. 2015.
- Silva, V. F. N. (2009). Estudos de pré-tratamento e sacarificação enzimática de resíduos agroindustriais como etapas no processo de obtenção de etanol celulósico. 2009. 116p. Dissertação em mestrado. Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, SP, Brasil.
- Soares, S. E. (2002). Ácidos Fenólicos como Antioxidantes. *Revista de Nutrição*, 15(1), 71-81.
- Socol, C. R. (2002). Resíduo de Café: Um substrato promissor para a produção industrial de bioprodutos com alto valor agregado. In: I Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/handle/10820/19>>. Acesso em 25 out 2014.

- Soto, M. L.; Domínguez, H.; Núñez, M. J.; Lema, J. (1994). Enzymatic saccharification of alkali-treated sunflower hulls. *Bioresource Technology*, 49, 53-59.
- Stewart, D. (2008). Lignin as a base material for materials applications: chemistry, application and economics. *Industrial Crops and Product*, 27, 202-207.
- Szengyel, Z. (2000). Ethanol from wood cellulose enzyme production. Tese de Doutorado, Lund University. Sweden, Suécia.

Biotechnologías en la mejora genética en animales de interés agropecuario en México

Biotechnologies in the genetic improvement of agriculture and livestock in Mexico

Adelfa del Carmen García Contreras⁴³

Camelia Alejandra Herrera Corredor⁴⁴

Oscar Manuel Portilla Rivera⁴⁵

María Dolores Saavedra Leos

Resumen

⁴³Facultad de Veterinaria, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, México

⁴⁴Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México

⁴⁵Coordinación Académica Región Huasteca Sur, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Tamazunchale, San Luis Potosí, México

La biotecnología de la reproducción inició alrededor de 1950 con el desarrollo de la inseminación artificial, seguido de la transferencia de embriones en 1970. La biotecnología de la reproducción comprende técnicas que van desde la inseminación artificial hasta la clonación, estas técnicas han permitido aumentar la eficiencia reproductiva de los animales que sirven como materia prima para la alimentación humana, así como, importantes avances en la investigación biomédica. Las biotecnologías aplicadas en la mejora genética en animales de interés agropecuario incluyen inseminación artificial, producción *in vivo* e *in vitro* de embriones, crio preservación de embriones y gametos.

Abstract

Biotechnology of reproduction start around 1950 with the development artificial insemination, followed by embryo transfer in 1970. The reproduction biotechnology includes techniques ranging from artificial insemination to cloning, these techniques have increased the reproductive efficiency of animals that serve as raw material for food, as well as major advances in biomedical research. Biotechnologies applied in genetics improvement animals agricultural interests include artificial insemination *in vivo* and *in vitro* production of embryos, cryopreservation of embryos and gametes.

Palabras clave: Biotecnología, Fecundación *in vitro*, biotecnologías de la reproducción.

Introducción

La ganadería es una actividad productiva y fundamental para la economía de México, de esta actividad depende un gran número de familias, desde el punto de vista de ingresos y como fuente de proteína obtenida de productos derivados de esta actividad como carne, leche y todos sus derivados. En el 2013 la SAGARPA (Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) a través del SIAP (Servicio de Información Agroalimentario y Pesca) reportó un inventario de 32 402 46 cabezas de bovino (carne y leche). El

92.3% está destinado a la producción de carne y solo el 7.7% para producción de leche. A pesar de que el ganado bovino se orienta a la producción de carne, el crecimiento del inventario nacional y por tanto la producción de carne ha sido baja, de 1990 al 2000 solo aumentó en un 23.7% y un 20.5% del 2000 al 2013, según las estadísticas del SIAP, no solo no se mantuvo la producción en 20 años sino que disminuyó. Las causas de este fenómeno pueden tener muchas explicaciones entre las que podríamos citar los efectos climáticos que en los últimos años han afectado al país, como prolongadas sequías en la región norte y centro; unidas a inundaciones sufridas en algunas zonas del sur y sureste, esto generó importantes cambios sobre los vientres, que al haber pasado por periodos prolongados de estrés nutricional, tardarán más tiempo en quedar gestantes y por tanto, la siguiente producción de becerros se verá disminuida o, afectada en el mejor de los casos, pues está ampliamente descrito que el estrés nutricional genera una disminución de la persistencia y el tamaño del folículo dominante, alteración en la población de folículos y alteración en la ovulación (Mollo y Sartori., 2007; Garnsworthy et al., 2008).

La mejora y diversidad de las líneas de sangre en el ganado ha sido tradicionalmente mediante la importación de animales nacidos y más recientemente a través del uso de semen. En los últimos años en todo el mundo, la aplicación de las biotecnologías para coleccionar embriones antes de la implantación, conservarlos congelados durante extensos periodos y posteriormente descongelarlos y transferirlos al tracto reproductivo de madres receptoras, así como la producción mediante FIV provee una nueva alternativa a los medios convencionales de mejora genética. La biotecnología de la reproducción comprende técnicas que van desde la inseminación artificial hasta la clonación (Thibier M., 2005), estas técnicas han permitido aumentar la eficiencia reproductiva de los animales que sirven como materia prima para la alimentación humana. Una de las biotecnologías más utilizadas en todo el mundo es la inseminación artificial, esta técnica es utilizada en explotaciones ganaderas y pequeñas permitiendo el mejoramiento genético. En los últimos treinta años, la producción de embriones bovinos mediante la aplicación de la biotecnología se ha convertido en un negocio que ha generado gran impacto en la economía mundial. La transferencia de embriones ha sido ampliamente utilizada en la industria ganadera y comercial de bovinos de leche y carne. En la actualidad, la producción de embriones mediante biotecnologías tales como la fecundación *in vitro* (FIV) se utiliza para crear nuevas razas y acelerar la progresión genética y de esta forma aumentar el ganado vacuno de cría y producción (Greve et al., 2005; Mapletoft y Hasler, 2005; Lonergan, 2007; Wu y Zan, 2012). La Sociedad Internacional de Transferencias de Embriones (IETS) presentó los datos recogidos en el 2013 sobre las actividades de transferencia de embriones en animales domésticos en el año 2012 a nivel mundial. Reportando que en el 2012, la producción fue de un total de 1 143 119 de embriones obtenidos *in vivo* (IV) y por fecundación *in vitro* (FIV), de los cuales el 61% (699 586) fueron embriones producidos IV y 39% (443 533) fueron embriones de FIV. A pesar de que la tecnología requerida para la producción de embriones mediante FIV es altamente costosa y especializada, la producción de embriones FIV aumentó en cuatro años de un 15% a un 39% evidenciando así un

importante aumento del ganado vacuno de cría y producción (Stroud, 2009; Chair, 2013). La criopreservación de espermatozoides y embriones así como el uso de semen sexado en conjunto con la producción de embriones *in vitro* es un proceso potencialmente eficaz que permite obtener descendencia de sexo predeterminado y satisfacer las necesidades del mercado (Wheeler et al., 2006).

La situación actual de México en cuanto al uso y transferencia de biotecnologías es realmente pobre, en el 2012 solo reporto una producción de embriones del 0.3 % de la producción mundial mientras que Brasil transfirió el 68% de los embriones que se produjeron únicamente por FIV, posicionándose como el principal productor de embriones FIV en latino américa. A pesar de que el panorama ganadero de nuestro país es muy limitado en cuanto al uso de biotecnologías para mejorar la genética y aumentar la producción, algunos profesionales apuestan por la producción de embriones para la mejora de los hatos tal es el caso de dos empresas ubicadas en el país. Brasuca en Tabasco que desde el 2005 pone al alcance del ganadero mexicano, biotecnología que permite la reproducción masiva de hembras bovinas genéticamente superiores producidas mediante FIV y la empresa Genemex Internacional fundada en el 2011 en el estado de Chiapas. Ambas empresas son muy jóvenes comparado con los 30 años que la biotecnologías han beneficiado a la ganadería en otros países de América como Brasil, Argentina y sin duda USA.

Otra especie que en México se perfilan como fuente de proteína es la oveja, en el 2012 México reportó la obtención de 156 embriones IV, una cifra muy modesta comparada con Australia que reportó 7 000 embriones FIV. México está muy lejos de ser una potencia en producción de embriones *in vitro* esto podría deberse a la comodidad de obtener tanto embriones como semen sexado de USA y a lo costosa y especializada que es el área, sin embargo el uso de embriones y semen sexado es una realidad en nuestro país, por ejemplo en el 2012 las Asociaciones de la Unión Ganadera Regional del Norte de Veracruz recibió de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesca (SEDARPA), como parte de las acciones del programa de mejoramiento genético, 3 mil dosis de semen de alta calidad de ganado Brahmán, Simbrah y Beefmaster, con el objetivo de enriquecer los hatos de la entidad. En el estado de Guerrero en el 2006 se entregaron los primeros 60 embriones y 6 termos criogénicos para el traslado de germoplasma. En el 2013 se concluye la construcción del centro de acopio y distribución de nitrógeno líquido y semen bovino en el municipio de San Marcos, de la región Costa Chica, con el objetivo de fomentar y mejorar la genética de bovinos en todo el estado, así como mejorar el precio del nitrógeno y semen (Diario21).

El uso de las biotecnologías para la producción de embriones asegura medidas sanitarias y esto ha favorecido para que miles de embriones congelados sean vendidos y transferidos de forma rutinaria en todo el mundo. El uso de la biotecnología reproductiva como la inseminación artificial y transferencia de embriones, se consideran estrategias de bioseguridad. La transferencia de embriones es especialmente segura cuando se utilizan los protocolos sanitarios promovidos por la Sociedad Internacional de Transferencia de Embriones (Stringfellow y Givens, 2000; Wrathall et al., 2004). El Comité de importación y exportación de la IETS (ahora conocida como comité asesor de seguridad y

salud; HASAC) ha sido fundamental en la recopilación y difusión de información científica sobre el control de posibles enfermedades a causa de la transferencia de embriones bovinos. El Manual de la IETS es “Una guía de procedimientos e información general para el uso de la tecnología de transferencia de embriones enfatizando procedimientos sanitarios” (Stringfellow D.A. y Seidel ed S.M. 2010), se ha convertido en la fuente de referencia para los procedimientos sanitarios utilizados en los protocolos de exportación.

Conclusión

En México, la ganadería desde sus orígenes ha dependido del exterior para mejorar la productividad de sus animales, desde la importación de las primeras 50 cabezas de ganado bovino en 1521 (Primo, 1992; Rodero et al., 1992; Martínez et al., 2000) hasta la actualidad donde el abastecimiento de semen sexado y embriones, principalmente de USA, es de imperiosa necesidad para los sectores productivos. La ganadería necesita tener acceso a las biotecnologías no como un lujo si no como un derecho, para ello México deberá ser capaz de producir su propia materia prima en este caso embriones de alta calidad genética.

Bibliografía

- Mollo, M.R. y Sartori, R. (2007). Influência da ingestão alimentar na fisiologia reprodutiva da fêmea bovina. *Rev Bras Reprod Anim*, v.31, p.197-204.
- Garnsworthy, P.C., Gong, J.G., Armstrong, D.G., Newbold, J.R., Marsden, M., Richards, S.E., Mann, G.E., Sinclair, K.D. Webb, R. (2008). Nutrition, metabolism, and fertility in dairy cows: 3. Amino acids and ovarian function. *J Dairy Sci*. Nov; 91(11):4190-7.
- Thibier M. (2005). The zootechnical applications of biotechnology in animal reproduction: current methods and perspectives. *Reprod Nutr Dev*. 45(3):235-42. Review
- Greve, T. y Callesen, H. (2005). Embryo technology: implications for fertility in cattle. *Rev Sci Tech*. Apr; 24 (1):405-12.
- Mapletoft, R.J. y Hasler, J.F. (2005). Assisted reproductive technologies in cattle: a review. *Rev Sci Tech*. Apr; 24 (1):405-12.
- Lonergan, P. (2007). State of the art embryo technologies in cattle. *Soc Reprod Fertil Suppl*. ;64:315-25.
- Wu, B. y Zan, L. (2012). Enhance beef cattle improvement by embryo biotechnologies. *Reprod Domest Anim*. Oct; 47(5):865-71. Review.
- Stroud, B. (2009). The year 2009 worldwide statistics of embryo transfer in domestic farm animals. *IETS Newsletter* 48:11-21.
- Chair George Perry, (2013). worldwide statistics of embryo transfer in domestic farm animals IETS, 22nd annual report of the IETS Data Retrieval Committee.
- Wheeler, M.B., Rutledge, J.J., Fischer-Brown, A., Van Etten, T., Malusky, S. y Beebe, D.J. (2006). Application of sexed semen technology to in vitro embryo production in cattle. *Theriogenology*. Jan 7; 65 (1):219-27.

- SEDARPA <http://www.veracruz.gob.mx/agropecuario/noticia/entrega-sedarpa-apoyos-a-la-union-ganadera-regional-del-norte-de-veracruz/>
- http://www.diario21.com.mx/?cmd=displaystoryprint&story_id=1786&format=print&edition_id=4687
- SIAP <http://www.siap.gob.mx/poblacion-ganadera/>
- Stringfellow, D.A. y Givens, M.D. (2000). Epidemiologic concerns relative to in vivo and in vitro production of livestock embryos. *Anim. Prod. Sci.* 60-61:629-642.
- Wrathall, A.E., Simmons, H.A., Bowles, D.J. y Jones, S. (2004). Biosecurity strategies for conserving valuable livestock genetic resources. *Reprod. Fert. Dev.* 16:103-112.
- Stringfellow D.A. y Seidel ed S.M. (2010). *Manual de la Sociedad Internacional de Transferencia de Embriones*. 4º Edición. IETS, Champaign, IL, USA.
- Primo, A.T. (1992). El ganado bovino ibérico en las américas: 500 años después. *Arch. Zootec.*, 41 (extra): 421-432.
- Rodero, A., Delgado, J.V. & Rodero, E. (1992). Primitive andalusian livestock and their implication in the discovery of América. *Arch. Zootec.* (extra): 383-400.
- Martínez, R.D., Fernández, E.N., Género, E.R. & Rumiano, F.J.L. (2000). El ganado bovino criollo en Argentina. *Arch. Zootec.*, 49: 353-361.

Evaluación del aislamiento de hongos filamentosos de interés biotecnológico a partir de la cáscara de café

Evaluation of filamentous fungi with enzymatic activity of biotechnological interest isolated from coffee husk

Thamires de Fatima Andrade Durso⁴⁶

*Boutros Sarrouh

Resumen

⁴⁶Universidade Federal de São João Del Rei. Departamento de Química, Biotecnologia e Engenharia de Bioprocessos. Caixa Postal: 131- CEP 36 420 000. Ouro Branco, MG/Brazil. Contacto: bsarrouh@ufsj.edu.br

Los residuos agroindustriales, tales como la cáscara de café, son abundantes substratos que constituyen una materia prima de gran potencial para la bioconversión en productos de alto valor añadido. Además de ser utilizados para la generación de energía, suplemento de la alimentación animal y como fertilizante, la cáscara de café tiene un uso limitado debido a la presencia de compuestos fenólicos, considerados tóxicos, en su estructura. Pero la posibilidad de utilizar este subproducto llama la atención de los investigadores en procesos biotecnológicos, particularmente en la bioprospección de microorganismos con capacidad de producción de bioproductos de valor. Así, este trabajo presenta un estudio bibliográfico sobre el potencial para el uso de la cáscara del café como fuente para la obtención de hongos filamentosos con actividades enzimáticas de gran interés industrial.

Abstract

Agro-industrial residues, such as coffee husks, are abundant substrate of great potential for bioconversion in high value-added products. Besides being used for power generation, supplement for animal feed and as a fertilizer, the coffee husk has limited use due to the presence of phenolic compounds, considered as toxic, in its structure. But the feasibility of using this agro-industrial by-product draws attention of researchers in biotechnological processes, particularly in bioprospecting of microorganisms with potential for bioproducts production. Thus, this paper presents a bibliographic study on the use of coffee husk as low cost material for obtaining and isolation of filamentous fungi with promising enzymatic activity for industrial applications.

Introducción

Diversos procesos biotecnológicos son empleados cada vez más en el sector industrial para obtener productos de interés económico y social. Estos bioprocesos se caracterizan por ofertar beneficios operacionales en comparación con los procesos químicos, pues son responsables de la producción de una amplia gama de metabólicos de interés industrial, tales como enzimas, ácidos orgánicos, antibióticos, entre otros.

Residuos agroindustriales como la cáscara de café son sustratos abundantes en Brasil y constituyen una materia prima de gran potencial para la producción de bioproductos de alto valor añadido. Según Sánchez (2009) se han desarrollado con éxito diversos bioprocesos a partir de residuos agroindustriales, incluyendo la producción de enzimas microbianas. Estos residuos sirven como sustratos naturales para el aislamiento e crecimiento de microorganismos y la consiguiente producción de enzimas específicas para cada fracción orgánica del sustrato colonizado (Lavelle, 2000). Como estos materiales son ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina, sus usos como sustrato han inducido la producción de las enzimas de xilanasas, ligninasas y celulasas que son responsables de la hidrólisis de estos polímeros, permitiendo así la liberación de glucosa y xilosa y otros compuestos fenólicos con actividades antioxidantes (Haichar et al, 2007; Singh et al., 2003).

La producción de enzimas de microorganismos como los hongos filamentosos, puede emplearse en diversas industrias como la farmacéutica, textil, fabricación de papel, la producción de biocombustibles, alimentación y detergentes (Bhat, 2000; Polizeli, 2005). La búsqueda de nuevas cepas permite la selección de nuevos microorganismos capaces de producir diferentes bioproductos a través de la degradación de los diferentes sustratos, lo que hace de la cáscara de café como residuo prometedor para la bioprospección de microorganismos con potencial biotecnológico.

El café es uno de los productos agrícolas más importantes de Brasil, y el tipo que domina en la producción nacional es la *Coffea arábica* L. cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones climáticas de la región. Según CONAB (2015), Brasil es el mayor productor y exportador mundial de café, y en la temporada de 2014 obtuvo más de 45,3 millones de sacos de 60 Kg. Minas Gerais se destacó como el mayor estado productor de café. Esto representa alrededor del 50% de la producción nacional con el cultivo predominante de café Arábica. A medida que la proporción de grano procesado y las cáscara de café es de 1:1 durante el procesamiento (Badocha, Costa, Leonidas, 2003), se generan muchos residuos, lo que hace necesaria la búsqueda de nuevas tecnologías para utilizar la biomasa resultante.

Los residuos de la producción de café se utilizan tradicionalmente como fertilizante, combustible en el proceso de secado del propio café y suplemento en la alimentación de rumiantes; la acumulación excesiva de este residuo causa graves problemas ambientales (Baggio, 2006; Pandey et al, 2000). Sin embargo, hay varias oportunidades de empleo de la cáscara de café como para la producción de compuestos bioactivos e enzimas por procesos biotecnológicos (Soccol, 2002). Dentro de este contexto, la bioprospección de hongos filamentosos a partir de la cáscara de café presenta una alternativa promissora para la industria biotecnológica, ya que las cepas pueden producir enzimas con posibles aplicaciones, principalmente, para la industria alimentaria, la química y la obtención de biocombustibles.

Cáscara de café e alternativas de uso

La cáscara de café, conocida como paja de café, se deriva del proceso de beneficio de granos de café. Este residuo puede contener tanto el exocarpio (cáscara) y el mesocarpio (pulpa) y el endocarpio (pergamino) (Braga et al., 2001). La principal producción y el consumo de café en Brasil lideran la generación de

grandes cantidades de cáscara, y la cantidad generada es equivalente al total de los granos procesados (Badocha, Costa, Leonidas, 2003), por lo tanto hace necesario buscar alternativas de aplicación de estos residuos con el fin de reducir el impacto de su eliminación en el medio ambiente (Baggio, 2006). La definición de la posible utilización de cáscara de café puede variar con el método de preparación por parte de la que recibió el grano. La cáscara se utilizó como sustrato por Soares et al, (2000) para el crecimiento de hongos (*Cerastocystis frimbriata*) y la consiguiente producción de aromas frutales. Fan et al., (2001) utiliza la cáscara como sustrato para la producción de hongos comestibles mientras Oliveira et al., (2008) utiliza las mismas como un adsorbente para la eliminación de colorantes catiónicos (azul de metileno) en soluciones acuosas. Según Souza et al. (2006), la cáscara obtenida mediante el método seco tiene un gran potencial para la alimentación de los rumiantes, debido a la gran disponibilidad y sus características químicas y cualitativas. Los residuos de la producción de café también se utilizan tradicionalmente como cobertura para el suelo y como combustible en el propio proceso de secado de café (Silva, 2012). Según Soccol (2002), las aplicaciones de la cáscara como fertilizantes están limitadas debido a su baja eficiencia, ya que utiliza sólo una pequeña parte de la cantidad disponible. Este mismo trabajo se ocupa de las posibilidades de producción de bioproductos de la cáscara y la pulpa de café, por la acción de hongos y levaduras, tales como: sabores microbianos, enzimas, ácido cítrico y ácido giberélico (promotor y regulador del crecimiento de las plantas); También sugiere la desintoxicación de la cáscara, lo que reduce la cantidad de compuestos tales como la cafeína y el tanino, de modo que la cáscara destoxificada constituye un producto más adecuado para la alimentación animal.

Los avances en la tecnología de la bioenergía en relación con el uso de materiales lignocelulósicos como materia prima para la generación de energía renovable y generar bioproductos de alto valor, presentan motivos suficientes para evaluar la posibilidad de utilizar esta abundancia de residuos en el país.

Composición química de la cáscara de café

La cáscara de café es una materia prima lignocelulósica rica en biomoléculas diferentes, donde los carbohidratos constituyen más de 50% de su peso seco, seguido de pectinas y proteínas, respectivamente (Tabla 1). En los residuos vegetales, los carbohidratos predominantes son la celulosa y la hemicelulosa. Este residuo junto con la lignina está ligado químicamente por enlaces covalentes y fuerzas no covalentes para mantener la integridad estructural de la planta (Scheufele, 2012). La relación de celulosa, hemicelulosa y lignina varían considerablemente dependiendo de la especie, la edad del cultivo, condiciones de crecimiento y la parte de la planta (Lynd et al., 2005).

La gran extensión territorial y los factores climáticos son responsables de proporcionar el crecimiento en el sector agrícola que, juntamente con el avance tecnológico influyen en el aumento del número de investigaciones relacionadas con la destinación de subproductos agrícolas para minimizar los impactos ambientales. Así como la paja de arroz, bagazo de caña de azúcar, entre otros productos, la cáscara de café se convirtió en el objetivo de la exploración de posibles usos en el sector industrial.

Componente	% peso seco	Autores
Materia seca	88.37	Barcelos A. F. (2001)
Celulosa	37.26	Barcelos A. F. (2001)
Hemicelulosa	24.98	Barcelos A. F. (2001)
Lingina	12.38	Souza et al., (2001)
Carbohidratos	57.8	Soccol (2002)
Proteínas	9.2	Soccol (2002)
Lípidos	2.0	Soccol (2002)
Caféina	1.3	Soccol (2002)
Taninos	4.5	Soccol (2002)
Pectinas	12.4	Soccol (2002)
Ceniza	7.44	Souza et al., (2001)

Tabla 1. Composición química de la cáscara de café de acuerdo con diferentes autores.

Obtención de enzimas industriales por hongos filamentosos de diferentes sustratos agroindustrial

Los hongos filamentosos, también conocidos como mohos, son microorganismos multicelulares, eucarióticos, quimioheterotróficos, no requieren sustancias orgánicas como fuente de energía y tienen el metabolismo principalmente aeróbico. Tienen un papel fundamental en la cadena alimentaria una vez que son capaces de reciclar elementos vitales y descomponer las partes duras de las plantas mediante el uso de enzimas extracelulares. Los hongos multicelulares se identifican considerando tanto las características morfológicas macroscópicas como la apariencia física de sus colonias, y microscópicas, incluyendo las estructuras reproductivas (Tortora et al., 2012).

Los hongos filamentosos se han destacado en la producción de diferentes biomoléculas, principalmente la producción de enzimas, acción biotecnológicamente atractiva, ya que hacen el proceso más rápido, barato y ecológico (Giraldo, 2011). Estos microorganismos se adaptan mejor a las condiciones de fermentación en estado sólido en comparación con otros microorganismos unicelulares, por tanto, tienen buena tolerancia a la menor actividad de agua y alta presión osmótica (Krishna, 2005).

La síntesis de enzimas extracelulares es común en muchas especies de hongos filamentosos en respuesta a ciertos estímulos ambientales, la expresión de genes y posterior secreción de enzimas formadas (Colen, 2006). Los hongos son capaces de secretar una variedad de exoenzimas como proteasas, amilasas, celulasas, pectinasas, ligninasas, xilanasas, lipasas, entre otros, y la síntesis de tales enzimas está sujeta a diversos mecanismos reguladores capaces de la inducción y la represión (Archer & Wood, 1995).

El uso de enzimas ha sido explotado por los seres humanos durante miles de años directamente mediante el empleo de preparados enzimáticos crudos de origen animal y vegetal o indirectamente para disfrutar de la acción enzimática como resultado del crecimiento microbiano en ciertos sustratos (Colen, 2006). Sin embargo, la producción y el uso de enzimas microbianas, aunque relativamente reciente, constituye el mayor sector de la industria biotecnológica

(Neidleman, 1991). La diversidad de enzimas microbianas es enorme, y aumenta cada día, debido al descubrimiento de nuevas enzimas y nuevas aplicaciones industriales (Colen, 2006). Esta amplia variedad de enzimas puede ser secretada por hongos filamentosos presentes principalmente en residuos agroindustriales.

Algunas enzimas extracelulares fúngicas son de gran importancia comercial, especialmente en el área de alimentos, tales como proteasas ácidas, lipasas, nucleasas y carbohidralasas (Colen, 2006). La producción de enzimas de hongos en escala industrial, se ha llevado a cabo por fermentación líquida, probablemente debido a la facilidad de ejecución y control, también por presentar rendimientos satisfactorio de producción (Sant'Anna Jr, 2001). Pero los avances tecnológicos se han incorporado en los procesos de fermentación en estado sólido, como el aumento del rendimiento en el proceso de producción, alterando así el perfil de producción dos bioproductos microbianos (Colen, 2006).

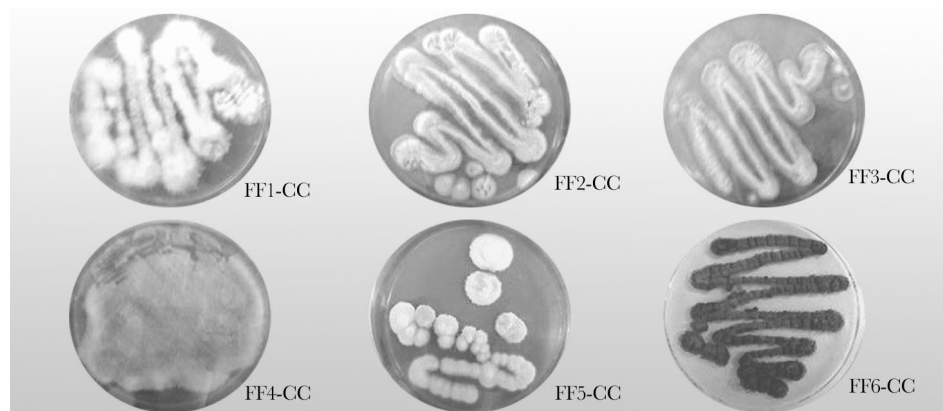
Hongos asociados a la cáscara de café y su potencial biotecnológico

La incidencia de los hongos en la cáscara de café puede variar en diferentes porcentajes según la etapa de madurez, con la etapa de las condiciones de proceso y almacenamiento. La porcentaje de incidencia de hongos en frutas de café varía entre 1 y 69% de contaminación siendo la mayoría encontrada en la cáscara de la fruta (Simoes, 2009). Las especies de hongos que se encuentran con mayor frecuencia en cafés brasileños pertenecen a los géneros *Cladosporium*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Aspergillus*, *Colletotrichum*, *Rhizopus* y *Mucor* (Chalfoun y Carvalho, 1989; Meirelles, 1990; Alves, 1996; Freitas, 2000; Batista, 2000).

Hongos aislados de la cáscara de café se consideran productores potenciales de enzimas lignocelulíticas como celulasas, hemicelulasas y ligninasas, aisladas o en mezclas complejas. Estos microorganismos tienen mayor interés comercial debido a la capacidad de los niveles de secreción de proteínas superior a 100 g / l, y la posibilidad de sus enzimas actuar de manera muy eficaz en la hidrólisis de biomasa lignocelulósica (Scheufele, 2012).

En el trabajo realizado por nuestro grupo de investigación (Natividad, 2014) fueron identificados 6 géneros de hongos filamentosos aislados a partir de la cáscara de café, a través de un análisis preliminar de las características morfológicas, macroscópica y microscópica de los mismos: FF1-CC (*Fusarium sp*) FF2-CC (*Aspergillus sp*), FF3-CC (*Aspergillus sp*), FF4-CC (*Mucor sp*), FF5-CC (*Penicillium sp*) FF6-CC (*Cladosporium sp*) (Figura 1).

Figura 1. Identificación de los hongos filamentosos aislados de la cáscara de café (Natividad, 2014).



En el mismo trabajo, los autores observaron que 66,7% de los aislados mostraron la formación de halos de hidrólisis en medio sólido conteniendo ácido tánico, comprobando de esta manera la expresión extracelular de la enzima tanase. En el caso de la actividad celulítica, 50% de los hongos fueron capaces de producir un halo de hidrólisis en medio conteniendo carboximetilcelulosa (CMC). En la prueba de fenoloxidasas sólo el aislado *Cladosporium sp* presentó la formación de halos y, en consecuencia, la producción de la enzima (Natividad, 2014).

Una amplia variedad de hongos pertenecientes al género *Aspergillus* se consideran degradantes de la celulosa primaria, pues expresan actividades de endo y exoglucanasas en diferentes niveles de acuerdo con el método de fermentación y las diversas fuentes de carbono usadas (Flachner y Réczei, 2004; Scheufele, 2012).

En el trabajo de Santos (2012) se utilizaron residuos de la cadena de producción de biodiesel, tales como tortas de algodón y girasol para la producción de enzimas celulolíticas por hongos filamentosos. Entre las cepas estudiadas, *Aspergillus sp* AN1257 se destacó en la producción de enzimas celulolíticas y xilanolíticas, superando incluso la producción de celulasas por *Trichoderma reesei* adoptada como parámetro de comparación, siendo que la fuente de carbono que mejor condujo la producción de estas enzimas fue la torta de semillas de algodón. En el mismo trabajo se concluyó que el extracto crudo producido por este hongo es eficaz cuando se utiliza en los procesos de hidrólisis de biomasa lignocelulósica tales como tortas de algodón y girasol. Basso et al. (2010) obtuvieron buenos resultados de la producción de enzimas celulolíticas por la especie *Aspergillus fumigatus* y *Penicillium verruculosum*, aislado a partir del bagazo de la caña-de-azúcar y la descomposición de madera, aunque menos eficiente en comparación con la cepa *T. reesei* adoptado como estándar.

Una amplia variedad de especies pertenecientes al género *Penicillium* también son conocidas por poseer actividad de β -glucosidasas, como por ejemplo, *Penicillium pinophilum*, *Penicillium funiculosum* y *Penicillium iriensis* (Scheufele, 2012). Martins (2005) llevó a cabo un estudio sobre el complejo enzimático de obtenido a partir de *Penicillium echinulatum*. En este estudio, la cantidad de β -glicosidasas producidas por *P. echinulatum* era superior a la producida por *T. reesei*, mientras que la actividad xilanasas fue similar para ambas especies estudiadas. Este resultado demuestra la potencial aplicación de enzimas celulolíticas producidas por el género *Penicillium* la etapa de sacarificación de la celulosa.

Stroparo (2012) estableció los mejores residuos orgánicos capaces de inducir la producción de hidrolasas por cepas de hongos filamentosos previamente seleccionados como los mejores productores de enzimas. Entre los residuos orgánicos ensayados en este trabajo, se concluyó que la producción de xilanasas de *A. niger* mostró un potencial prometedor cuando fue usado o bagazo de malta como sustrato; a producción de endoglucanasa por *P. miczninscui* utilizando cascotes de piña como fuente de carbono también mostró una alta viabilidad; la producción de poligalacturonasa de *P. verruculosum* mostró la viabilidad de uso de la cáscara de naranja (Tabla 2).

Además, las especies pertenecientes a los géneros *Aspergillus* y *Penicillium* también mostraron actividad enzimática para la degradación de la cafeína. La especie *Rhizopus delemar*, productora de las enzimas cafeína y teofilina demetilases

fue utilizada por Tagliari (2003) para la fermentación en estado sólido usando cáscara de café como sustrato. Según los mismos autores, se obtuvieron buenos resultados en el proceso de degradación de compuestos tóxicos contenidos en la cáscara de café, de modo que la cafeína y el tanino se redujeron en 86 y 58%, respectivamente; lo que abre nuevas posibilidades para el uso de este tipo de residuos.

Tabla 2. Producción de enzimas hidrolíticas por diferentes cepas de hongos filamentosos en diversos residuos agroindustriales (Stroparo et al., 2012)

Hongos	Actividad enzimática (U/mL)			
	Xilanasase	Endoglucanase	Amilase	Poligalacturonase
P. glabrum J3	0,54	-	4,87	0,21
P. glabrum J11	0,62	0,05	2,34	0,63
P. verruculosum	4,62	0,03	-	8,65
P. herquei	-	0,09	2,35	6,43
P. miczynskii	0,69	0,13	0,14	1,04
T. viride	6,65	0,04	0,21	3,23
A. niger J4	8,73	0,11	4,13	6,53
A. niger J26	5,77	0,06	6,1	4,54

Conclusión

A pesar de la gran cantidad de residuos generados durante el procesamiento de café, este subproducto no es aprovechado correctamente en la actualidad. La cáscara de café ofrece oportunidades con gran potencial para su uso como sustrato para bioprocesos. En la literatura, pocos estudios se relacionan con la cáscara de café como un subproducto renovable. Sin embargo, recientes trabajos demostrarán el potencial y viabilidad del uso de la cáscara para la producción de una variedad de productos tales como enzimas industriales, compuestos aromáticos e biomoléculas activas.

Bibliografía

- Alves, E. (1996). *População fúngica associada ao café (Coffea arabica L.) beneficiado e as fases pré e pós colheita-relação com a bebida e local de cultivo*. Universidade Federal de Lavras. Tesis de Maestría en Fitopatología.
- Archer, D. B; Wood, D. A. (1995). Cap 7 Fungal exoenzymes. In: Grow, N. A. R. and Gadd, G. M. (Eds). *The growing fungus* (pp. 137-162). London: Chapman & Hall.
- Badocha, T. E.; Costa, R. S. C.; Leonidas, F. C. (2003). *Casca de Café: um importante insumo para a agricultura orgânica*. Trabajo presentado en el Simposio de Pesquisa dos Cafés do Brasil de 2003
- Baggio, J. (2006). *Avaliação dos Resíduos (Casca e Pó Orgânico) de Café (Coffea arabica L.) como Provável Fonte de Substâncias Bioativas*. Universidade Federal de Santa Catarina. Tesis de Maestría en Ciencia de Alimentos.

- Barcelos, A. F.; Paiva, P. C. A.; Pérez, J. R. O.; Santos, V. B. e Cardoso, R.M. (2001). Fatores antinutricionais da casca e da polpa desidratada de café (*Coffea arabica L.*) armazenadas em diferentes períodos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(4), 1325-1331.
- Bhat, M. K. Cellulases and related enzymes in biotechnology. (2000) *Biotechnology Advances*, 18, 355–383.
- Basso, T. P.; Gallo, C. R. e Basso, L. C. (2010). Atividade Celulolítica de Fungos Aislados de Bagaço de Cana-de-açúcar e Madeira em Decomposição. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45 (11), 1282-1289.
- Batista, L.R. *Identificação, potencial toxigênica e produção de micotoxinas de fungos associados a grãos de café (Coffea arabica L.)*. (2000). Universidade Federal de Lavras. Tesis de Maestría en Ciencia de Alimentos
- Carvalho, V. D., Chalfoun, S. M., Chagas, S.J. R. (1989). *Relação entre classificação do café pela bebida e composição físico-químicas, química e microflora do grão 39 beneficiado*. Trabajo presentado en el Congreso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras en 1989.
- Colen, G. *Isolamento e seleção de fungos filamentosos produtores de lipases* (2006). Universidade Federal de Minas Gerais. Tesis de Maestría en Ciencia de Alimentos.
- Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2015). *Acompanhamento da Safra Brasileira de Café. Safra 2015 – Primeiro levantamento*. Brasília.
- Fan, L.; Pandey, A.; Soccol, C. R. (2001). Production of Flammulina velutipes on coffee husk and spent-ground. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 44, 205-212.
- Flachner, B. e Réczey, K. (2004). β -Glucosidase Production and Characterization of Some *Aspergillus strains*. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 18 (3), 303–307.
- Freitas, R. F. (2000). *Fungos associados a grãos de café (Coffea arabica L.) beneficiado de diversos municípios da região Sul de Minas Gerais*. Universidade Federal de Lavras. Tesis de Maestría en Ciencia de Alimentos.
- Girald, M. A. Purificação e caracterização bioquímica da invertase extracelular produzida pelo fungo filamentoso *Aspergillus terreus* (2011). Universidade Estadual de São Paulo. Tesis de Maestría en Biotecnología.
- Haichar, F. Z.; Achouak, W; Christen, R; Heulin, T; Marol, C.; Marais, M. F.; Mougel, C.; Ranjard, I.; Balesdent, J.; Berge, O. (2007). Identification of cellulolytic bacteria in soil by stable isotope probing. *Environmental Microbiology* 9 (3), 625-634.
- Krishna, C. (2005). Solid-state fermentation systems-na overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 25(1-2), 1-30.
- Lavelle, P. (2000). Ecological challenges for soil science. *Soil Science*. 165 (1), 73-86.
- Lynd, R. L.; Van zyl, W. H.; McBride, J. E.; Laser, M. (2005). Consolidated bioprocessing of cellulosic biomass: an update. *Current Opinion in Biotechnology*, 16, 577–583.
- Martins, L. F. (2005). *Caracterização do Complexo Celulásico de Penicillium echinulatum*. Universidade Federal do Paraná. Tesis de Maestría en Química.

- Meirelles, A. M. A. (1990). *Ocorrência e controle da microflora associada aos frutos de café (Coffea arabica L.) provenientes de diferentes localidades do estado de Minas Gerais*. Escola Superior de Agricultura de Lavras. Tesis de Maestría en Agronomía.
- Murugan, S.; Arnold, D.; Pongiya, U. D.; Narayanan, P. M. (2011). Production of xylanase from *Arthrobacter* sp. MTCC 6915 using saw dust as substrate under solid state fermentation. *Enzyme Research*, 1-7.
- Natividade, F. P. (2014). *Isolamento de fungos com atividades enzimáticas de interesse biotecnológico a partir da casca de café*. Trabajo de Tesis de Engenharia en Bioprocessos. Universidade Federal de São João Del-Rei.
- Neidleman, S. L. (1991). Enzymes in the food industry: a backward glance. *Food Technology*, 45, 88-91.
- Oliveira, L. S.; Franca, A. S.; Alves, T. M.; Rocha, S. D. F. (2008). Evaluation of untreated coffee husks as potential biosorbents from treatment of dye contaminated waters. *Journal of Hazardous Materials*, 155, 507-512.
- Pandey, A.; Soccol, C.R.; Nigam, P.; Brand, D.; Mohan, R. e Roussos, S. (2000). Biotechnological Potential of Coffee Pulp and Coffee Husk for Bioprocesses. *Biochemical Engineering Journal*, 6, 153-162.
- Polizeli, M. L. T. M.; Rizzatti, A. C. S.; Monti, R.; Terenzi, H. F.; Jorge, J. A.; Amorim, D. S. (2005). Xylanases from fungi: properties and industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 67(5). 577-591.
- Sant'Anna Jr., G. L. (2001). Produção de enzimas microbianas. In: Borzani, W.; Schimidel, W.; Lima, U. A.; Aquarone, E. (Eds). *Biotecnologia Industrial* (pp. 351-362.). São Paulo: Edgar Blücher.
- Sanchés, C. (2009). Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*, 27, 185-194.
- Santos, R. S. (2012). *Produção de enzimas celulolíticas e xilanolíticas por fungos filamentosos utilizando resíduos da cadeia do biodiesel como fonte de carbono*. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Tesis en Maestría en Química.
- Scheufele, F. B. (2012). *Bioconversão De Resíduos Agroindustriais Por Micro-Organismos Do Bioma Amazônico Produtores De Enzimas Lignocelulolíticas*. Universidade Estadual Del Oeste de Paraná. Tesis de Maestría en Ingeniería Química.
- Silva, J. P. (2012). *Caracterização da Casca do Café (Coffea arabica L.) in natura, e de seus Produtos Obtidos pelo Processo de Pirólise em Reator Mecanicamente Agitado*. Universidade Estadual de Campinas. Tesis de Maestría en Ingeniería Mecánica.
- Singh, S.; Madlala, A. M.; Prior, B. A. (2003). *Thermomyces lanuginosus*: properties of strains and their hemicellulases. *Fems Microbiology Reviews*, 27, 3-16.
- Soares, M.; Christen, P.; Pandey, A.; Soccol, C. R. (2000). Fruity flavor production by *Ceratocystis fimbriata* grown on coffee husk in solid state fermentation. *Process Biochemistry*, 35, 857-861.
- Soccol, C. R. (2002). *Resíduo de café um substrato promissor para a produção industrial de bioprodutos com alto valor agregado*. Trabajo presentado en el Simposio de Pesquisa dos cafés do Brasil de 2002.

- Souza, A. L.; Garcia, R.; Pereira, O. G.; Cecon, P. R.; Filho, S. C. V.; Paulino, M. F. (2001). Composição químico-bromatológica da casca de café tratada com amônia anidra e sulfeto de sódio. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30(3), 983-991.
- Souza, A. L.; Garcia, R.; Bernadino, S. F.; Campos, J. M. S.; Valadares Filho, S. C.; Cabral, L. S. e Gobby, K. F. (2006). Casca de Café em Dietas para Novilhas Leiteiras: Consumo, Digestibilidade e Desempenho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35(3), 921-927.
- Stroparo, E. C.; Beitel, S. M.; Resende, J. T. V.; Knob, A. (2012). Seleção de fungos filamentosos e de resíduos agroindustriais para a produção de enzimas de interesse biotecnológico. *Ciencias Agrarias*, 33(6), 2267-2278.
- Tagliari, C.V. (2003). *Desenvolvimento de Bioprocesso para Produção de Caféina e Teofilina Demetilases por Rhizopus Delemar em Fermentação no Estado Sólido utilizando Casca de Café como Substrato*. Universidade Estadual de Campinas. Tesis en Ingeniería Química.
- Tortora, G. J.; Funke, B. R. Case, C. L. (2012). *Microbiologia*. 10ª Ed. Porto Alegre: Artmed.

Cultivo *in vitro*, estudios fitoquímicos y actividad biológica de pitayas y pitahayas en el Laboratorio de Micropropagación de la Facultad de Ciencias Biológicas de la UANL

***In vitro* culture, phytochemicals studies and biological activity of pitayas and pitahayas in the Micropropagation Laboratory of the Faculty of Biological Sciences of the UANL**

*Ma. Eufemia Morales Rubio⁴⁷
Ruth Amelia Garza Padrón
Ramón G. Rodríguez Garza
Jaime Fco. Treviño Neávez

Resumen

⁴⁷Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. Ave. Universidad s/n. San Nicolás de los Garza N.L. CP 66455. Contacto: mmorales1132000@yahoo.com

El cultivo *in vitro* de tejidos vegetales, implica una serie de técnicas biotecnológicas desarrolladas para cultivar las plantas en condiciones asépticas y controladas. Sus fines pueden ser muy diversos desde la simple multiplicación, hasta sistemas complejos de biorreactores donde se producen metabolitos de importancia comercial. En este trabajo se emplearon diversas técnicas de desinfección, así como reguladores de crecimiento adicionados al medio Murashige y Skoog para lograr cultivar las siguientes especies: *Hylocereus undatus*, *Acanthocereus occidentalis*, *Stenocereus griseus*, *Stenocereus queretaroensis*, *Stenocereus gummosus*, *Stenocereus pruinosus*, *Stenocereus thurberi* y *Lophocereus schottii*; a cuyos frutos comúnmente se les denomina pitayas o pitahayas, que aparte de su belleza en su forma vegetativa y reproductiva, e importancia del cultivo, presentan otras propiedades relevantes que brindan alternativas para ser utilizadas por la Industria.

Abstract

The culture *in vitro* of plant tissue, involves a series of developed biotechnological techniques to grow plants under aseptic and controlled conditions. Its aims may be very different from the simple multiplication, to complex systems of bioreactors which produce metabolites of commercial importance. In this work were employed different techniques of disinfection, as well as plant growth regulators added to the medium of Murashige and Skoog for the culture of following species: *Hylocereus undatus*, *Acanthocereus occidentalis*, *Stenocereus griseus*, *Stenocereus queretaroensis*, *Stenocereus gummosus*, *Stenocereus frosted*, *Stenocereus thurberi*, and *Lophocereus schottii*; commonly called whose fruits: pitayas or pitahayas, which apart from its beauty in form vegetative and reproductive, and importance of the culture, present other relevant properties that provide alternatives to be used by the Industry.

Introducción

Los primeros trabajos sobre cultivo *in vitro* y fitoquímica de estas especies en el laboratorio se inician en 1996 con *Hylocereus undatus*, llamada comúnmente pitahaya; lo que ha permitido continuar con su investigación además de incorporar otras especies de los géneros *Stenocereus* y *Lophocereus*, los cuales producen frutos que se les conoce comúnmente como pitayas. Aunado a lo anterior, se han realizado estudios fitoquímicos y de actividad biológica de estas especies; pero, antes de hablar sobre los protocolos de cultivo *in vitro*, veremos una breve reseña de la técnica.

Cultivo de tejidos vegetales

El surgimiento de nuevas tecnologías ha impactado de gran manera a las ciencias relacionadas con la producción vegetal. Podemos definir a la Biotecnología como toda aquella aplicación tecnológica que utiliza procesos biológicos, organismos vivos o partes o productos de los mismos para la elaboración o modificación de productos o procesos para usos específicos. Muchas técnicas son consideradas en la actualidad como biotecnologías, en donde quedarían incluidas algunas ya establecidas por el hombre desde hace siglos, como la fermentación, la elaboración de quesos añejos y otras vanguardistas, como el cultivo de tejidos, la ingeniería genética, fusión de protoplastos, etc. El cultivo de tejidos implica tanto tejidos animales como vegetales y se lleva a cabo en condiciones asépticas y controladas.

La introducción del conocimiento del Cultivo de Tejidos Vegetales (CTV) a México fue alrededor de 1970 y trajo consigo muchas modificaciones en los sistemas de producción vegetal. Actualmente, ofrece una serie de sistemas modelo y es una herramienta invaluable para la propagación de plantas, producción de metabolitos, mejoramiento genético, conservación de germoplasma, saneamiento vegetal, entre otras aplicaciones. Lo anterior ha traído consigo el establecimiento de laboratorios de CTV con fines educativos, de investigación y de producción comercial, los cuales demandan en forma permanente y creciente, técnicos especializados con diferentes niveles de preparación, tanto de conocimientos como de habilidades prácticas

El cultivo de tejidos vegetales es una biotecnología vegetal, que implica una serie de técnicas mediante las cuales en condiciones asépticas y controladas se desarrolla un explante sobre un medio nutritivo. El explante puede ser una sección de tejido, órgano, células aisladas, esporas, embriones, protoplastos, óvulos, granos de polen o semillas.

Aunque esta técnica es relativamente sencilla se requiere de una infraestructura básica, que en un principio puede ser cara, si bien con el tiempo genera rendimientos y beneficios, ya que permite obtener una gran cantidad de clones en plazos cortos, selección de líneas celulares resistentes a patógenos, plantas libres de virus, producción de metabolitos secundarios, estudios morfogénicos y bioquímicos, producción de plantas modificadas genéticamente, entre otras.

Uno de los principales problemas con los que se enfrenta el investigador al iniciar los protocolos de propagación es el establecimiento aséptico del cultivo. Para lo que los procedimientos de desinfección y el tipo de explante utilizados son

muy importantes, ya que las semillas son resistentes a las sustancias empleadas para desinfección, mientras que los tejidos jóvenes son muy sensibles.

Técnicas de cultivo de tejidos vegetales y sus aplicaciones

El cultivo de tejidos vegetales (CTV) es una serie de técnicas empleadas actualmente para hacer estudios de fisiología, bioquímica, morfogénesis y anatomía, entre otros, así como contribuciones prácticas en la multiplicación y mejoramiento de plantas útiles y en peligro de extinción. El CTV es una alternativa para el suministro continuo y homogéneo de compuestos naturales de interés, por sus altos rendimientos en comparación con los obtenidos en plantas completas, la principal ventaja estriba en que no hay problemas de plagas, enfermedades ni cambios climáticos que afecten el rendimiento del producto, ni se requiere de mano de obra para su mantenimiento, conservación y colecta.

La técnica de CTV se ha empleado ampliamente en estudios de síntesis y biotransformación de metabolitos secundarios, es una de las aplicaciones más importantes de la técnica, sobre todo en productos de interés como saborizantes naturales, alcaloides, pigmentos, fragancias, fármacos, etc.; para esto se utiliza cultivo de callo y de células en suspensión. En el primero, se utilizan pequeños segmentos de tejido inoculados en medios sólidos, en los cuales, dependiendo de los reguladores de crecimiento utilizados, es posible inducir con cierta facilidad la formación de callos, éstos al ser disgregados y colocados en medio líquido y agitación continua, conforman el cultivo en suspensión, los callos son atractivos por su rápido crecimiento, fácil manipulación y “simplicidad” debido a la uniformidad y número limitado de tipos celulares. La mayoría de los trabajos en la producción de drogas y saborizantes se realizan mediante suspensiones celulares. Otras técnicas son el cultivo de protoplastos, cultivo de óvulos y cultivo de órganos, cultivo de meristemos, cultivo de raíces, cultivo de embriones, entre otras.

Cultivo *in vitro* de pitayas y pitahayas, fitoquímica y actividad biológica

Reseña de las investigaciones realizadas sobre los resultados del cultivo *in vitro* de las siguientes especies: *Hylocereus undatus*, *Acanthocereus occidentalis*, *Stenocereus griseus*, *Stenocereus queretaroensis*, *Stenocereus gummosus*, *Stenocereus pruinosus*, *Stenocereus thurberi* y *Lophocereus schottii*.

***Hylocereus undatus*: Pitahaya**

Ruiz Urias, Morales Rubio, Cárdenas Cerda, Torres Cepeda, Mercado Hernández, and Treviño Neávez (1997) y Ruiz-Urias, Torres-Cepeda, Morales-Rubio, and Cárdenas-Cerda (2003) trabajaron con explantes basales, medios y apicales de plántulas de *H. undatus*, en medio MS (Murashige & Skoog, 1962) adicionado con Bencilaminopurina 2 mg/L y Citocinina 1 mg/L; obteniendo una abundante proliferación de brotes.

Se logró la inducción de callo de *H. undatus*, empleando brotes de plántulas germinadas en agar como explantes, en un medio MS (Murashige & Skoog, 1962) adicionado con diferentes reguladores de crecimiento, siendo los más efectivos, las combinaciones de BAP (6 mg/L) y ANA (2 mg/L) y 2,4-D (4 mg/L) con K (4mg/L), (Morales Rubio, 2000).

Morales Rubio, Treviño Neávez, Verde Star, Oranday Cárdenas, and Rivas Morales (2005) colocaron 300 semillas de *H. undatus* para su germinación en un almácigo a base de sustrato orgánica y perlita (50/50), obteniendo un 90% de germinación a los 40 días, estas plántulas se dividieron en dos lotes, fueron sometidas a dos regímenes de humedad uno con 10 mL de agua por semana y otro con riego diario (10 mL de agua) durante tres meses. Los resultados de la ANOVA determinaron que este último tratamiento desarrolló plantas con mayor vigor. Segmentos de estas plantas, se desinfectaron y se colocaron en medio MS (Murashige & Skoog, 1962) adicionado con reguladores de crecimiento para inducir la formación de brotes en las siguientes concentraciones: A: K= Cinetina (1 mg/L), AIA= Ácido Indolacético (0.3 mg/L) y Hemisulfato de adenina (80 mg/L), B: BAP= Bencilaminopurina (2 mg/L) y K (1 mg/L), C: K (5 mg/L), AIA (0.3 mg/L) y Hemisulfato de adenina (80 mg/L), resultando más efectivo el tratamiento B. Molina Bartolo, Morales Rubio, Treviño Neávez, Cavazos González, and Oranday Cárdenas (2009) estudiaron el efecto de diferentes concentraciones de sacarosa, 10, 20 y 30%, en medio MS (Murashige & Skoog, 1962) sobre la germinación de semillas de *H. undatus*. La respuesta morfogénica observada para el tratamiento a base de 10% de sacarosa fue el desarrollo de un brote primario con abundantes areólas, en el tratamiento con 20% se observó el desarrollo del brote primario, que originó abundantes brotes secundarios, con areólas y raíces engrosadas, mientras que en el tratamiento a base de 30% de sacarosa germinaron menos semillas, con poco desarrollo y con procesos oxidativos presentes.

Cuéllar Chávez, Morales Rubio, and Treviño Neávez (2006) germinaron semillas de pitahaya en medio MS (Murashige & Skoog, 1962) adicionado con Bencilaminopurina 2 mg/L y Cinetina 1 mg/L; para obtener explantes asépticos. Las semillas se obtuvieron de frutos maduros, luego se sometieron a un proceso de desinfección para sembrarse en el medio y mantenerse en condiciones de 12 h luz y temperatura constantes (22 a 24°C) logrando solo un 12.9 % de germinación Morales Rubio, Treviño Neávez, Oranday Cárdenas, and Garza Padrón (2001) obtuvieron extractos hexánicos y metanólicos de tallos de *H. undatus*, además de realizar pruebas de tamizaje fitoquímico y cromatográficas para la determinación preliminar de compuestos. Los resultados de los estudios nos indican la presencia de alcaloides, coumarinas, flavonoides, sesquiterpenlactonas, esteroides, carbonilos, saponinas y oxidrilos fenólicos.

***Acanthocereus occidentalis*: Bajinco o nopal estrella**

Garza Padrón, Morales Rubio, Oranday Cárdenas, and Treviño Neávez (2003) trabajaron con extractos de *A. occidentalis*, utilizaron tallos frescos, siendo éstos molidos a temperatura ambiente y colocados en matraces Erlenmeyer perfectamente sellados con solventes de polaridad creciente (hexano, acetona y metanol). A partir de los extractos se desarrollaron las pruebas de tamizaje fitoquímico para la identificación preliminar de los compuestos encontrando para el extracto hexánico: esteroides y triterpenos, para el acetónico oxidrilos fenólicos, esteroides, triterpenos, sesquiterpenlactonas y alcaloides; y en el metanólico, esteroides y triterpenos. Garza Padrón, Morales Rubio, and Treviño

Neávez (2005) desinfectaron semillas de *A. occidentalis* en soluciones de cloro y alcohol, para sembrarlas en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), un tratamiento adicionado con Bencilaminopurina 2 mg/L y Cinetina 1 mg/L, y otro adicionado con los mismos reguladores, pero en una concentración de 3 y 2 mg/L, respectivamente. Los cultivos se mantuvieron en condiciones de luz (12 horas) y temperatura (22-24° C) controladas, teniendo para ambos tratamientos un porcentaje de germinación del 90%, con desarrollo de plántulas y brotación múltiple.

Stenocereus griseus: Pitaya, pitayo de mayo

Treviño Neávez, Oranday Cárdenas, Verde Star, Morales Rubio, and Rivas Morales (2001) logró el establecimiento del cultivo *in vitro* de *S. griseus* en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), adicionado con: 2,4-D (5 mg/L) y K (5 mg/L), realizaron un estudio fitoquímico de los tejidos *in vivo* e *in vitro* a partir de extractos metanólicos y hexánicos. Los resultados indican la presencia de alcaloides, cumarinas, sesquiterpenlactonas y oxidrilos fenólicos en ambas muestras, corroborando mediante un análisis de espectro infrarrojo que el alcaloide obtenido en plántula y callo a partir del extracto hexánico, es el mismo. Cuéllar Chávez et al. (2006) germinaron semillas de *S. griseus* en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), adicionado con Bencilaminopurina 2 mg/L y Cinetina 1mg/L, para obtener explantes asépticos. Las semillas se obtuvieron de frutos maduros, luego se sometieron a un proceso de desinfección para sembrarse en el medio y mantenerse en condiciones de 12 h luz y temperatura constantes (22 a 24°C) logrando un 15.2% de germinación.

Stenocereus queretaroensis: Pitayo

Cuéllar Chávez et al. (2006) germinaron semillas de *S. queretaroensis* en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), adicionado con Bencilaminopurina 2 mg/L y Cinetina 1mg/L; para obtener explantes asépticos. Las semillas se obtuvieron de frutos maduros, luego se sometieron a un proceso de desinfección para sembrarse en el medio y mantenerse en condiciones de 12 h luz y temperatura constantes (22 a 24°C) logrando un 84% de germinación. Serna Segura, Morales Rubio, Treviño Neávez, and Oranday Cárdenas (2001) establecieron el cultivo aséptico de *S. queretaroensis* en medio MS (Murashige & Skoog, 1962); las plántulas desarrolladas se subcultivaron en el mismo medio pero adicionado con Bencilaminopurina (BAP) y Cinetina (K) en diferentes concentraciones, observándose un crecimiento en la longitud de los brotes. Los resultados del análisis estadístico nos indican que en el tratamiento con BAP 3mg/L y K 2mg/L, las plántulas desarrollaron un brote mayor, con una longitud media de 8.8 mm, la concentración de BAP 1 mg/L y K 0.0 mg/L presentó una longitud de brote promedio de 7.6 mm y con BAP 2 mg/L y K 1 mg/L mostró 7.2 mm de longitud promedio, en un tiempo de 2 meses. En cuanto al número de brotes, los mejores resultados se lograron en BAP 3 mg/L y K 2 mg/L, alcanzando 6 brotes por explante como promedio, en la concentración BAP 1 mg/L y K 0.0 mg/L un promedio de 5 brotes, y para la concentración BAP 2 mg/L y K 1 mg/L hubo un promedio de 3 brotes y ciertas plántulas presentaron diferenciación a callo.

***Stenocereus gummosus*: Pitaya agria**

Avilés, Morales, Treviño, and Oranday (2004) probaron catorce procedimientos de escarificación para inducir la germinación de *S. gummosus* logrando un mayor porcentaje de germinación (45%) al utilizar la inmersión en ácido sulfúrico concentrado por 30 seg, le siguió el tratamiento a base de giberelinas a 200 ppm con 30%. El resto de los métodos de escarificación lograron porcentajes de germinación menores al 25% o nulos. Morales Rubio, Verde Star, Oranday Cárdenas, Rivas Morales, Arévalo Niño, and Cruz Vega (2005) germinaron *in vitro* semillas de *S. gummosus*, las semillas se extrajeron de frutos frescos, siendo sometidas a escarificación con ácido clorhídrico concentrado por 30 segundos, posteriormente se procedió a su desinfección con cloro al 10% por 15 minutos, seguido de un lavado en agua estéril y fueron sembradas en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), adicionado con BAP (Bencilaminopurina) 2 mg/L y K (Cinetina) 1 mg/L, y colocadas bajo condiciones de luz y temperatura controlada. Para el estudio fitoquímico se realizó siguiendo lo recomendado por Domínguez (1973), se utilizaron tallos y frutos frescos, se molieron y se colocaron en diferentes solventes de polaridad creciente, para obtener los extractos. Los resultados del cultivo *in vitro* indican que el proceso de escarificación, desinfección y medio utilizado son adecuados para el desarrollo y crecimiento de las plántulas. Se observó una germinación del 70 % de las semillas colocadas iniciando ésta al séptimo día y concluyendo el día 12, indicando estos resultados que el proceso de escarificación empleado elimina la dormancia de las semillas sin dañarlas. En cuanto a la formación de callo a partir de las plántulas germinadas *in vitro*, se obtuvo abundante material. El estudio fitoquímico de los tallos revela la presencia de diversos compuestos como: esteroides, flavonas, alcaloides, carbohidratos, y sesquiterpenlactonas; mientras que en los frutos fueron detectados saponinas, alcaloides, flavonas y leucoantocianinas. Morales Rubio et al. (2005) estudiaron los compuestos presentes en extractos metanólicos de tallos de *S. gummosus* y determinaron la DL50 sobre *A. salina*, encontrando triterpenos, saponinas, alcaloides y flavonoides y en cuanto al bioensayo de letalidad de *A. salina*, el método Probit nos indica una DL50 de 117.6 µg/mL, lo que nos indica la presencia de principios activos.

***Stenocereus pruinosus*: Pitaya de mayo**

Morales Rubio, Espinosa Vallejo, Barrón González, Garza Padrón, Martínez Cruz, Rodríguez Garza, and Treviño Neávez (2010) emplearon semillas de *S. pruinosus* como explantes, se sometieron a un proceso de desinfección y fueron sembradas en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), un tratamiento (1) adicionado con Bencilaminopurina 2 mg/L y Ácido Indolbutírico 1 mg/L y otro (2) sin reguladores. El cultivo se mantuvo bajo condiciones constantes de luz (12 h) y temperatura (22 a 24 °C). La desinfección fue altamente satisfactoria ya que el porcentaje de eficiencia de esterilidad fue del 100%. Se obtuvo un porcentaje de germinación de 100%, para ambos tratamientos. La respuesta morfogénica en el Tratamiento 1, dió como resultado la formación de múltiples brotes por plántula y una raíz única y engrosada, en cambio, en el Tratamiento 2 el crecimiento fue normal, obteniéndose un solo brote y múltiples raíces delgadas.

Treviño Neávez, Rodríguez Garza, Verde Star, Morales Rubio, Garza Padrón, Rivas Morales, and Oranday Cárdenas (2012) encontraron una actividad antifúngica relevante contra *Microsporum canis*, *M. gypseum*, *M. cookei* y *M. nanum* hongos dermatofitos, al evaluar los extractos metanólicos de tallos de *Stenocereus pruinosus* por el método de difusión de placa y presentar inhibición en dosis menores a 125mg/mL.

Pedraza Zamora, Treviño Neávez, Oranday Cárdenas, Garza Padrón, Rodríguez Garza, Verde Star, and Morales Rubio (2013) reportaron la respuesta morfogénica *S. pruinosus* de plántulas de dos meses de edad desarrolladas en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), las cuales mostraron la formación de múltiples brotes por plántula y una raíz única y engrosada, mientras que las desarrolladas en el mismo medio pero adicionado con Ácido Indolbutírico (AIB) en concentraciones de 0.0 a 1.0 mg/L y Bencilaminopurina (BAP) en un rango de concentraciones de 1.0 a 2.0 mg/L, desarrollaron un brote único y múltiples raíces delgadas.

***Stenocereus thurberi*: Pitamaya, Pitahaya dulce, Etcho, Echo**

García Davis, Rodríguez Reyna, Rodríguez Garza, Garza Padrón, Barrón González, Treviño Neávez, and Morales Rubio (2012), realizaron la propagación in vitro de *Stenocereus thurberi*, en medio MS (Murashige & Skoog, 1962) sin reguladores, siendo la variable la concentración de carbohidratos, para T1 fue de 20 g/L de sacarosa y para T2 fue de 30 g/L. a la sexta semana los porcentajes de germinación fueron de 92.9 y 78.6 para T1 y T2, respectivamente. A la sexta semana se realizó un subcultivo a medio MS (Murashige & Skoog, 1962), adicionado con 30g/L de sacarosa y 1 mg/L de BAP (Benciladeninopurina) observándose el desarrollo del brote con múltiples areólas.

***Lophocereus schottii*: Muso, Músaro, Sina, Sinita**

Morales Rubio, Verde Star, Oranday Cárdenas, Rivas Morales, Arévalo Niño, Treviño Neávez, Carranza Rosales, and Cruz Vega (2007) probaron la actividad biológica del extracto metanólico y acuoso de *L. schottii*. El metanólico presentó actividad inhibitoria sobre las siguientes bacterias: *Salmonella typhi*, *Enterobacter aerogenes*, *Listeria monocitogenes*, mientras que el extracto acuoso no presentó actividad bactericida. En cuanto al ensayo de Letalidad sobre *A. salina* los resultados obtenidos con el extracto metanólico nos indican que *L. schottii* presenta una DL_{50} de 70.3 $\mu\text{g/mL}$, mientras que el extracto acuoso presentó una DL_{50} de $>120 \mu\text{g/mL}$, resultados que nos indican la presencia de compuestos bioactivos. Con respecto a la actividad citotóxica contra las células HeLa, los resultados de las CI_{50} obtenidas nos indican para el extracto acuoso 73.3 $\mu\text{g/mL}$ y para el metanólico 9.2 $\mu\text{g/mL}$ de *L. schottii*, estos resultados comprueban, lo promisorio de esta planta. Pedraza Zamora (2010) estableció un protocolo para el cultivo in vitro de *L. schottii* a partir de semillas; empleó medio MS (Murashige & Skoog, 1962) con y sin reguladores de crecimiento, siendo el mejor tratamiento al que no se le adicionó reguladores, teniendo un 100% de germinación. Morales Rubio, Morales Vallarta, Treviño Neávez, Garza Padrón, Rodríguez Garza, Mar Aguilar, Reséndez Pérez, Verduzco Martínez, Cavazos González, Elizondo Herrera, and Barrón González (2010) determinaron la

actividad amebicida del extracto metanólico de callo de *Lophocereus schottii* y otras especies de cactáceas. Para realizar dicha evaluación se emplearon dosis de 0.01, 0.05, 0.1, 0.13, 0.15, 0.25, 0.30 y 0.7 mg/mL del extracto, se realizaron curvas dosis-respuesta para determinar la concentración inhibitoria media (CI_{50}), como control positivo se utilizó el metronidazol. Para cada dosis se dispuso de 12 tubos conteniendo 5 mL de medio PT, adicionado con 0.5 mL de suero bovino y 0.05 mL de antibiótico, cada tubo se inoculó con 1×10^4 cel/mL e incubadas a 37°C por 4 días. Cada concentración se probó en tres eventos independientes por triplicado. Se procedió a contar el número de trofozoítos/mL, se graficaron los resultados mostrando el ANOVA $P < 0.05$ y se determinó el CI_{50} mediante el análisis Probit. El extracto metanólico de *L. schottii* (callo) presentó la CI_{50} menor con 19.5 $\mu\text{g/mL}$ para inhibir el crecimiento de *E. histolytica* bajo condiciones axénicas in vitro. Morales Rubio, Treviño Neávez, and Viveros Valdez (2010) determinaron la actividad antioxidante del extracto metanólico de *Lophocereus schottii* con tres pruebas diferentes: DPPH, TEAC y FRAP. El extracto mostró actividades significativas en todos los ensayos, en el de DPPH la CE_{50} fue de 132.6 $\mu\text{g/mL}$ mientras que para la catequina el valor de la CE_{50} fue de 111.2 $\mu\text{g} / \text{mL}$. Pedraza Zamora et al. (2013) reportó la respuesta morfogénica de *P. schottii* (*Lophocereus schottii*), de plántulas de dos meses de edad desarrolladas en medio MS (Murashige & Skoog, 1962), las cuales mostraron una raíz larga y ramificada, un brote único, alargado con areolas pequeñas, redondeadas y con espinas conspicuas, mientras que las desarrolladas en el mismo medio pero adicionado con Ácido Indolbutírico (AIB) en concentraciones de 0.0 a 5.0 mg/L y Bencilaminopurina (BAP) en un rango de concentraciones de 1.0 a 6.0 mg/L mostraron una raíz muy corta y engrosada, el brote también es único, pero se ha engrosado con areolas prominentes, espinas pequeñas y abundantes tricomas lanosos, además se puede apreciar que el tejido comienza a diferenciarse como callo.

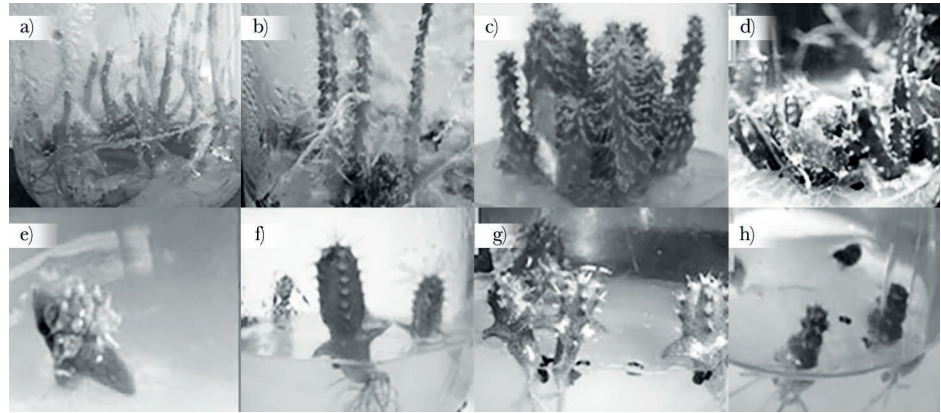
Conclusiones

Quizá la formulación del medio de cultivo de tejidos es más un arte que una disciplina por derecho propio, la experiencia es el mejor maestro en este tipo de trabajo y éste es el mejor consejo u orientación que se le puede dar a un principiante.

Los autores del presente capítulo, presentamos una recopilación de los resultados de las investigaciones realizadas de las especies: *Hylocereus undatus*, *Acanthocereus occidentalis*, *Stenocereus griseus*, *Stenocereus queretaroensis*, *Stenocereus gummosus*, *Stenocereus pruinosus*, *Stenocereus thurberi* y *Lophocereus schottii*, a cuyos frutos comúnmente se les denomina pitayas o pitahayas, que aparte de su belleza en su forma vegetativa y reproductiva, e importancia del cultivo, presentan otras propiedades relevantes que brindan alternativas para ser utilizadas por la población como muestra la Figura 1.

Cabe destacar que el presente trabajo, representa años de investigación, y no es solo trabajo de los investigadores, sino también de todos los alumnos que al desarrollar Tesis, Veranos de Investigación, Servicio social y Becarías, contribuyeron al mismo.

Figura 1. Fotografías de Pitayas y Pitahayas cultivadas *in vitro* en el Laboratorio de Micropropagación, Facultad de Ciencias Biológicas, UANL. (Elaboración propia)



a) *Hylocereus undatus*, b) *Acanthocereus occidentalis*, c) *Stenocereus gummosus*, d) *Stenocereus griseus*, e) *Stenocereus queretaroensis*, f) *Stenocereus pruinosus*, g) *Lophocereus schottii* y h) *Stenocereus thurberi*

Bibliografía

- Avilés A. H., Morales R.M.E., Treviño N. J.F., Oranday, C. A. (2004). Estudios germinativos de *Stenocereus gummosus* mediante escarificación y estudio fitoquímico del fruto. En *El nopal, tópicos de actualidad* (151-154). México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Cuéllar Chávez L., Morales Rubio M.E., Treviño Neávez J.F. (2006). La germinación *in vitro* una alternativa para obtener explantes en cactáceas. *Revista Zonas Áridas*, 10, 129-133.
- Domínguez, X.A. (1973). *Métodos de Investigación Fitoquímica*. México, D.F.: Limusa.
- García Davis S., Rodríguez Reyna D.G., Rodríguez Garza R.G., Garza Padrón R.A., Barrón González M.P., Treviño Neávez J.F., Morales Rubio M.E. (2012). Germinación *in vitro* de *Stenocereus thurberi*. En *Memorias in extenso del VIII Simposium Internacional sobre la Flora Silvestre de Zonas Áridas*. (693-699). Edo de México: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Garza Padrón R.A., Morales Rubio E., Oranday Cárdenas A., Treviño Neávez J.F. (2003). Componentes químicos de *Acanthocereus occidentalis* Britton and Rose. En *Memorias in extenso del VII Simposio de Botánica* (23-28). La Habana, Cuba: Jardín Botánico Nacional.
- Garza Padrón R. A., Morales Rubio M.E., Treviño Neávez J.F. (2005). Propagación *in vitro* de *Acanthocereus occidentalis* Britton and Rose. *Boletín Informativo de la SLCCS*, 2, 5-6.
- Molina Bartolo A.L., Morales Rubio M. E., Treviño Neávez J. F., Cavazos González R., Oranday Cárdenas A. (2009). Influencia de la concentración de sacarosa sobre la germinación *in vitro* de *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton and Rose. En *Memorias in extenso del 2º Congreso Internacional de Biotecnología Y Genómica "SEBioGen"* (-). N.L.: UANL.

- Morales Rubio M.E. (2000). Inducción de germinación, crecimiento de plántula y cultivo *in vitro* de pitahaya *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton and Rose. Fac. de C. Biológicas: UANL.
- Morales Rubio E., Treviño Neávez J., Oranday Cárdenas A., Garza Padrón R. (2001). Metabolitos secundarios presentes en *Hylocereus undatus*, una cactácea semitropical. Revista medicina Universitaria, 45.
- Morales Rubio, M.E., Verde Star J., Oranday Cárdenas A., Rivas Morales C., Arévalo Niño K., Cruz Vega D., Treviño Neávez J.F. (2005). Producción de callo de Pitaya agria y determinación de metabolitos secundarios en tallos y frutos. Boletín Informativo de la SLCCS, 2, 5-6.
- Morales Rubio, M. E., J.F. Treviño Neávez, J. Verde Star, A. Oranday Cárdenas, C. Rivas Morales. (2005). Cultivo *in vivo* e *in vitro* de *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton y Rose.. Boletín Informativo de la SLCCS., 2, 6-7.
- Morales Rubio M.E., Verde Star J., Oranday Cárdenas A., Rivas Morales C., Arévalo Niño K., Treviño Neávez J.F., Carranza Rosales P., Cruz Vega D.E. (2007). Actividad biológica de *Lophocereus schottii* (Engelm) Britton and Rose. RESPYN, Ed. Especial, 7.
- Morales Rubio M.E., Espinosa Vallejo Y., Barrón González M.P., Garza Padrón R.A., Martínez Cruz N.S., Rodríguez Garza R.G., Treviño Neávez J.F. (2010). Estudio sobre la germinación y desarrollo *in vitro* de *Stenocereus pruinosus* (Weber) Buxbaum. En Memorias in extenso del VII Simposium Internacional sobre la Flora Silvestre de Zonas Áridas. (144-153). Hermosillo, Sonora: Universidad de Sonora.
- Morales-Rubio M.E., Morales-Vallarta M.R., Treviño-Neávez J.F., Garza-Padrón R.A., Rodríguez-Garza R.G., Mar-Aguilar F., Reséndez-Pérez D., Verduzco-Martínez J.A., Cavazos-González R., Elizondo-Herrera A., Barrón González M.P. (2010). Actividad amebicida de extractos de tejidos *in vivo* e *in vitro* de cuatro especies de cactáceas sobre *Entamoeba histolytica*. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología Biomédica (Toctli RICTB), 1, 2.
- Morales-Rubio M.E., Treviño-Neávez J.F., Viveros-Valdéz E. (2010). Free Radical Scavening activities of *Lophocereus schottii* (Engelmann). International Journal of Natural and Engineering Sciences., 4, 65-68.
- Murashige T. y F.Skoog. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Physiology Plant., 15, 473-497.
- Pedraza Zamora M. (2010). Germinación *in vitro* y respuesta morfogénica de *Lophocereus schottii* (Engelmann) Britton and Rose. N.L.: Facultad de Ciencias Biológicas UANL.
- Pedraza Zamora Mariana, Treviño Neávez Jaime Fco., Oranday Cárdenas Azucena, Garza Padrón Ruth A., Rodríguez Garza Ramón G., Verde Star Ma. Julia, Morales Rubio Ma. Eufemia. (2013). Respuesta morfogénica en la germinación de 2 cactáceas del norte de México, bajo la acción de reguladores de crecimiento. Rev. Latinoamericana de química. 41, 50-51.
- Ruiz Urias, C., Morales Rubio, M.E., Cárdenas Cerda, E., Torres Cepeda, T.E., Mercado Hernández, R., Treviño Neávez, J.F. (1997). Micropropagación de *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton and Rose. En Memorias del 7 Congreso Nacional y 5 Internacional del Conocimiento y aprovechamiento del Nopal. N.L.: Fac. de Agronomía, UANL.

- Ruiz-Urias C., Torres-Cepeda T., Morales-Rubio M.E., Cárdenas-Cerda E. (2003). Propagación *in vitro* de *Hylocereus undatus* (Haworth) Britton & Rose, Pitahaya (Cactaceae). *Phyton*, 251-255.
- Serna Segura V., Morales Rubio E., Treviño Neavéz J., Oranday Cárdenas A. (2001). Respuesta de *Stenocereus queretaroensis* (Weber) Buxbaum al cultivo *in vitro*. En *Memorias del III Taller Regional de Cactáceas del Noreste de México*. (87-89). N.L.: UANL.
- Treviño Neávez J. F., Oranday Cárdenas A., Verde Star J., Morales Rubio M.E., Rivas Morales C. (2001). Alkaloid *in vivo* and *in vitro* of tissue of pitaya of may *Stenocereus griseus* (Haworth), Buxbaum. En 42nd Annual Meeting of the American Society of Pharmacognosy. Oaxaca: American Society of Pharmacognosy.
- Treviño Neávez J. F., Rodríguez Garza R.G., Ma. Julia Verde Star, Morales Rubio M.E., Garza Padrón R.A., Rivas Morales C., Oranday Cárdenas A. (2012). Actividad antifúngica de *Stenocereus pruinosus* y *Echinocereus stramineus*. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*. 43, 42-48.

Bionanotecnología para la producción de alimentos: retos y perspectivas

Bionanotechnology for the food production: challenges and perspectives

*Fabián Fernández-Luqueño⁴⁸

Fernando López-Valdez⁴⁹

Angelina González-Rosas⁵⁰

Juan Marcelo Miranda-Gómez

Resumen

⁴⁸*Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav, Unidad Saltillo). Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales y Energía. Saltillo, Coahuila, México. C.P. 25900, Coahuila, México. Tel: +52 844 4389625. *Contacto: cinves.cp.cha.luqueno@gmail.com*

⁴⁹*Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada - Instituto Politécnico Nacional (CI-BA-IPN). Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala, México.*

⁵⁰*Universidad Tecnológica de Tulancingo, Área Electromecánica Industrial. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México.*

La Bionanotecnología es un área del conocimiento relativamente nueva, se le atribuye un amplio potencial en diversos sectores como la producción de energía, agroindustrial, el tratamiento de aguas contaminadas, la farmacéutica, etc. La Bionanotecnología en el sector agroindustrial es de suma relevancia al contribuir sustancialmente en la producción agropecuaria, el procesamiento de alimentos, su empaque, su preservación y la detección y control de patógenos. No obstante, poco se sabe sobre los impactos y consecuencias futuras de la Bionanotecnología sobre la economía, el ambiente y la sociedad. La Bionanotecnología puede ofrecer oportunidades para el desarrollo de productos y aplicaciones en el sector agroindustrial: en el cultivo, producción, procesamiento, preservación y empaque de alimentos, con un bajo impacto en el ambiente; bajo la perspectiva de que un nanoalimento es un alimento donde se emplearon técnicas o procesos nanotecnológicos. El objetivo de este capítulo es analizar y discutir la información más reciente relacionada con los nanoalimentos y presentar brevemente algunos hallazgos de nuestro grupo de investigación en Bionanotecnología, particularmente, el efecto de nanopartículas sobre algunos cultivos de interés como modelos de estudio.

Abstract

The Bionanotechnology is a relatively new area of knowledge, is credited with vast potential in various sectors as energy production, agribusiness, wastewater treatment, pharmaceuticals, etc. The Bionanotechnology in the agribusiness sector is of utmost importance to contribute substantially to agricultural production, food processing, its packaging, preservation and the detection and control of pathogens. However, slight is known about the impacts and future consequences of Bionanotechnology on the economy, environment and society. Bionanotechnology can provide opportunities for the development of products on the agribusiness sector on the cultivation, production, processing, preservation and packaging of foods, with a low impact on the environment; the perspective that a nanofood is a food where Nanotechnology techniques or processes were used. The aim of this chapter is to analyze and discuss the latest information

regarding nanofood and briefly present some findings of our research group in Bionanotechnology, particularly, the effect of nanoparticles on some crops of interest as models for study.

Introducción

La Nanociencia es un área emergente de la ciencia que se ocupa del estudio de los materiales a diminutas dimensiones, esta ciencia a menudo se enfoca en la síntesis de nanopartículas (NPs) o nanomateriales. La Nanotecnología tiene la finalidad de controlar y reestructurar la materia a nivel atómico y molecular en intervalos de 1 a 100 nanómetros (nm), así como aprovechar las distintas propiedades y fenómenos que ocurren a estas escalas, en comparación con aquellos a escalas gruesas. El propósito de la Nanotecnología es el desarrollo de materiales, dispositivos o sistemas con propiedades funcionales. La Bionanotecnología estudia las interacciones entre la Biología y la Nanotecnología, que recientemente se ha colocado como una de las principales subdisciplinas de la Nanotecnología (Fernández-Luqueño et al., 2014).

Unidad de medida	Símbolo	Escala (m)	Organismos u objetos
Yoctómetro	ym	10^{-24}	Radio de la sección efectiva de los neutrinos (20 ym), etc.
Zeptómetro	zm	10^{-21}	El diámetro de un núcleo atómico mide 1 zm, top cuark (constituyente fundamental de la materia; 1 zm), etc.
Atómetro	am	10^{-18}	El diámetro de un electrón (1 am), etc.
Femtómetro	fm	10^{-15}	Los neutrones y protones (2.5 fm de diámetro), etc.
Picómetro	pm	10^{-12}	La longitud de onda más corta de los rayos X (5 pm), etc.
Ångström	Å	10^{-10}	Los átomos (1 Å), anillo de átomos de Fe ($\phi = 177.4$ Å o 17.7 nm), etc.
Nanómetro	nm	10^{-9}	Ribosoma (20 nm), esfera de plata (7 nm), NPs de oro (tratamiento de cáncer de mama, 100 a 200 nm), nanotransportadores (150 nm), gotas de nanoemulsiones (20 a 200 nm), nanocápsulas (fármaco y vehículo rodeado por una pared polimérica, 100 a 500 nm), ancho de la doble hélice de ADN (2 nm), ancho de un cromosoma (1 400 nm), etc.
Micrómetro	μm	10^{-6}	Las bacterias (1 a 10 μm), células vegetales y animales (10 a 100 μm), etc.
Milímetro	mm	10^{-3}	Hormigas, arañas, pulga, punta de un lápiz, etc.
Centímetro	cm	10^{-2}	Insectos, pelota de tenis, uvas, etc.
Decímetro	dm	10^{-1}	Roedores, balón de fútbol, etc.
Metro	m	1	Casa, salón, árbol, etc.

Tabla 1. Unidades de medida, sus símbolos y organismos u objetos mesurables a tales dimensiones (Elaboración propia).

La Nanociencia y la Nanotecnología hoy en día están en prácticamente todo lo que hacemos o usamos (Figura 1).

Hay que recordar que el prefijo “nano” significa una milmillonésima. Un nanómetro es una milésima parte de un micrómetro (μm), una millonésima parte de un milímetro (mm) y una mil millonésima parte de un metro (m; Tabla 1). En este capítulo se discutirán algunos aspectos de los nanoalimentos, considerando a un nanoalimento como un alimento en el cual se emplearon herramientas o procesos nanotecnológicos durante el cultivo, producción, manejo o empaque.

En 2015, la inversión en Nanotecnología alcanzará un billón de dólares, *i.e.*, 1×10^{12} dólares, pero se estima que para el año 2020, el mercado de la Nanotecnología alcanzará los tres billones de dólares, *i.e.*, 3×10^{12} dólares, generando más de 6 millones de empleos (Duran & Marcato, 2013; Clunan & Rodine-Hardy, 2014). A la fecha, cerca de 1 000 productos con alguna base nanotecnológica están en el mercado y se estima que al menos 10% de ellos son alimentos, bebidas o empaques para alimentos (FAO/WHO, 2010; Hu et al., 2010). La Nanotecnología podría apoyar a la agricultura y al sector agroindustrial a enfrentar cuatro grandes retos: *i*) incrementar la eficacia y productividad del sector agrícola, *ii*) frenar la constante reducción de la superficie agrícola y escasas de agua, *iii*) incrementar la eficiencia de la fertilización química y *iv*) reducir los problemas de contaminación. Los nanofertilizantes parecen ser una promesa que está en puerta. Sin embargo, debido a que los nanofertilizantes tienen una superficie o área específica mayor, éstos podrían incrementar su eficacia y aprovechamiento y acelerar su disolución, exacerbando así los problemas de eficiencia de los fertilizantes y su lixiviación. Adicionalmente, los nanofertilizantes podrían ser una ruta de entrada de NPs al ambiente, lo que podría poner en riesgo al ambiente y a la salud humana, es decir, las plantas podrían ser una ruta potencial de absorción y bioacumulación de NPs en la cadena trófica, por lo que es imperativo estudiar el riesgo potencial que conlleva el uso y liberación de nanofertilizantes (Fernández-Luqueño et al., 2014; Kumari & Yadav, 2014; Sekhon, 2014; Dasgupta et al., 2015). Adicionalmente, el control de plagas y enfermedades se puede realizar a través del uso de pesticidas con altas concentraciones, sin embargo, estos compuestos químicos representan un riesgo potencial para la salud y el ambiente. Por consiguiente, la encapsulación de pesticidas u otros agroquímicos podría reducir los riesgos para el ser humano y para el ambiente (Pérez-de-Luque & Rubiales, 2009).

La Bionanotecnología ofrece oportunidades considerables para el desarrollo de productos innovadores y aplicaciones para el cultivo, producción, procesamiento, preservación y empaque de alimentos y para el ambiente, es decir, el desarrollo de la Bionanotecnología podría traer beneficios potenciales a productores agrícolas, la agroindustria, los consumidores y la sociedad en su conjunto (FAO/WHO, 2010). No obstante, debido al poco conocimiento que se tiene al respecto, es necesario hacer investigaciones adicionales. Los materiales que son producidos intencionalmente con características estructurales a nanoescala (entre 1 y 100 nm) podrían tener diferentes propiedades cuando se comparan con su contraparte convencional. Los productos de la Bionanotecnología podrían ser empleados en una amplia gama de aplicaciones como empaques, para reducir el ataque microbiano y deterioro de alimentos, como aditivos para alimentos para modificar su textura, sabor, nutrientes, biodisponibilidad, etc. Adicionalmente, la Bionanotecnología podría también ofrecer nuevas rutas celulares o

fisiológicas para el transporte y liberación de pesticidas o fertilizantes dentro de las plantas. El impacto de la Bionanotecnología sobre la salud dependerá de cómo los consumidores están expuestos a tales materiales y si estos materiales se comportan diferente a sus contrapartes convencionales de mayores dimensiones (FAO/WHO, 2010; Duncan, 2011). También se ha demostrado que las NPs podrían interactuar con otras sustancias presentes en los alimentos (proteínas, lípidos, carbohidratos y ácidos nucleicos), como resultado de las propiedades fisicoquímicas particulares de las NPs que se emplean en la producción de alimentos (Hosseini et al., 2015).

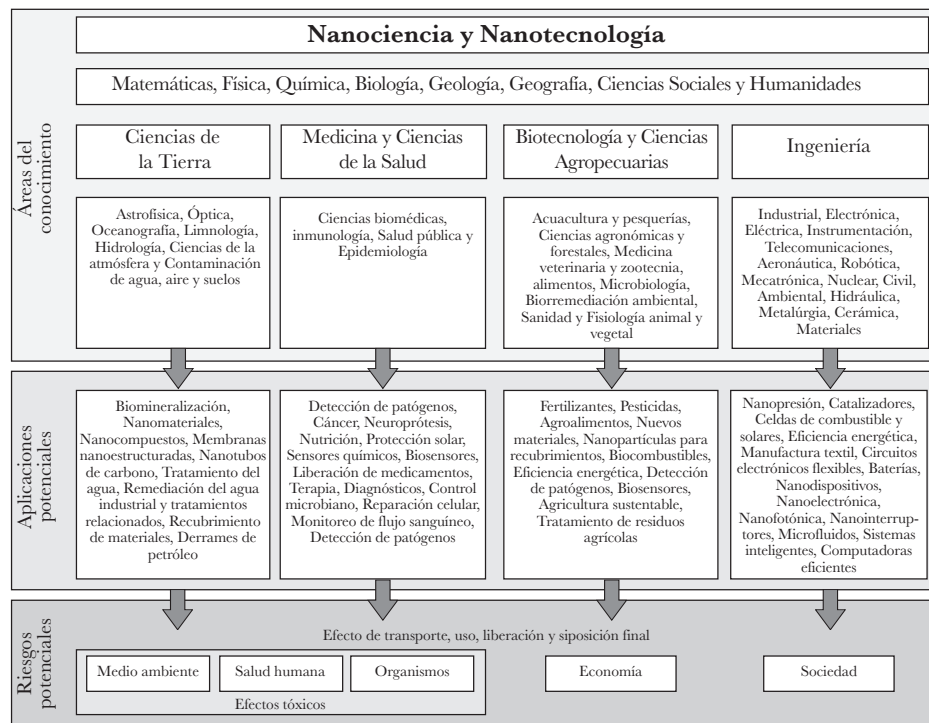


Figura 1. Principales áreas del conocimiento relacionadas con la Nanociencia y Nanotecnología, sus aplicaciones potenciales en el sector de alimentos y en las actividades agropecuarias y forestales, así como los riesgos potenciales (Algunas aplicaciones potenciales aún están en investigación y desarrollo; Elaboración propia).

Los sistemas de liberación controlada de medicamentos desarrollados por la industria farmacéutica han favorecido el desarrollo de sistemas para la industria alimentaria. Por ejemplo, se han nanoencapsulado compuestos bioactivos (componentes de los alimentos que influyen en la actividad celular y en los mecanismos fisiológicos, con efectos benéficos para la salud) para el desarrollo de alimentos funcionales (aquellos que además de haber sido elaborados por sus características nutricionales, también cumplen una función específica para mejorar la salud y reducir el riesgo de contraer enfermedades; Santiago, 2014; Martínez-Roldan & Carbajal-Azcona, 2015). Al reducir el tamaño de las partículas, la Nanotecnología contribuye a mejorar las propiedades de los compuestos alimenticios, tales como biodisponibilidad, solubilidad y absorción celular eficiente. Por ejemplo, compuestos altamente lipofílicos como carotenoides, omega-3 y fitosteroles son muy importantes en la dieta, pero su absorción es escasamente baja en el organismo. Por consiguiente, los sistemas de encapsulamiento para este tipo de compuestos como los portadores nanoestructurados lipídicos son muy eficientes para mejorar la absorción y biodisponibilidad de estos nutrientes en el organismo (Santiago, 2014).

Las NPs a base de óxidos metálicos se han aplicado en alimentos, materiales, químicos y estudios biológicos, gracias a que la forma termodinámicamente estable de muchos metales son precisamente sus óxidos. En muchos casos los óxidos metálicos de SiO₂, TiO₂ o ZnO han sido aprobados por la FDA (por sus siglas en inglés: Administración para los Alimentos y Medicamentos, de Estados Unidos) desde hace varias décadas. Por consiguiente se ha pretendido suponer que las NPs de esos mismos compuestos tampoco causan daños a los seres vivos o al ambiente (Fond & Meyer, 2006). Sin embargo, en años recientes se han documentado efectos nocivos de nanoalimentos sobre la salud (Cupaiolo et al., 2014; Periasamy et al., 2015; Smolkova et al., 2015). El objetivo de este capítulo es analizar y discutir la información más reciente relacionada con los nanoalimentos y presentar brevemente algunos hallazgos de nuestro grupo de investigación sobre la Bionanotecnología, en particular, sobre el efecto de NPs en algunos cultivos como modelos de estudio.

Encapsulación bioactiva

La encapsulación de nutrientes, texturas o sabores para la industria alimenticia ha sido empleada exitosamente por varios años (Pérez-de-Luque & Rubiales, 2009; Duran & Marcato, 2013). Péptidos antimicrobianos encapsulados en liposoma mostraron ventajas significativas en comparación con bactericida libre e incrementó la vida de anaquel de los alimentos, convirtiéndose en un importante transportador en la industria alimenticia (Malheiros et al., 2010). Otro transportador de suma importancia es la prolamina, un componente de la proteína de maíz, el cual ha sido empleado para transportar sabores y sustancias nutraceuticas (Torres-Giner et al., 2008; Wang & Chen, 2014). Los ácidos poli(D,L-láctico-co-glicólicos) (PLGA, por sus siglas en inglés) son polímeros biodegradables empleados para transportar compuestos antimicrobianos y se ha demostrado que las NPs de PLGA podrían ser útiles para transportar compuestos antimicrobianos de última generación, haciéndolos más estables y biodisponibles (Lannitelli et al., 2011; Pereira et al., 2015). Las NPs de quitosano, también llamado chitosán, han sido empleadas para liberar de forma controlada algunos fertilizantes como N, P y K (Corradini et al., 2010; Shafiee-Masouleh et al., 2014). Nanoestructuras de ácido oleico también han sido empleadas para encapsular y liberar de forma controlada algunos nutrientes (Abraham & Narine, 2009). El encapsulamiento de óxido nítrico para fines agrícolas y farmacéuticos también ha sido ampliamente estudiando (Friedman & Friedman, 2009; Kutner & Friedman, 2013).

Películas para la conservación y empaque de alimentos

Un problema recurrente en los alimentos es su estabilidad fisicoquímica y la contaminación microbiana durante su procesamiento, almacenamiento y comercialización. Las proteínas, carbohidratos, lípidos y agua en los alimentos cambian a través del tiempo debido a condiciones ambientales (luz, humedad, temperatura, etc.). La incorporación de nanomateriales en polímeros muestra un alto potencial para desarrollar sistemas de empaque activo para alimentos (Kuorwel et al., 2015). El uso de películas comestibles y empaques a base de nanomateriales puede retardar la descomposición de los alimentos,

incrementar su vida de anaquel y mejorar su calidad (Durán & Marcato, 2013). Los carragenanos (mezcla de varios polisacáridos), quitosano, gelatinas, ácidos polilácticos, ácidos poliglicólicos, alginatos, almidones y el caseinato de sodio son algunos de los materiales empleados en la producción de bioplásticos con aplicaciones en películas comestibles para el empaque de alimentos. Falguera et al. (2011) publicaron una revisión sobre películas comestibles y cubiertas para alimentos, donde se señala la importancia de estos materiales para la conservación, distribución y comercialización de los productos agropecuarios. Los empaques no comestibles a base de nanomateriales han sido estudiados ampliamente *i)* para mejorar los materiales plásticos a través de la incorporación de biomoléculas activas, *ii)* en la detección de las características de los alimentos y *iii)* en la modificación de sus propiedades mecánicas, térmicas, químicas y microbianas (Durán & Marcato, 2013). La Bionanotecnología facilita la producción de materiales biodegradables con características particulares, para mejorar el color, sabor, textura y olor de los alimentos, así como para regular la liberación de agentes bioactivos y la vida de anaquel (Sozer & Kokini, 2009; Sánchez-García et al., 2010).

Nanosensores

El desarrollo de nanosensores es un área importante en la agroindustria y en el sector agropecuario, porque estos sistemas podrían ser capaces de detectar y cuantificar concentraciones muy pequeñas de patógenos o contaminantes. Además, estos sistemas presentan alta sensibilidad, respuesta rápida y potencial de uso a escala masiva (Otlés & Yalcin, 2010). Nanofibras de polianilina depositadas en microelectrodos han sido empleadas para determinar la calidad del jugo de naranja a través de variaciones en la concentración de ácido cítrico (Medeiros et al., 2009). Recientemente, se han desarrollado nuevos nanosensores para determinar ácido ascórbico (Karimi-Maleh et al., 2014), vitamina B9 (Jamali et al., 2014) y tobramicina (Yola et al., 2014) en muestras de alimentos.

Impacto de la Nanotecnología sobre la actividad agrícola

Durante la última década se han desarrollado, patentado e incorporado nanomateriales de compuestos metálicos, de óxidos metálicos y de carbono (nanopesticidas, nanofertilizantes y nanosensores) en las actividades agrícolas (He et al., 2011; Servin et al., 2015; Tabla 2). La meta es mejorar la productividad agrícola y fortalecer la sustentabilidad de las prácticas agrícolas, no obstante, es necesario considerar que en los últimos años ha surgido la preocupación sobre cuál será el impacto de estos nanomateriales en el ambiente y en la salud. Se realizó una búsqueda (hasta julio de 2015) en bases de datos de publicaciones en revistas y patentes (Web of Science® y Scopus®) y se encontró una serie de nanofertilizantes, nanosensores o nanopesticidas que estarán disponibles en el mercado, en un futuro cercano aun sin contar con los estudios de impacto ambiental para justificar su uso o aplicación.

Los fertilizantes y pesticidas tradicionales han mostrado poca eficiencia para atender los problemas agrícolas alrededor del mundo. Por ejemplo, se sabe que la eficiencia de fertilización en un campo agrícola está por debajo del 50% (Méndez-Bautista et al., 2010; Fernández-Luqueño et al., 2014),

mientras que para el control de muchas enfermedades y plagas se requiere de diversas aplicaciones durante un ciclo agrícola (Méndez-Bautista et al., 2009). Investigadores y tecnólogos han propuesto encontrar soluciones sustentables a través de aplicaciones nanotecnológicas y/o bionanotecnológicas (Fernández-Luqueño et al., 2014). Una revisión bastante completa sobre nanofertilizantes se puede encontrar en Liu & Lal (2015).

Tabla 2. Nanomateriales, nanofertilizantes, nanopesticidas y nanosensores con potencial para transformar la agricultura y los sectores productivos relacionados (Elaboración propia).

Nanotecnología	Tipo de tecnología (fórmula o nombre)	Ventajas	Desventajas
Nanofertilizantes	NPs de Fe y Mg	Liberación controlada (Servin et al., 2015). Incrementa la eficiencia fotosintética (Delfani et al., 2014)	No se han evaluado los efectos ambientales o sobre la salud. (Fernández-Luqueño et al., 2014)
Nanopesticidas	NPs de Ag, ZnO, Mg, Si y TiO ₂	Las NPs inhiben fuertemente la actividad de microorganismos patógenos (He et al., 2011; Servin et al., 2015).	Escasa información (Servin et al., 2015)
Nanoencapsulación	Nanoencapsulación de insecticidas biológicos	Reduce el impacto ambiental y a la salud, comparado con insecticidas químicos (de Oliveira et al., 2014)	Escasa información del nanomaterial que encapsula y su impacto (Boehm et al., 2003)
Nanopelículas y empaques	Nanocristales de celulosa	Origen orgánico (Dhar et al., 2014). Control de patógenos en los alimentos (El-Wakil et al., 2015). Biodegradables después de su uso (Mateescu et al., 2015)	Tecnología nueva y complicada (Dhar et al., 2014). Probable migración de nanomateriales del empaque hacia los productos alimenticios (Kuorwel et al., 2015; Bumbudsanpharoke & Ko, 2015)
Nanosensores	Nanocompuesto de hexacianoferrato de grafeno y cobalto, entre otros (Zhu et al., 2015)	Detecta hidracina y nitrato en muestras ambientales y de alimentos (Luo et al., 2015). Detecta patógenos en alimentos (Koedrih et al., 2014)	Escasa información y compleja producción (Elyasi et al., 2013)
Nanotransportadores	Nanoliposomas, nanopartículas y nanofibras	Transporta fertilizantes, pesticidas, reguladores de crecimiento, etc. (Dasgupta et al., 2015)	Poca estabilidad en condiciones ácidas, rápida liberación (Blanco-Padilla et al., 2014)

Nuestro grupo de investigación ha desarrollado experimentos a nivel de laboratorio e invernadero para determinar el efecto de NPs de ferrihidrita, magnetita, hematita, dióxido de titanio y óxido de zinc sobre 15 especies cultivadas en diferentes zonas climáticas (templada, subtropical y tropical). Las especies estudiadas fueron: albahaca (*Ocimum basilicum* L.), panalillo (*Alyssum maritimum* L.), perejil (*Petroselinum sativum* Hoffman), perritos (*Antirrhinum majus* L.), orégano (*Origanum vulgare* L.), coleus (*Coleus blumei* Benth), lechuga francesa (*Lactuca sativa* L.), ageratum azul (*Ageratum houstonianum* Mill), frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), maíz (*Zea mays* L.), girasol (*Helianthus annuus* L.), alfalfa (*Medicago sativa* L.), tomate

(*Solanum lycopersicum* L.), betabel (*Beta vulgaris* L.) y margarita merry (*Chrysanthemum leucanthemum* L.). Se determinó el efecto de las NPs sobre los cultivos está en función de la concentración de las NPs, el tipo de NPs y la especie vegetal, *i.e.*, algunos cultivos responden favorablemente a altas concentraciones de NPs, mientras que otras especies presentan signos de toxicidad cuando son expuestas a altas dosis de NPs (Fernández-Luqueño et al., 2014). A la fecha, se han publicado diversos artículos y revisiones de investigación o capítulos de libros en los que se señalan las ventajas de la Bionanotecnología, la Nanociencia y la Nanotecnología sobre la producción, manejo, empaque y conservación de alimentos (Duran & Marcato, 2013; Fernández-Luqueño et al., 2014; Kuorwel, et al., 2015). Sin embargo, en ellas se señala el riesgo potencial que implica el uso de NPs o nanomateriales para la salud y el ambiente, por lo que se recomiendan estudios sobre los análisis de ciclo de vida y de impacto ambiental (Figura 2), que sean realizados por grupos de investigación transdisciplinarios.

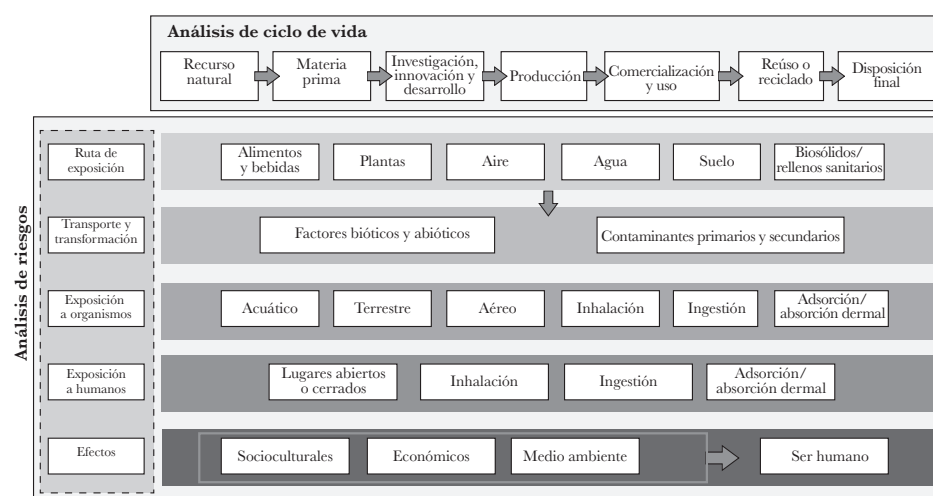


Figura 2. Diagrama de un análisis de ciclo de vida y un análisis de riesgos para garantizar que los procesos de elaboración de nanomateriales sean eficientes en términos de insumos consumidos (energía, agua, etc.), una adecuada disposición final y sean seguros para el ambiente y los organismos, incluidos los seres humanos (Elaboración propia).

A pesar de la poca información que demuestra que los alimentos producidos, empacados, manejados o almacenados con nanotecnologías, no afectan la salud o el ambiente. Yue et al. (2015) demostraron que los consumidores prefieren los nanoalimentos en comparación con los alimentos genéticamente modificados, lo cual deja en claro un futuro prometedor a los nanoalimentos.

Conclusión

La Bionanotecnología ofrece muchas oportunidades para el desarrollo de productos innovadores y aplicaciones para la agroindustria, la agricultura, el tratamiento de aguas, la producción de alimentos, su procesamiento, preservación y empaque, lo cual podría traer beneficios potenciales a los agricultores, agroindustriales y a los consumidores. No obstante, es necesario realizar investigaciones adicionales para determinar el riesgo potencial de los productos obtenidos por Bionanotecnología sobre la salud y el ambiente. Las investigaciones transdisciplinarias serán de suma relevancia para el desarrollo de productos bionanotecnológicos o de nanoalimentos y para el aseguramiento del cuidado ambiental, la salud y el

equilibrio ecológico. Adicionalmente, será necesaria la participación conjunta de investigadores, el gobierno y sus instituciones, la sociedad e industriales para establecer las normas que regulen y vigilen la producción y comercialización de los productos bionanotecnológicos, porque las aplicaciones potenciales de las Nanotecnologías han sido ampliamente estudiadas y divulgadas, sin embargo, los estudios sobre toxicidad de los nanomateriales y las regulaciones sobre seguridad no han avanzado al mismo paso.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo de sus respectivas instituciones de adscripción. La parte experimental en laboratorio e invernadero se financió a través del Proyecto 151881 de Investigación Básica SEP-CONACYT 2010-2012, intitulado “Efecto de nanopartículas sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de plantas cultivadas”.

Bibliografía

- Abraham, S. & Narine, S. S. (2009). Self-assembled nanostructures of oleic acid and their capacity for encapsulation and controlled delivery of nutrients. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 9 (11), 6326-6334.
- Blanco-Padilla, A., Soto, K. M., Iturriaga, M. H. and Mendoza, S. (2014). Food antimicrobial nanocarriers. *Scientific World Journal*. Article number 837215.
- Boehm, A.L., Martinon, I., Zerrouk, R., Rump, E. & Fessi, H. (2003). Nanoprecipitation technique for the encapsulation of agrochemical active ingredients. *Journal of Microencapsulation*. 20(4), 433-441.
- Bumbudsanpharoke, N. & Ko. (2015). Nano-food packing: An overview of market, migration research, and safety regulations. *Journal of Food Science* 80 (5), R960-R923.
- Corradini, E., de Moura, M. R. & Mattoso, L. H. C. (2010). A preliminary study of the incorporation of NPK fertilizer into chitosan nanoparticles. *Express Polymer Letters* 4 (8), 509-515.
- Clunan, A. & Rodine-Hardy, K. (2014). Nanotechnology in a globalized world. Strategic assessments of an emerging technology. U.S. Naval Postgraduate School. Recuperado el 12 de junio de 2015 de <http://www.NPs.edu/Academics/Centers/CCC/PASCC/Publications/2014/2014%20006%20Nanotechnology%20Strategic%20Assessments.pdf>
- Cupaiolo, F. A., Zucca, F. A., Boraschi, D. & Zecca, L. (2014). Engineered nanoparticles. How brain friendly is this new guest? *Progress in Neurobiology* 119, 20-38.
- Dasgupta, N., Ranjan, S., Mundekkad, D., Ramalingam, C., Shanker, R. & Kumar, A. (2015). Nanotechnology in agro-food: from field to plate. *Food Research International* 69, 381-400.
- Delfani, M., Firouzabadi, M. B., Farrokhi, N. & Makarian, H. (2014). Some physiological responses of black-eyed pea to iron and magnesium. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 45 (4), 530-540.

- Dhar, P., Bhardwaj, U., Kumar, A. & Katiyar, V. (2014). Cellulose nanocrystals: A potential nanofiller for food packaging applications. In: Komolprasert, V. & Turowski, P. (Eds.). *Food Additives and Packaging*. ACS Symposium Series. 1162, 197-239
- Duncan, T. V. (2011). The communication challenges presented by nanofoods. *Nature Nanotechnology* 6 (1), 683-688.
- Duran, N. & Marcato, P. D. (2013). Nanobiotechnology perspectives. Role of nanotechnology in the food industry: a review. *International Journal of Food Science and Technology* 48 (6), 1127-1134.
- Elyasi, M., Khalizadeh, M. A., Karimi-Maleh, H. (2013). High sensitive voltammetric sensor based on Pt/CNTs nanocomposite modified ionic liquid carbon paste electrode for determination of Sudan I in food samples. *Food Chemistry* 141 (4), 4311-4317.
- El-Wakil, N.A., Hassan, E.A., Abou-Zeid, R.E. & Dufresne, A. (2015). Development of wheat gluten/nanocellulose/titanium dioxide nanocomposites for active food packaging. *Carbohydrate Polymers* 124, 337-346.
- Flaguera, V., Quintero, J. P., Jimenez, A., Muñoz, J. A. & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology* 22, 292-303.
- FAO/WHO; Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization. (2010). *FAO/WHO expert meeting on the application of nanotechnologies in the food and agriculture sectors: potential food safety implications; Meeting report*. FAO/WHO, Roma, Italia. 109 pp.
- Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., Valerio-Rodríguez, M.F., Pariona, N., Hernández-López, J.L., García-Ortíz, I., López-Baltazar, J., Vega-Sánchez, M.C., Espinosa-Zapata, R. & Acosta-Gallegos, J.A. (2014). Effects of nanofertilizers on plant growth and development, and their interrelationship with the environmental. In: López-Valdez, F. & Fernández-Luqueño, F. (Eds.). *Fertilizers: components, uses in agriculture and environmental impact*. NOVA Science. New York, USA. 211-224 pp.
- Fond, A.M., & Meyer, G. J. (2006). Biototoxicity of metal oxide nanoparticles. In: Nanotechnologies for the life sciences. Vol. 5. *Nanomaterials-Toxicity, Health and Environmental Issues*. Challa, S.S.R.K. (Ed.). Wiley-VCH. 3-34 pp.
- Friedman, A. & Friedman, J. (2009). New biomaterials for the sustainable release of nitric oxide: past, present and future. *Expert Opinion on Drug Delivery*. 6 (10), 1113-1122.
- He, L. L., Liu, Y., Mustapha, A. & Lin, M. S. (2011). Antifungal activity of zinc oxide nanoparticles against *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum*. *Microbiology Research* 166 (3), 207-215.
- Hosseini, S. M. H., Emam-Djomeh, Z., Sabatino, P. & Van der Meer, P. (2015). Nanocomplex arising from protein-polysaccharide electrostatic interaction as a promising carrier for nutraceutical compounds. *Food Hydrocolloids* 50, 16-26.
- Hu, C. W., Li, M., Cui, Y. B., Li, D. S., Chen, J. & Yang, L. Y. (2010). Toxicological effects of TiO₂ and ZnO nanoparticles in soil on earthworm *Eisenia fetida*. *Soil Biology and Biochemistry* 42, 586-591.

- Jamali, T., Karimi-Maleh, H. & Khalilzadeh, M.A. (2014). A novel nanosensor based on Pt:Co nanoalloy ionic liquid carbon paste electrode for voltammetric determination of vitamin B-9 in food samples. *LWT-Food Science and Technology* 57 (2), 679-685.
- Karimi-Maleh, H., Moazampour, M., Yoosefian, M., Sanati, A. L., Tahernejad-Javazmi, F. & Mahani, M. (2014). An electrochemical nanosensor for simultaneous voltammetric determination of ascorbic acid and sudan I in food samples. *Food Analytical Methods* 7 (10), 2169-2176.
- Koedrith, P., Thasiphu, T., Tuitemwong, K., Boonprasert, R. & Tuitemwong, P. (2014). Recent advances in potential nanoparticles and nanotechnology for sensing food-borne pathogens and their toxins in foods and crops: current technologies and limitations. *Sensors and Materials* 26 (10), 711-736.
- Kumari, A. & Yadav, S. K. (2014). Nanotechnology in agri-food sector. *Critical Review in Food Science and Nutrition* 54 (8), 975-984.
- Kuorwel, K. K., Cran, M.J., Orbell, J. D., Buddhadasa, S. & Bigger, S. W. (2015). Review of mechanical properties, migration, and potential applications in active food packaging systems containing nanoclays and nanosilver. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14 (4), 411-430.
- Kutner, A. J. & Friedman, A. J. (2013). Use of nitric oxide nanoparticulate platform for the treatment of skin and soft tissue infections. *Wiley Interdisciplinary Reviews-Nanomedicine and Nanobiotechnology* 5 (5), 502-514.
- Lannitelli, A., Grande, R., Di Stefano, A., Di Giulio, M., Sozio, P., Bessa, L. J., Laserra, S., Paolini, C., Protasi, F. & Cellini, L. (2011). Potential antibacterial activity of carvacrol-loaded poly(DL-lactide-co-glycolide) (PLGA) nanoparticles against microbial biofilm. *International Journal of Molecular Sciences* 12 (8), 5039-5051.
- Liu, R. Q. & Lal, R. (2015). Potentials of engineered nanoparticles as fertilizers for increasing agronomic productions. *Science of the Total Environment*. 514, 131-139.
- Luo, X. L., Pan, J. B., Pan, K. M., Yu, Y. Y., Zhong, A. N., Wei, S. S., Li, J., Shi, J. Y. & Li, X. C. (2015). An electrochemical sensor for hydrazine and nitrite based on graphene-cobalt hexacyanoferrate nanocomposite: toward environment and food detection. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 745, 80-87.
- Malheiros, P. S., Daroit, D. J. & Brandelli, A. (2010). Food applications of liposome- encapsulated antimicrobial peptides. *Trends in Food Science & Technology*. 21, 284-292.
- Martínez-Roldán, C. & Carbajal-Azcona, A. (2015). *Componentes bioactivos de los alimentos*. Pp. 31-36.
- Mateescu, A. L., Dimov, T. V., GRumezescu, A. M., Gestal, M. C. & Chifiriuc, M. C. (2015). Nanostructured bioactive polymers used in food-packaging. *Current Pharmaceutical Biotechnology* 16 (2), 121-127.
- Medeiros, E. S., Gregorio, R., Martinez, R. A. & Mattoso, L. H. C. (2009). A taste sensor array based on polyaniline nanofibers for orange juice quality assessment. *Sensor Letters*. 7, 24-30.

- Méndez-Bautista, J., Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., Mendoza-Cristino, R., Montes-Molina, J.A., Gutierrez-Miceli, F.A., Dendooven, L. (2009). Effect of pest controlling neem (*Azadirachta indica* A. Juss) and mata-raton (*Gliricidia sepium* Jacquin) leaf extracts on emission of green house gases and inorganic-N content in urea-amended soil. *Chemosphere*. 76, 293-299.
- Méndez-Bautista, J., Fernández-Luqueño, F., López-Valdez, F., Mendoza-Cristino, R., Montes-Molina, J.A., Gutierrez-Miceli, F.A., Dendooven, L. (2010). Effect of pest controlling neem and mata-raton leaf extracts on greenhouse gas emission from urea-amended soil cultivation with beans: A greenhouse experiment. *Science of the Total Environment*. 408, 4961-4968.
- De Oliveira, J. L., Campos, E.V.R., Bakshi, M., Abhilash, P.C. & Fraceto, L. F. (2014). Application of nanotechnology for the encapsulation of botanical insecticides for sustainable agriculture: Prospects and promises. *Biotechnology Advances*. 32(8), 1550-1561.
- Otles, S. & Yalcin, B. (2010). Nano-biosensors as a new tool for detection of food quality and safety. *LogForum*. 6, 67-69.
- Pereira, M. C., Hill, L. E., Zambiasi, R. C., Mertens-Talcott, S., Talcott, S. & Gomes, C. L. (2015). Nanoencapsulation of hydrophobic phytochemicals using poly (DL-lactide-co-glycolide) (PLGA) for antioxidant and antimicrobial delivery applications: Guabirota fruit (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg) study. *LWT-Food Science and Technology* 63 (1), 100-107.
- Pérez-de-Luque, A. & Rubailes, D. (2009). Nanotechnology for parasitic plant control. *Pest Management Science*. 65, 540-545.
- Periasamy, v. s., Athinarayanan, J., Al-Hadi, A. M., Al Juhaimi, F., Mahmoud, M. H. & Alshatwi, A. A. (2015). Identification of titanium dioxide nanoparticles in food products: induce intracellular oxidative stress mediated by TNF and CYP1A genes in human lung fibroblast cells. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 39 (1), 176-186.
- Sanchez-García, M. D., Lopez-Rubio, A. & Lagaron, J.M. (2010). Natural micro and nanobiocomposites with enhanced barrier properties and novel functionalities for food biopackaging applications. *Trends in Food Science & Technology*. 21, 528-536.
- Santiago, J. (2014). Nanotecnología y alimentos funcionales. *Revista de la Sociedad Química de Perú*. 80(3), 155.
- Servin, A., Elmer, W., Mukherjee, A., Torre-Roche, R., Hamdi, H., White, J. C., Bindraban, P. & Dimkpa, C. (2015). A review of the use of engineered nanoparticles to suppress plant disease and enhance crop yield. *Journal of Nanoparticles Research*. 17(2), 92.
- Sekhon, B. S. (2014). Nanotechnology in agri-food production: an overview. *Nanotechnology, Science and Applications*. 7, 31-53.
- Shafiee-Masouleh, S. S., Hatamzadeh, A., Samizadeh, H. & Rad-Moghadam, K. (2014). Enlarging bulblet by magnetic and chelating structures of nano-chitosan as supplementary fertilizer in *Lilium*. *Horticulture Environment and Biotechnology*. 55(6), 437-444.

- Smolkova, B., El Yamani, N., Collins, A. R., Gutleb, A. C. & Dusinska, M. (2015). Nanoparticles in food. Epigenetic changes induced by nanomaterials and possible impact on health. *Food and Chemical Toxicology*. 77, 64-73.
- Sozer, N. & Kokini, J. L. (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology*. 27, 82-89.
- Torres-Giner, S., Gimenez, E. & Lagarona, J. M. (2008). Characterization of the morphology and thermal properties of zein prolamine nanostructures obtained by electrospinning. *Food Hydrocolloids*. 22(4), 601-614.
- Wang, Y. X. & Chen, L. Y. (2014). Cellulose nanowhiskers and fiber alignment greatly improve mechanical properties of electrospun prolamin protein fibers. *ACS Applied Materials & Interfaces* 6 (3), 1709-1718.
- Yola, M. L., Uzun, L., Ozaltin, N. & Denizli, A. (2014). Development of molecular imprinted nanosensor for determination of tobramycin in pharmaceuticals and foods. *Talanta*. 120, 318-324.
- Yue, C. Y., Zhao, S. L. & Kuzma, J. (2015). Heterogeneous consumer preferences for nanotechnology and genetic-modification technology in food products. *Journal of Agricultural Economics* 66 (2), 308-328.
- Zhu, C. Z., Yang, G. H., Li, H., Du, D. & Lin, Y. H. (2015). Electrochemical sensors and biosensors based on nanomaterials and nanostructures. *Analytical Chemistry* 87 (1), 230-249.

Aplicación de la fermentación en estado sólido para el tratamiento de residuos agroindustriales

Application of Solid-State Fermentation on Agroindustrial Residues

*Guillermo Arzate-Martínez⁵¹

Resumen

⁵¹Universidad Politécnica de Guanajuato. Av. Universidad Norte S/N Loc. Juan Alonso, Cortázar, Guanajuato, México C.P. 3848. *Contacto: garzate@upgto.edu.mx

En este documento se hace una revisión de varios aspectos de la fermentación en estado sólido, Este tipo de fermentación se lleva a cabo con la presencia de cantidades limitadas de agua; lo cual le proporciona ventajas sobre la fermentación sumergida; como la posibilidad de obtener productos más concentrados y con mayores rendimientos. Los productos que se obtienen por esta vía son principalmente enzimas, ácidos orgánicos o bioetanol. Además, se discuten brevemente varios tipos de diseños de bioreactores usados y variables importantes a controlar para obtener mayores rendimientos. Finalmente, se presentan algunos modelos matemáticos para definir la cinética de crecimiento de biomasa y la transferencia de masa y calor para diferentes tipos de bioreactores.

Abstract

In this document, several aspects related to solid-state fermentation are reviewed; this type of fermentation is carried out with a limited amount of water; this fact provides several advantages over the submerged fermentation; for example, the possibility of the obtention of more concentrated products and higher yields. The main products obtained via solid-state fermentation are enzymes, organic acids and bioethanol. Besides, several types of bioreactor designs and the main yield affecting controllable variables are discussed. Finally, several mathematical models for microbial growth and heat and mass transfer for various types of reactors are presented.

Introducción

La fermentación en estado sólido es una técnica de fermentación, la cual se lleva a cabo utilizando un material en estado sólido, sobre el cual crecen diferentes tipos de microorganismos con la característica de que ésta se lleva a cabo con cantidades limitadas de medio líquido, ya que el material sólido, que también sirve de soporte a los microorganismos, se encuentra solamente recubierto con una cantidad limitada de agua, adicionada de manera suficiente, para permitir el crecimiento de microorganismos. (Pandey, A. 2003; Singhanía, R. R. et al. 2009; Barghav et al. 2008).

La fermentación en estado sólido es una alternativa a la fermentación sumergida, ya que en esta última el proceso de fermentación se hace en estado

líquido. Tradicionalmente, la fermentación sumergida ha tenido un mayor desarrollo, quizás debido a la producción de la penicilina en los años 40, la cual se llevó a cabo en este tipo de fermentación (Pandey, A. 2003). Sin embargo, en años recientes, la fermentación en estado sólido ha adquirido una mayor importancia debido a que tiene numerosas ventajas sobre la fermentación sumergida (Tabla 1). Muchos investigadores argumentan que el crecimiento de microorganismos en fermentación en estado sólido, además de ser más simple que aquel llevado a cabo en fermentación sumergida, asemeja más las condiciones bajo las cuales éstos crecen en la naturaleza, por lo que representa una menor inversión con respecto a materias primas y equipos. Además, de que en este tipo de fermentaciones se tiene un ahorro en el consumo de agua, y que por esta razón, son menos los microorganismos capaces de crecer en el medio de fermentación (limitado a algunas levaduras, hongos y bacterias), disminuyendo la probabilidad de contaminación (Prabhakar, A. et al. 2005); y finalmente, en este tipo de fermentaciones se ha reportado un mayor rendimiento en la obtención de enzimas y otros metabolitos secundarios. En la Tabla 1 se muestra un análisis de las ventajas y las desventajas de la fermentación en fase sólida y la fermentación sumergida.

Ventajas	Desventajas
Mayor productividad	Dificultades asociadas al escalamiento
Mejor circulación de oxígeno	Baja eficiencia de mezclado
Medios de cultivo con menor costo	Dificultad en el control de los parámetros del proceso (pH, calor, humedad, condiciones de nutrientes)
Los procesos subsecuentes de purificación usualmente son más simples (aunque no siempre menos costosos)	Problemas de transferencia de calor
Menores requerimientos de energía y costos	En ocasiones la recuperación de los productos es costosa
Tecnología simple	
Relativamente baja incidencia de problemas de operación	
Menor cantidad de agua consumida	

Tabla 1. Ventajas y Desventajas de la Fermentación en Estado Sólido con respecto a la Fermentación Sumergida. (Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006; Raimbault M. et al. 1998)

Sustratos utilizados en la fermentación en estado sólido

La selección del tipo de residuos a utilizar en la FES, depende en gran medida de la aplicación para la cual se destine. De esta manera, se puede estar interesado en la obtención de productos útiles a partir de los residuos y adicionalmente en el tratamiento de residuos agroindustriales que en caso de no aprovecharse, constituirían un desecho.

La selección más común como sustrato para los microorganismos son residuos agroindustriales, tales como rastrojos, pajas, semillas, bagazos, fibras,

aserrines, salvados, cáscaras o tortas residuales de procesos de extracción de aceite (Barghav et al. 2008). Dentro de los residuos, son preferidos aquellos que tienen un menor contenido de cenizas, como por ejemplo los bagazos de caña y tapioca (Pandey, A. et. al 2000); también se ha reportado fermentación en estado sólido en desechos industriales tales como película de celulosa usadas para la cocción de embutidos (Shreenath H.K. y Koegel R.G. 2008)

La elección del sustrato depende entonces del producto que se desee producir y del microorganismo que se emplee para hacer la degradación.

Microorganismos

Las levaduras y los hongos filamentosos son los principales tipos de microorganismos usados en la fermentación; estos últimos debido a su capacidad de penetrar las superficies sólidas gracias a sus filamentos; a pesar de esto, también se han reportado trabajos en los cuales se utilizan cultivos de bacterias.

La tabla 2 muestra los grupos de microorganismos usados para diferentes tipos de procesos de fermentación.

Tabla 2 Microorganismos involucrados en la fermentación en estado sólido. (Raimbault M. et al. 1998)

Microflora	Proceso de fermentación en estado sólido
Bacterias	
<i>Bacillus sp.</i>	Composteo, producción de amilasa
<i>Pseudomonas sp. Serratia sp. Streptococcus sp.</i>	Composteo
<i>Lactobacillus sp. Clostridium sp.</i>	Ensilado, producción de aditivos alimentarios
Levaduras	
<i>Endomicopsis burtonii</i>	Fermentación de mandioca y arroz
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Producción de etanol y aditivos alimentarios
<i>Schwanniomyces Castellii</i>	Producción de etanol y amilasas
Hongos	
<i>Aspergillus oryzae</i>	En procesos de elaboración de miso japonés y salsa de soya. Al hongo se le conoce como koji en Japón. Producción de ácido cítrico
<i>Rhizopus oligosporus</i>	Producción de tempeh a partir de soya, producción de enzimas como lipasas y amilasas
<i>Aspergillus niger</i>	Producción de amilasas, ácido cítrico y proteínas

Principales aplicaciones de la fermentación en estado sólido

Son muchos los productos obtenidos por fermentación en estado sólido, entre los principales se encuentran las enzimas, ácidos orgánicos, bioetanol, compuestos de sabor y agentes de control biológico. (Pandey, A. 2003; Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006; Barghav et al. 2008; Ramos-Sánchez L.B., et al. 2015).

Enzimas

Mediante la utilización de la fermentación en estado sólido, se pueden producir una gran variedad de enzimas como las proteasas, celulasas, fitasas, pectinasas, xilanasas y lipasas.

Proteasas

Las proteasas son enzimas que encuentran muchas aplicaciones en la formulación de detergentes y en la manufactura de quesos y carne (Nout M.J.R. y Rombouts, F. M.1990). Se ha reportado la producción de proteasas a partir de residuos de molienda de arroz fermentados por *Aspergillus Niger* obteniéndose extractos enzimáticos de hasta 67.7 U/g (Paranthaman R. et al. 2009), otros ejemplos de producción de proteasas incluyen: Su producción a partir de desperdicios de Granada (*Punica Granatum*) (R. Santhi, 2014), donde se obtuvo un extracto con una actividad de 140 U/ml tras hacer una suplementación con sulfato de amonio; la producción a partir de una torta de soya sobrecalentada (Thakur, S.A., et al. 2015) usando *Aspergillus oryzae* y variando factores como el tamaño de partícula, la humedad de la torta, el tiempo de incubación y el pH, en este estudio se logró obtener una actividad de hasta 1387.6 U/g.

Celulasas, pectinasas y xilanasas

Las celulasas son enzimas que se utilizan para la hidrólisis de la celulosa. Aunque una aplicación clásica de las mismas es en el tratamiento de pulpas de papel, un nicho que se ha desarrollado mucho en la actualidad es su uso en la producción de bioetanol; las celulasas hidrolizan la celulosa para rendir glucosa, la cual se puede transformar en etanol por fermentación con alguna levadura, típicamente *Saccharomyces cerevisiae*. Algunos de los procesos en los cuales que se han usado para la producción de estas enzimas en fermentación en estado sólido, encontramos los siguientes: (Sartori, T., et. al 2015), en este trabajo se obtuvo un extracto con actividad celulolítica a partir de olotes inoculados con esporas de *Trichoderma viride* que después fue probado en varios sustratos obteniéndose una actividad de 10.146 U/g de extracto sobre aserrín de eucalipto. Las pectinasas se usan principalmente en la industria de los jugos vegetales, para la clarificación de los mismos; además se reporta su uso en la industria de los vinos (Cavalitto, S.F., et al. 1996). Ha sido posible la producción de pectinasas en fermentación en estado sólido inoculando pulpa de remolacha azucarera con *Aspergillus niger* y usando agua de desecho rica en nitrógeno proveniente de una empresa productora de glutamato monosódico, el resultado fue la obtención de un extracto con actividad de endo-poligalacturonasa (un tipo de pectinasa) que mostró ser un estimulante de las defensas de semillas de tomate y pepino inoculadas con diferentes agentes patógenos (Zhang, B. et, al. 2004). Las xilanasas consisten en un complejo enzimático compuesto principalmente por endo-1,4- β -xilanasas y β -xilosidasas. Este tipo de enzimas son responsables de la hidrólisis de los xilanos, un tipo de hemicelulosa consistente en un polímero lineal de unidades de β -D-xilopiranosilo unidas por enlaces glucosídicos 1-4. Estas enzimas son producidas por bacterias, hongos filamentosos, levaduras, crustáceos, algas, insectos, semillas, etc. (Motta, F.L., et al. 2013; Polizeli, M. L. et al. 2005). En fermentación en estado sólido se han producido a partir de agroresiduos como salvado de trigo, olotes de maíz, cascara de arroz, salvado de arroz y bagazo de caña usando *Bacillus licheniformis*,

a partir de estos residuos se obtuvieron hasta 48.12 U/g de actividad enzimática (Chaturvedi S., et al. 2015). En otro estudio reciente se obtuvo una xilanas termoresistente (incluso a 70° C) a partir de la inoculación de salvado de trigo con *Bacillus lparvinder st. lpu002*, una especie nueva de bacilo aislado de muestras de suelo (Kaur, A. et al. 2015).

Fitasas y lipasas

Las fitasas son enzimas utilizadas para defosforilar el ácido fítico presente en los cereales. El propósito de hacer esto es para aumentar la disponibilidad de fosfatos en la elaboración de dietas para animales monogástricos, ya que estos no pueden digerir el ácido fítico (Hídvégi M. y Lásztity, R., 2002). Se ha reportado la producción de fitasas por fermentación en estado sólido en salvado de arroz por una cepa de *Thermomyces lanoginosus*, la optimización de la producción de esta enzima se logró al experimentar con cuatro factores (temperatura, pH, área de aeración y madurez del cultivo) y se logró un máximo de actividad de 3.248 U/mL de extracto sobre fitato de sodio (Berikten, D. y Kivanc, M., 2014). Las lipasas son enzimas usadas para modificar glicéridos, su uso es muy promisorio en la preparación de glicéridos preparados con aplicaciones específicas, como por ejemplo, mezclas enriquecidas con mono- o diacilglicéridos (Fregolente, L. V., et al. 2006) o triacilglicéridos con una distribución específica de ésteres (Choi, J.H., et al. 2012). La producción de lipasas se ha podido llevar a cabo por medio de FES en sustratos tales como tortas residuales de extracción de aceite de babasú inoculando con *Penicillium restrictum*, el medio fue enriquecido con peptona, aceite de oliva y almidón, se obtuvo una actividad máxima de la lipasa de 30 U/g (Palma M.B., et al. 2000).

Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos se han utilizado en la industria de los alimentos como agentes conservadores (Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006) debido a su capacidad para funcionar como agentes quelantes (Barghav et al. 2008). El valor en el mercado para este tipo de ácidos en el 2004 era de alrededor de 14 mil millones de dólares, con una expectativa de crecimiento anual de 4.7% (Soccol, C.R., et al. 2008)

Ácido cítrico y ácido láctico

El ácido cítrico es junto con el ácido acético, el ácido orgánico más comercializado (Soccol, C.R., et al. 2008). La industria de los alimentos consume alrededor del 70% del mismo al utilizarlo como aditivo conservador y potenciador de sabores (Shah, D.N., et al. 1993). Existen reportes de su producción con FES, principalmente a partir de desechos de cítricos; por ejemplo; su producción a partir de cáscara de uva inoculada con *Aspergillus niger*; en este estudio se logra un extracto con una concentración del ácido de hasta 34.64 g/kg (Hariveeran-Goud., K., et al. 2012). El ácido láctico es un ácido orgánico usado como aditivo en alimentos para conferirles sabores ácidos, también se usa como regulador de pH (Bayiste, R., 2015) y como precursor en la preparación de ácido poliláctico, un polímero biodegradable con aplicaciones biomédicas (Pawar, R.P., et al. 2014). La producción de este ácido se suele llevar a cabo por fermentación

de azúcares con bacterias ácido lácticas en fermentación sumergida; sin embargo, es posible la producción directa de sustratos sólidos ricos en carbono mediante el uso de FES usando hongos como *Rizopus oryzae* o lactobacilos con actividad amilolítica tales como *Lactobacillus amylovorus* o *Lactobacillus amylophilus*, también se puede utilizar otro tipo de lactobacilos en combinación con enzimas degradadoras (Bayiste, R., 2015).

Bioetanol

La creciente necesidad de aumentar la producción de combustibles a partir de fuentes renovables hace que sea de particular interés la producción de bioetanol de forma económica. Usualmente, el bioetanol se produce en fermentación sumergida; sin embargo la necesidad de obtener mayores concentraciones del mismo y la posibilidad de acoplar la sacarificación y la fermentación con levaduras simultáneamente en un bioreactor de fermentación en estado sólido, hacen de ésta última, una opción muy atractiva (Barghav et al. 2008; Shreenath H.K. y Koegel R.G. 2008; Ban, J. et al. 2008).

Reactores usados en la fes

Existen básicamente cuatro tipos de bioreactores usados en FES. Los bioreactores de platos o charolas, los de lecho empacado, los de lecho fluidizado y los de tambor horizontal.

Los reactores de platos o charolas

Este tipo de reactores consisten en una serie de platos montados sobre unos soportes o anaqueles. El sustrato se coloca sobre los platos formando una cama no muy profunda sobre cada plato. El anaquel con los platos se encuentra dentro de una cámara por la que circula aire húmedo con la finalidad de mantener la oxigenación y el control de la temperatura (Figura 1). Tienen la ventaja de tener un diseño muy simple; sin embargo, presentan dificultades en su escalamiento debido a que para su instalación, se requiere un gran espacio (Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006).

Los reactores de lecho empacado y de lecho fluidizado

Los biorreactores de lecho empacado consisten en un tubo que puede ser de plástico o de vidrio, dentro del cual se introduce el sustrato sólido (Fig. 2a). Este tipo de reactores cuenta con dispositivos que permiten la entrada de aire; de manera que es posible suministrar oxígeno al interior del mismo (Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006). Además, también se puede colocar una chaqueta de enfriamiento; dentro de la cual circula agua para bajar la temperatura. Este tipo de bioreactores a pesar de ser muy utilizados, cuentan con el problema de que en su interior se generan temperaturas muy altas que afectan al proceso de fermentación, esto se debe a que usualmente los sustratos usados tienen muy baja conductividad, produciéndose una baja transferencia de calor. Una solución a lo anterior son los diseños alternativos, como los bioreactores de lecho fluidizado (Fig. 2b). En estos reactores el sustrato sólido se encuentra sumergido en líquido, con la finalidad de favorecer los procesos de transferencia de calor y masa (Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006). Por último, existe otra alternativa,

el biorreactor zymotis (Fig. 2c), (Roussos, S. et al. 1993) que cuenta con placas internas de enfriamiento, dentro de las cuales se permite la circulación de agua.

Reactores horizontales de tambor rotatorio

Este tipo de fermentadores consiste en un cilindro horizontal que se llena con el medio de fermentación. El cilindro gira a una baja velocidad y se encuentra provisto de baffles interiores, de esta forma se promueve el mezclado y la transferencia de calor (Fig. 3a). En otra configuración, los reactores se equipan con un eje rotatorio para mover impulsores que logran el mezclado (Fig. 3b). También se introducen corrientes de aire en el interior del mismo para lograr la oxigenación del cultivo. La desventaja de este tipo de bioreactores consiste en que para poder lograr un efecto óptimo de mezclado, se deben llenar cuando mucho hasta un 30% de su capacidad, lo cual imposibilita el tratamiento de lotes con una mayor cantidad de carga (Rodríguez, C. S. y Sanromán, M. A. 2006).

VARIABLES IMPORTANTES EN LA FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO

Existen diferentes variables cuyo control es crítico para obtener un mayor rendimiento de producto en la fermentación en estado sólido. Las principales variables que el experimentador puede controlar son: la humedad y el tamaño de partícula del sustrato, el pH, la temperatura y la composición del medio y el tiempo de fermentación.

Humedad del sustrato

La humedad en el sustrato sólido es de vital importancia, debido a que los microorganismos necesitan valores relativamente altos de humedad para poder desarrollarse. Valores de actividad de agua entre 0.96 hasta 0.99 son reportados en la literatura como aquellos óptimos en los cuales se desarrollan varias especies de hongos (Barghav et al. 2008). Asimismo, es importante considerar la pérdida de agua por la acción de la evaporación y el consumo de la misma por parte de los microorganismos (Borzani, W., et al. 1999).

El tamaño de partícula del sustrato

Existen estudios donde se muestra el efecto del tamaño de partícula sobre la eficiencia del proceso de fermentación (Zadrazil, F., y Puniya, A. K. 1995; Vastrad, B.M y Neelagund, S.E., 2011). Suministrar el sustrato en forma de partículas pequeñas puede resultar ventajoso porque se incrementa el área de contacto. Las partículas pequeñas pueden ser limitantes para la difusión de oxígeno, ya que los espacios entre las mismas serán menores (Zadrazil, F., y Puniya, A. K. 1995). Las partículas de mayor tamaño tienen la ventaja de mejorar la difusión de gases, sin embargo, estas partículas retienen menos agua, lo cual resulta en una desventaja para el desarrollo de hongos.

Temperatura del medio

La temperatura del medio de fermentación es uno de los factores más importantes, y quizás el más difícil de controlar en la fermentación en estado sólido. Debido a la baja conductividad térmica de los sustratos, la dispersión del calor hacia

los alrededores es reducida (Prabhakar, A. et al. 2005), formándose gradientes de temperatura por lo que es necesario equipar los reactores con chaquetas de enfriamiento enfriadas con agua o corrientes de aire alimentadas alternando las direcciones de flujo (Büek, A. et al. 2015) (Ver sección 5). Se han reportado que entre 20°C y 55°C es el intervalo de temperatura bajo las cuáles el crecimiento de los hongos es óptimo (Barghav et al. 2008).

PH del medio

El pH del medio de cultivo es un factor importante que muchos investigadores han estudiado en varios trabajos de fermentación en estado sólido (Rashmi A.M., et al. 2012). Convencionalmente se usa un pH ácido (de alrededor de 4), en sistemas donde no existe control de pH con la finalidad de evitar contaminación. Sin embargo, existen muchos microorganismos que crecen en pH neutro (Saucedo- Castañeda, G., et al. 1992).

Composición del medio de fermentación

Adicional a la fuente de carbono presente en los sustratos sólidos, es necesario añadir al medio de fermentación, diferentes nutrientes para lograr el crecimiento de los microorganismos. De esta manera, es necesario suplementar, fuentes de nitrógeno, y minerales. El nitrógeno es necesario para que los microorganismos produzcan proteínas, algunas de las fuentes de nitrógeno más comunes son los extractos de levadura, la urea, peptona, nitratos y nitritos (Kumar, A. y Singh-Kanwar S., 2012). También es común añadir micronutrientes tales como sales de calcio, magnesio, potasio y otros elementos (Subash N., et al 2013).

Tiempo de fermentación, productividad y concentración de biomasa

El tiempo óptimo de fermentación es aquel tiempo en el que se maximiza la productividad. La productividad puede establecerse en términos de la cantidad de producto producido por unidad de volumen de reactor por unidad de tiempo; o bien, puede ser el cociente entre la concentración de biomasa sobre el volumen del reactor y el tiempo de fermentación. Para establecer la productividad, es importante tener un mecanismo para medir la concentración de los productos o la biomasa a lo largo del proceso de fermentación. Esto se puede llevar a cabo con mediciones indirectas por medio de métodos bioquímicos, como por ejemplo los cambios en glucosamina, ergosterol y consumo de O₂ y CO₂ (Desgranges, C., et al. 1991; Krishna C., 2005).

Modelamiento matemático de la fermentación en fase sólida

El modelamiento matemático en la fermentación en fase sólida tiene una gran importancia para poder controlar y optimizar la operación de los bioreactores. Los modelos pueden describir los fenómenos desde un nivel macroscópico o un nivel microscópico. Los modelos a nivel macroscópico se basan en balances de masa para el O₂ y el agua dentro del sustrato y en el espacio de cabeza, además también se utilizan los balances de energía para poder predecir los perfiles de temperatura dentro de los reactores. Los modelos microscópicos describen la cinética de crecimiento de la biomasa (Mitchell, D.A., et al. 2003).

Modelos macroscópicos (transferencia de masa y calor)

Rajagopalan, S. y Modak J. M. (1994) han propuesto modelos para la transferencia de oxígeno, para biorreactores de charolas:

a) Modelo para la transferencia de oxígeno:

$$\frac{\partial C_{O_2}^\varepsilon}{\partial t} = D_{O_2}^b \frac{\partial^2 C_{O_2}}{\partial z^2} - K_a a_x (C_{O_2} - H C_{O_2}^f)$$

Donde se asume que

$$K_a a_x (C_{O_2} - H C_{O_2}^f) = r_{O_2}$$

Donde: C_{O_2} es la concentración de O_2 dentro de los poros, ε es la porosidad del sustrato, t es el tiempo, z es la coordenada en dirección a la profundidad de la cama, $D_{O_2}^b$ es la difusividad efectiva del oxígeno en el medio, K_a es el coeficiente de transferencia de masa para el O_2 , H es la constante de la ley de Henry, $C_{O_2}^f$ es la concentración de O_2 dentro de la biopelícula y r_{O_2} es la velocidad de consumo de O_2 , que puede considerarse de acuerdo a una cinética de Monod.

b) Modelos para la transferencia de agua: El modelo de transferencia es propuesto por Smits, J. P. et al. (1999)

$$\frac{\partial C_w}{\partial t} = r_{H_2O} - \left[\frac{\partial C_{VAP}}{\partial t} - D_{VAP}^* \frac{\partial^2 C_{VAP}}{\partial z^2} \right]$$

Donde C_w es la concentración de agua líquida por unidad de volumen de sustrato, r_{H_2O} es la velocidad de producción consumo de agua por los microorganismos, C_{VAP} es la concentración de vapor de agua por unidad de volumen de sustrato y D_{VAP}^* es la difusividad efectiva del vapor de agua dentro de la cama de sustrato. El primer término entre paréntesis representa la evaporación del agua y el segundo la difusión del agua en los espacios de la cama.

c) Modelos para la transferencia de calor

Smits propone como modelo para la transferencia de energía al siguiente:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = k_b \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + r_Q + \lambda D_{VAP}^* \frac{\partial^2 C_{VAP}}{\partial z^2}$$

Donde: H es la entalpía de la cama de sustrato, λ es el calor de vaporización del agua. El primer término del lado derecho es la transferencia de calor por conducción, el segundo la producción de calor debido al metabolismo de los microorganismos y el tercero, la dispersión de calor debido a la evaporación del agua.

Modelos microscópicos (cinéticas de crecimiento microbiano)

Este tipo de modelos describe el crecimiento cinético de los microorganismos en el interior del reactor. Se puede hacer el modelamiento en dos niveles, en el primero simplemente obteniendo modelos descritos por ecuaciones empíricas; y en el segundo nivel, tomando en cuenta factores ambientales que pueden afectar

el crecimiento de los microorganismos, tales como la difusión intraparticular de enzimas o la interacción de los microorganismos con productos de hidrólisis (Mitchell, D.A., et al. 2004).

Algunos modelos sencillos que se pueden utilizar para seguir la cinética de crecimiento de los microorganismos están incluidos en la tabla 3.

Lineal	Exponencial	Logística	De dos fases
$\frac{dX}{dt} = k$	$\frac{dX}{dt} = \mu X$	$\frac{dX}{dt} = \mu X \left(1 - \frac{X}{X_m}\right)$	$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad t < t_a$ $\frac{dX}{dt} = [\mu L e^{-k(t-t_a)}] X \quad t \geq t_a$

X es la cantidad de biomasa, t es el tiempo, K es la constante de crecimiento lineal, μ es la tasa de crecimiento específico, X_m es la cantidad máxima posible de biomasa, t_a es el tiempo a partir del cual comienza la etapa de desaceleración exponencial y L es el cociente entre la tasa de crecimiento específico justo antes de terminar la fase exponencial y la tasa de crecimiento específico de la fase exponencial. (Mitchell, D.A., et al. 2004).

Retos y perspectivas de la fermentación en estado sólido

A pesar de todas las ventajas de la fermentación en estado sólido, todavía se tienen muchos retos para que su utilización sea más generalizada. Los principales retos están centrados en aumentar el rendimiento de los productos, lograr temperaturas más homogéneas dentro de los bioreactores y encontrar mejores métodos para determinar la biomasa.

Bibliografía

- Ban, J., Yu, J., Zhang, X., Tan, T. (2008) Ethanol production from sweet sorghum residual. *Frontiers of Chemical Engineering in China*. 2(4) 452-455
- Barghav, S., Panda, B. P., Ali, M. y Javi, S. (2008) Solid-State Fermentation: An Overview. *Chem. Biochem. Eng. Q.* 22 (1), 49-70.
- Bayiste, R. (2015) Lactic acid production from biomass: Prospects for bioresidue utilization in Ghana: Technological Review. *International Journal of Applied Science and Technology*. 5 (1), 164-174
- Berikten D. y Kivanc, M. (2014) Optimization of solid-state fermentation for phytase production by *Thermomyces lanuginosus* using surface response methodology. *Preparative Biochemistry & Biotechnology* 44, 834-848.
- Borzani, W., Salomao, G.L., y Martins, J.C., (1999) A simple method to control the moisture content of the fermenting medium during laboratory-scale solid-state fermentation. *Braz. J. Chem. Eng.* 16(1) [versión electrónica]
- Bück, A., Casciatori, F. P., Thoméo, J.C. y Tostsas, E. (2015) Model-based control of enzyme yield in solid-state fermentation. *Procedia Engineering* 102, 362-371

- Cavalitto, S. F., Arcas, J. A., Hours, R. A. (1996) Pectinase production profile of *Aspergillus foetidus* in solid state cultures at different acidities. *Biotechnology Letters*.
- Chaturvedi, S., Kohli, K. U., Rajni, S., Khurana, S. M. P., (2015) Statistical optimization of medium composition for xylanases production by solid-state fermentation using agroresidues. *American Journal of Microbiological Research*. 3 (2) 85-92
- Choi, J. H., Kim, B. H., Hong, S.I., Kim, C.T., Kim, C. J., Kim, Y. y Kim I. H. (2011) Lipase-ctalysed production of triacylglycerols enriched in pinolenic acid at the sn-2 position from pine nut oil. *J. Sci. Food Agric*. 92 (4) 870-876
- Desgranges, C., Vergoinan, M., Georges, M. y Durand, A. (1991) Biomass estimation in solid state fermentation. *Appl. Microbiol. Biotechnol*. 35 (2), 200-205
- Fregolente, L. V., Batistella, C. V., Filho, R. M., Wolf Maciel, M. R., (2006) Optimization of distilled monoglycerides production. *Appl Biochem. Biotechnol*. 131 (1-3) 680-693.
- Hariveeran-Goud. K., Srilakshmi, A., Kumar, A.P., Narasimha, G., (2012) Citric acid production by *Aspergillus niger* through solid state fermentation using fruit wastes. *BTAJ* 6 (3), 2012 93-96
- Hidvegi, M. y Lázstity, R. (2002) Phytic acid content of cereals and legumes and interaction with proteins. *Periodica Polytechnica Ser. Chem. Eng* 48 (1-2) 59-64
- Kaur, A., Chopra C., Joshi, A., Sharma, N. J. (2015) Bioprocessing, biochemical characterization and optimization of solid state fermentation of a new thermostable xylanase producing strain belonging to *Bacillus* genus. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 7 (1) 266-276.
- Krishna, C. (2005) Solid-state fermentation systems- an overview. *Crit. Rev. Biotechnol*. 25(1-2), 1-30.
- Kumar, A. y Singh-Kanwar, S. (2012) Lipase production in solid-state fermentation (SSF): *Dymanic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology*. 6 Special Issue 1 13-27
- Mitchell, D.A., von Meien, O., Krieger, N. (2003) Recent Developments in modeling of solid state fermentation: heat and mass transfer in bioreactors. *Biochemical Engineering Journal* 13, 137-147.
- Mitchell, D.A., von Meien, O., Krieger, N. y Dalsenter, F.D.H. (2004) A review of recent developments in modeling of microbial growth kinetics and intraparticulate phenomena in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*. 17, 15-26.
- Motta, F.L, Andrade, C. C. P. Santana, M.H.A, A Review of Xylanase Production by the Fermentation of Xylan: Classification, Characterization and Applications. Artículo de Libro: Sustainable Degradation of Lignocellulosic Biomass-Techniques, Applications and Commercialization 2013. <http://www.intechopen.com/books/export/citation/EndNote/sustainable-degradation-of-lignocellulosic-biomass-techniques-applications-and-commercialization/a-review-of-xylanase-production-by-the-fermentation-of-xylan-classification-characterization-and-app>
- Nout, M. J. R. y Rombouts, F. M. (1990) Recent developments in tempe research. *J. Appl. Bacteriol*. 69(5) 609-633.

- Palma, M.B., Pinto, A.L., Gombert, A.K., Seitz, K.H., Kivatnitz, S.C., Castilho, L.R. y Freire D.M. (2000) Lipase production by penicillium restrictum using solid waste of of industrial babassu oil production as a substrate. *Appl Biochem. Biotechnol.* 84-86, 1137-1145
- Pandey, A., Soccol, C.R., Nigam, P., Soccol, V.T., Singh, D. (2000) Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: Sugarcane bagasse 74, 69
- Pandey, A. (2003) Solid-State Fermentation. *Biochem. Eng. J.* 13, 81-84
- Paranthaman, R., Alagusundaram, K. y Indhumanthi J. (2009) Production of Protease from Rice Mill Wates by *Aspergillus niger* in Solid-State Fermentation. *World J. Agric. Sci.* 5 (3) 308-319.
- Pawar, R.P., Tekale, S.U., Shisodia, S.U., Totre, J.T. y Domb, A.J. Biomedical applications of poly (lactic acid). *Recent Patents on Regenerative Medicine* 4, 40-51
- Polizeli, M.L., Rizzatti, A.C., Monti, R., Terenzi, H. F., Jorge, J. A., Amorim, D. S. (2005) Xylanases from fungi: Properties and industrial applications. *Appl Microbiol. Biotechnol.* 67 (5) 577-591.
- Prabhakar, A., Krishnaiah, K., Janaun, J. y Bono, A. (2005) An Overview of Engineering Aspects of Solid-State Fermentetion *Malaysian Journal of Biotechnology* 1 (2), 10-16
- Ramos-Sánchez, L.B., Cujilema-Quitio, M. C., Julián-Ricardo, M. C., Cordova, J. y Pickers, P. (2015) Fungal Lipase Production by Solid-State Fermentation *J. Bioprocess. Biotech.* 5 2-9
- Raimbault, M. (1998) General and Microbiological Aspects of Solid-Sustrate Fermentation [versión electrónica] *EJB Electronic Journal of Biotechnology* 1(3) disponible en www.ejb.org
- Rajagopalan, S. y Modak, J.M. (1994) Heat and mass transfer simulation studies for solid-state fermentation processes. *Chem. Eng. Sci.* 49, 2187-2193.
- Rashmi, A.M., Gopinath, S.M., Krishan, K. y Narasimha, M.T.P (2012) A new solid state fermentation for the production of L-glutaminase by *Aspergillus Flavus* (FGNAS-7) *IJLRST* 1(4) 304-307
- Rodríguez, C. S., y SanRomán, M.A. (2006) Application of Solid-State Fermentation to Food Industry – A review *J. Food Eng.* 76, 291-302
- Roussos, S., Raimbault, M., Prebois, J.P. y Lonsane, B.K. (1993) Zymotis, a large scale solid state fermenter design and evaluation. *Applied Biochemistry and Biotechnology.* 42 (1) 37-52.
- Santhi, R. (2014) Extracellular protease production by solid state fermentation using *Punica granatum* peel waste *IJPR* 4(6) 2706-2712
- Sartori, T., Tibolla, H., Prigol, E., Colla, L.M., Vieira-Costa, J. A. y Bertolin, T.E. (2015), Enzymatic saccharification of lignocellulosic residues by cellulases obtained from solid-state fermentation using *Thichoderma viride*. *BioMed Res Int.* [versión electrónica] 1-9
- Saucedo-Castañeda, G., Lonsane, B.K., Navarro, J.M., Rossos, S. y Raimbault, M. (1992) Importance of medium pH in solid state fermentation for growth of *Schwanniomyces castelli*. *Letters in Applied Technology* 15(4) 164-167.
- Shah, D.N., Chattoo, B.B. y Kothari, R.M. (1993), Starch hydrolysis, an optimal and economical source of carbon for the secretion of citric acid by *Yarrowia lipolytica* (DS-1) *Starch-Stärke* 45 (3) 104-109

- Shreenath H.K. y Koegel R.G. (2008) Bioconversion of Spent Cellulose Sausage Casings. *Enzyme Microb. Technol.*
- Singhania, R. R., Patel, A. K., Soccol, C. R. y Pandey, A. (2009) Recent Advances in Solid-State Fermentation. *Biochem. Eng. J.* 44, 13-18
- Smits, J.P., van Sonsbeek, H.M., Tramper, J., Knol, W., Geelhoed, W., Peeters, M., Rinzema, A. (1999) Modelling fungal solid-state fermentation: the role of inactivation kinetics. *Bioprocess Eng.* 20 391-404.
- Soccol, C.R., Vandenberghe, L.P.S., Rodrigues C., Pedroni, M.A.B., Larroche, C., Pandey, A. (2008) Production of organic acids by solid-state fermentation. En Pandey, A. Soccol, C.R., Larroche C. *Current Developments in solid-state fermentation. Capítulo 10.* 205-229.
- Subash, N., Viji, J., Sasikumar, C., Meenakshisundaram, M. (2013) Isolation, media optimization and formulation of *Trichoderma harzianum* in agricultural soil. *J. Microbiol. Biotech. Res.* 3(1), 61-64.
- Takhur, S.A., Nemade, S.N. y Sharanappa, A. (2015) Solid-state fermentation of overheated soybean meal (waste) for production of protease using *Aspergillus oryzae*. *IJIRSET*, 4(1) 18456-18461
- Vastrad, B.M. y Neelagund, S.E. (2011) Optimization and Production of Neomycin from diferent agroindustrial wates in solid-state fermentation *IJPSDR* 3(2) 104-111.
- Zadrazil, F., y Puniya, A. K. (1995) Studies on the effect of particle size on solid-state fermentation of sugar cane bagasse into animal feed using White-rot fungi. *Biosource Biotechnology* 54, 85-87
- Zhang, B., Zhang, H. X., Qi, H.Y., Peng, X. W., Li, B.J. (2004) Pectinase production by *Aspergillus niger* using wastewater in solid state fermentation for eliciting plant disease resistance. *Bioresour. Technol.* 95(1) 49-52.

Producción biotecnológica de aditivos alimentarios

Biotechnology production of food additives

*Rodríguez Castillejos Guadalupe C.⁵²
Castillo Ruíz Octelina
Perales Torres Adriana L.

Resumen

⁵²Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán de la Universidad autónoma de Tamaulipas. *Contacto: grc_conny@hotmail.com

La sociedad demanda productos alimenticios de buena calidad y alto valor nutricional; esto sin perder la buena apariencia. Además de estas características, los alimentos deben tener un tiempo de vida amplio y durante dicho tiempo mantener todas sus propiedades. Esto se consigue actualmente utilizando aditivos alimentarios. Los aditivos pueden obtenerse por extracción a partir de plantas o microorganismos, por síntesis química y, muchos de ellos se producen utilizando microorganismos nativos o modificados genéticamente. A diferencia de los obtenidos por síntesis química, los aditivos producidos biotecnológicamente son seguros para la salud. Las fermentaciones industriales suelen ser procesos caros, sobre todo por el costo del medio de cultivo, ya que muchos microorganismos utilizados son exigentes en su crecimiento. Por ello, se están llevando a cabo estudios para evaluar el uso de materias primas agrícolas baratas o desechos agroindustriales como fuentes de carbono y nitrógeno para el crecimiento de estos microorganismos. Como resultado de estas fermentaciones se obtienen desechos con alto contenido proteico, que pueden ser utilizados en otras áreas. Esto hace que la producción biotecnológica sea un proceso más rentable y amigable con el medio ambiente. La disminución en los costos de producción de los aditivos permite su utilización en una gama más amplia de alimentos, que conlleva a mejorar la calidad y valor nutricional de los mismos. Entre los aditivos más usados, cuya producción se debe a procesos de fermentación, tenemos el ácido cítrico, ácido láctico, xilitol y transglutaminasa. Palabras clave: aditivos, alimentos, producción biotecnológica, fermentación

Abstract

Society demands food products of good quality and high nutritional value; this without losing the good looks. Besides these features, the food should have ample time during that time life and maintain all its properties. This is achieved currently used food additives. Additives can be obtained by extraction from plants or microorganisms, by chemical synthesis and currently, many of them are produced using native or genetically modified microorganisms. Unlike those obtained by chemical synthesis, additives produced biotechnologically are safe for health. Industrial fermentations often is expensive process, especially for the cost of the culture medium, as many microorganisms used are demanding in its growth. Therefore, they are conducting studies to evaluate the use of cheap

agricultural raw materials and agro-industrial waste as sources of carbon and nitrogen for the growth of these microorganisms. As a result of these fermentations waste with high protein content, is be used in other areas. This makes the biotechnological production is more cost-effective and friendly to the environment process. The decrease in production costs of the additive allows use in a wider range of food, leading to improving the quality and nutritional value thereof. Among the most commonly used additives, with production due to fermentation processes, we have the transglutaminase citric acid, lactic acid, and xylitol.

Introducción

El Codex Alimentarius define como aditivo “cualquier sustancia que en cuanto tal no se consume normalmente como alimento, ni tampoco se usa como ingrediente básico en alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de producción, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características”. Actualmente los aditivos se utilizan para mejorar propiedades de color, textura y alargar el tiempo de vida útil de los alimentos. Sin embargo, también son útiles para obtener productos a partir de materias primas con alto valor nutritivo, pero que no se estiman adecuadas para consumo directo.

Contrario a su efecto benéfico sobre las propiedades de los alimentos, algunos aditivos han mostrado tener un efecto negativo sobre la salud; por ello se ha vuelto importante hacer cambios en la producción y obtención de los aditivos para asegurar su eficacia e inocuidad (Wilson & Bahna, 2005).

Clasificación de aditivos

Los aditivos pueden clasificarse de acuerdo a su origen o la función en el alimento. Por su origen pueden ser naturales, modificados, de síntesis o sintéticos. En cuanto a su uso, se clasifican en colorantes, conservadores, antioxidantes, reguladores de pH, agentes que actúan sobre la textura (estabilizantes, espesantes, gelificantes, emulsificantes), potenciadores de sabor, correctores de acidez y otros (Cubero et al., 2002; Gil, 2010).

La mayoría de los alimentos elaborados contiene aditivos, ya sea para cambiar o potenciar el color o sabor, mejorar la textura, evitar enranciamiento, prolongar su vida útil, etc. A gran parte de los aditivos se les ha asignado un número de serie controlado por la Comunidad Económica Europea (ECC), el cual va después de una letra E. Los aditivos entran en la siguientes categorías de acuerdo a la función en el alimento: antisépticos o conservadores, antioxidantes, colorantes, edulcorantes, acidulantes y reguladores del pH, potenciadores de sabor, modificadores de textura (emulgentes, espesantes, gelificantes, estabilizadores, y otros).

Los conservadores tienen la finalidad de evitar el crecimiento microbiano, son sustancias químicas que inhiben ciertas rutas metabólicas de

hongos y bacterias principalmente. Se añaden con la finalidad de alargar la vida útil de anaquel de los alimentos y bebidas (Cubero et al, 2002); además protegen del crecimiento de microorganismos patógenos que representan un riesgo para la salud del consumidor (Wilson & Bahna, 2005).

Los antioxidantes son sustancias que también prolongan la vida útil de los alimentos, pero evitando el deterioro causado por la oxidación de compuestos químicos, principalmente los ácidos grasos conocido como enranciamiento de grasas y aceites. Este proceso de oxidación puede provocar cambios de color, olor e incluso sabor en el alimento; además de la producción de compuestos que pudieran ser tóxicos (Wilson & Bahna, 2005; Gil, 2010).

Los colorantes son tintes o pigmentos que se añaden para hacerlos más atractivos a la vista del consumidor; en algunos ocasiones realzan el color natural de los alimentos y bebidas y en otros dan un color completamente diferente. Los colorantes permitidos son de origen natural o sintético. Los de origen natural son extraídos de plantas o insectos, o se induce a su producción en microorganismos (Wilson & Bahna, 2005; Cubero et al., 2002)

Los edulcorantes son también conocidos como dulcificantes son sustancias que se añaden para dar un sabor dulce a los alimentos o en edulcorantes de mesa. Se pueden dividir de acuerdo a su poder endulzante en dulcificantes intensos, donde se encuentran aquellos más dulces que la sacarosa y por lo tanto se utilizan en bajas cantidades; por otro lado están los dulcificantes por volumen, que tienen un dulzor similar a la sacarosa (Cubero et al., 2002).

Los acidulantes son sustancias que incrementan la acidez de un producto, le confieren sabor ácido, o ambos. También están los agentes de carga, los cuales incrementan el volumen de un producto sin contribuir significativamente a su valor energético. Los estabilizantes posibilitan el mantenimiento de un estado fisicoquímico de los alimentos; los emulgentes o emulsionantes son los encargados de mantener estables las mezclas agua-aceite o agua-grasa. Estos son algunos de los principales grupos de aditivos y su función en los alimentos (Wilson & Bahna, 2005; Cubero et al., 2002; Barros, 2009).

Efectos tóxicos de los aditivos

Los alimentos son una mezcla heterogénea de compuestos químicos. La mayoría de los alimentos que consumimos contienen compuestos químicos naturales, propios del alimento, y añadidos. La industria de los aditivos ha crecido aceleradamente debido a los consumidores exigentes (Hjalager & Corigliano, 2000; Troy & Kerry, 2010). Para efectos de legislación y regulación alimentaria, los aditivos no solo deben demostrar cubrir una necesidad tecnológica; además de esto, debe demostrarse su inocuidad (Metcalfé et al., 2011) Aunque tanto los aditivos sintéticos como los naturales han mostrado tener efectos tóxicos, esto es mayor en los de origen sintético. Por ejemplo dentro de los conservadores, los sulfitos se relacionan con asma, alergias y dermatitis (Pereira et al., 2005). En los últimos años se ha evaluado el efecto de péptidos producidos por bacterias probióticas, conocidos como bacteriocinas; los cuales tienen un efecto benéfico al eliminar bacterias patógenas y se ha evaluado su uso como conservadores de alimentos. Estas bacteriocinas al degradarse no producen compuestos tóxicos y tienen acción específica sobre ciertos microorganismos (Cotter et al., 2005).

Sasaki et al., (2002) determinaron la genotoxicidad de 39 aditivos alimentarios. Se dividieron en categorías de acuerdo a la función en el alimento (colorantes, fijadores de color y conservantes, conservantes, antioxidantes, fungicidas, y edulcorantes). El estudio se llevó a cabo en ratones machis ddY. De los colorantes evaluados los más tóxicos fueron el Amaranto, Rojo allura, Tartrazina, Eritrosina, Floxina y Rosa de bengala. Estos indujeron daño en el ADN de células estomacales, colón o vejiga. Además de estos, los antioxidantes BHA (hidroxianisol butilado) y BHT (hidroxitolueno butilado); tres conservadores con efecto fungicida (bifenilo, sodio, o-fenilfenol, y tiabendazol), y cuatro edulcorantes (ciclamato de sodio, sacarina, sacarina de sodio, y sucralosa) también indujeron daños en el ADN de células de órganos gastrointestinales.

Otros aditivos ampliamente utilizados son los nitratos y nitritos. Los nitritos se unen a la hemoglobina formando metahemoglobina, por lo que se deja de transportar oxígeno. Además los nitratos y nitritos inducen a la formación de nitrosaminas, compuestos con conocido efecto cancerígeno (Honikel, 2008).

Han surgido nuevos compuestos químicos en reemplazo a los aditivos con efecto tóxico comprobado. Aunado a esto la síntesis química de aditivos llega a la formación de subproductos que pudieran ser también tóxicos por lo que debe hacerse un proceso de purificación riguroso. Por ello, una de las alternativas a la producción química de aditivos, es la producción biotecnológica, utilizando microorganismos principalmente. La biotecnología es la ciencia que utiliza seres vivos o compuestos de los mismos en la producción de bienes o servicios, y es actualmente una herramienta útil en varios campos de la industria.

Producción biotecnológica de ácido cítrico

El ácido cítrico es uno de los conservadores más ampliamente utilizados, además del efecto acidulante y conservador (Cubero et al., 2002). Ha habido una creciente demanda por desarrollar alternativas a la síntesis química de éste y otros compuestos utilizados como aditivos alimentarios. En respuesta han surgido procesos de fermentación utilizando microorganismos a nivel industrial (Soccol et al., 2006). Diversos microorganismos han sido estudiados para la producción de ácido cítrico, dentro de estos se encuentran bacterias, como *Bacillus licheniformis* y *Corynebacterium* spp.; mohos como *Aspergillus niger*, *A. aculeatus*, *A. carbonarius*, *A. awamori*, *A. foetidus*, *A. fonsecaeus*, *A. phoenicis* y *Penicillium janthinellum*; y levaduras tales como *Candida tropicalis*, *C. oleophila*, *C. guilliermondii*, *C. citroformans*, *Hansenula anamola* y *Yarrowia lipolytica* (Andersen et al., 2011; Valerio et al., 2009) han sido empleados para la producción de ácido cítrico. Sin embargo, el moho *Aspergillus niger* ha sido el que ha dado mejores resultados en cuanto a productividad y rendimiento. La mejora de cepas productoras de ácido cítrico se ha llevado a cabo por mutagénesis y selección; la técnica más empleada ha sido mediante la inducción de mutaciones en las cepas parentales utilizando mutágenos (Andersen et al., 2011; Valerio et al., 2009). Además de esto se está innovando en los medios de cultivo; una de las nuevas puertas en la biotecnología es el uso de materias primas baratas como cultivos de bajo costo, que no pueden ser consumidos por humanos o animales debido a la presencia de compuestos tóxicos o bien desechos industriales, uno de ellos es el lactosuero. El lactosuero o suero de leche se ha convertido en el

principal producto de desecho de la industria láctea, a pesar de los continuos esfuerzos encaminados a encontrar una manera de usarlo. Diversos estudios han propuesto investigar la producción de ácido cítrico por fermentación sumergida utilizando mohos del género *Aspergillus* crecidos en un medio a base de lactosuero (Roth et al., 2009; Vandenberghe et al., 2000; El-Holi & Al-Delaimy, 2004). Esto tiene como ventajas la disminución del costo del medio de cultivo y reduce el impacto ambiental causado por la descarga de este subproducto en las fuentes de agua cercanos. La cepa de *Aspergillus niger* NRRL 3 ha mostrado ser la mejor productora de ácido cítrico en los medios de cultivo examinados, se alcanza una mayor concentración de ácido cítrico cuando el suero lleva un proceso de evaporación, desproteinizado e hidrolizado con lactosa β -galactosidasa. Sin embargo, aún se estudian más cepas productoras del mismo género de mohos (Roth et al., 2009).

Producción de transglutaminasa microbiana

Las transglutaminasas (TGAsas; EC 2.3.2.13) son una familia de enzimas clasificadas en el grupo dos; están presentes en la mayoría de tejidos y fluidos extracelulares de los vertebrados (Wilhelm et al., 1996); fueron identificadas por Clarke et al., (1959) como enzimas presentes en el hígado de cobayo que eran capaces de incorporar aminos dentro de las proteínas y están ampliamente distribuidas en la naturaleza. Las TGAsas catalizan una reacción de acil transferencia; los grupos γ -carboxamida de un péptido con residuos de glutamina son los donadores del grupo acilo y los residuos de lisina funcionan como aceptores. Esto da como resultado la formación de un enlace cruzado entre glutamina y lisina (ϵ - γ -glutamina). Las TGAsas también catalizan reacciones de desamidación e incorporación de aminos (Özrenk, 2006). A principios de 1980 se llevaron a cabo los primeros estudios para modificar el comportamiento de proteínas de la leche y soya utilizando transglutaminasa extraída de hígado de cobayo y de plasma bovino (Ikura et al., 1980). Los enlaces cruzados formados con esta enzima mejoraban algunas propiedades funcionales de las proteínas como la solubilidad, capacidad emulsionante y gelificación; pero el costo y la poca disponibilidad de enzimas limitaban el uso en la industria alimentaria (Motoki & Seguro, 1998). Durante varios años la única fuente de enzima comercial fue la de hígado de cobayo; hasta que se logró el aislamiento y purificación de una enzima secretada por *Streptomyces mobarense* (Washizu et al., 1994; a esta enzima se le denominó transglutaminasa microbiana (mTGasa). La producción de mTGasa es un proceso caro por los componentes del medio de fermentación principalmente (Téllez-Luis et al., 2004; Rodríguez-Castillejos et al., 2014); diversos grupos han hecho estudios por encontrar la reducción de costos en el medio de crecimiento de la bacteria. Se han estudiado medios de cultivo utilizando fuentes de carbono baratas tales como melaza de caña de azúcar, paja de sorgo, papá, sorgo y maíz (Téllez-Luis et al., 2004; Portilla-Rivera et al., 2009). Portilla-Rivera et al., (2009) utilizaron melaza de caña de azúcar como fuente de carbono para el crecimiento de *Sv. ladakanum*; siendo la melaza un subproducto de la industria azucarera es una materia prima barata. La melaza contiene altas concentraciones de monosacáridos y disacáridos que no cristalizan durante el proceso de producción de azúcar comercial. También

se ha estudiado el uso de xilosa obtenida de hidrólisis ácida de paja de sorgo (Téllez-Luis et al., 2004), siendo la paja de sorgo un desecho agrícola resulta más económica la producción de la enzima; en este estudio se concluyó que la xilosa de paja de sorgo también es una alternativa para la producción de la enzima; sin embargo se busca aumentar la productividad. En este mismo sentido Rodríguez-Castillejos et al., (2014) evaluaron medios de cultivo a base de hidrolizados enzimáticos de sorgo rojo; el sorgo rojo tiene una composición similar al maíz; sin embargo, no puede ser consumido por el humano y algunos animales debido a la presencia de taninos, los cuales tienen un efecto tóxico. Por ello, el uso de esta materia prima le da un valor agregado y disminuye los costos de producción. Los resultados mostraron una mayor actividad enzimática comparada con los medios de melaza y paja de sorgo.

Producción biotecnológica de xilitol

El xilitol es un alcohol pentahidroxilado de gran importancia comercial; es utilizado como edulcorante pero además posee propiedades físico-químicas que permiten su utilización en la industria farmacéutica, cosmética y dental (Rubio et al., 2012). Al igual que el ácido cítrico y la transglutaminasa, se ha evaluado la producción utilizando diferentes materias primas tales como la cascarilla de arroz. Villalba-Cadavid et al., (2009) emplearon cascarilla de arroz como materia prima para la obtención de xilitol, previa hidrólisis durante 60 minutos con ácido sulfúrico al 4% p/v; a 121° C y 15 psig; utilizaron la levadura *Candida guilliermondii* para la transformación de xilosa en xilitol. Se estudió el efecto de las variables concentración inicial de xilosa, concentración de inóculo y relación volumen del medio/volumen del matraz, así como sus efectos combinados, sobre la producción de xilitol. Martínez et al., (2002) evaluaron la producción por *Candida guilliermondii* FTI 20037 en medios a base de hidrolizados hemicelulósicos de bagazo de caña de azúcar, eucalipto, paja de arroz y paja de trigo. Encontraron que todas las materias primas utilizadas en este trabajo fueron capaces de ser bioconvertidas en xilitol; los mejores resultados se encontraron con hidrolizados de bagazo de caña de azúcar y fueron disminuyendo en los hidrolizados de eucalipto, paja de arroz y trigo.

Conclusiones

Dado que los aditivos alimentarios son ampliamente utilizados y mejoran las propiedades físicas y químicas de los alimentos, es importante evaluar su potencial toxicidad y la producción por vías biotecnológicas utilizando materias primas baratas y nuevos microorganismos. Esto último permite dar un valor agregado a toda la cadena alimenticia, comercializar cultivos que no son apropiados para consumo humano y que puedan generar ganancias a los sectores más pobres del país. Además se deben procurar alternativas de tratamiento con la finalidad de obtener la mayor concentración de azúcares fermentecibles que puedan ser aprovechados en los medios de cultivo como fuente de carbono.

Bibliografía

- Andersen, M. R., Salazar, M. P., Schaap, P. J., van de Vondervoort, P. J., Culley, D., Thykaer, J. & Baker, S. E. (2011). Comparative genomics of citric-acid-producing *Aspergillus niger* ATCC 1015 versus enzyme-producing CBS 513.88. *Genome Research*, 21 (6), 885-897.
- Barros, C. (2009). *Los aditivos en la alimentación de los españoles y la legislación que regula su autorización y uso*. Editorial Visión Libros.
- Clarke, D. D., Mycek, M. J., Neidle, A., & Waelsch, H. (1959). The incorporation of amines into protein. *Archives of biochemistry and biophysics*, 79, 338-354.
- Codex Alimentario. Disponible en www.codexalimentarius.org. Consultado el 20 de Mayo del 2015.
- Cotter, P. D., Hill, C., & Ross, R. P. (2005). Bacteriocins: developing innate immunity for food. *Nature Reviews Microbiology*, 3 (10), 777-788.
- Cubero, N., Villalta, J., & Monferrer, A. (2002). *Aditivos alimentarios*. Mundi Prensa Libros SA.
- El-Holi, M. A., & Al-Delaimy, S. (2004). Citric acid production from whey with sugars and additives by *Aspergillus niger*. *African Journal of Biotechnology*, 2 (10), 356-359.
- Gil (2010). Tratado de Nutrición. Tomo II: Composición y calidad nutritiva de los alimentos. Madrid, España: Médica Panamericana
- Hjalager, A. M., & Corigliano, M. A. (2000). Food for tourists--determinants of an image. *The International Journal of Tourism Research*, 2 (4), 281.
- Honikel, K. O. (2008). The use and control of nitrate and nitrite for the processing of meat products. *Meat science*, 78(1), 68-76.
- Ikura, K., Kometani, T., Yoshikawa, M., Sasaki, R., & Chiba, H. (1980). Crosslinking of casein components by transglutaminase. *Agricultural and Biological Chemistry*, 44 (7), 1567-1573.
- Martínez, E. A., Villarreal, M. L. M., Almeida e Silva, J. B., Solenzal, A. I. N., Canilha, L., & Mussatto, S. I. (2002). Uso de diferentes materias primas para la producción biotecnológica de xilitol. *CITA-Journal of Food*, 3 (5), 295-301.
- Metcalfe, D. D., Sampson, H. A., & Simon, R. A. (Eds.). (2011). *Food allergy: adverse reactions to foods and food additives*. John Wiley & Sons.
- Motoki, M., & Seguro, K. (1998). Transglutaminase and its use for food processing. *Trends in food science & technology*, 9 (5), 204-210.
- Özrenk, E. (2006). The use of transglutaminase in dairy products. *International Journal of Dairy Technology*, 59 (1), 1-7.
- Pereira, B., Venter, C., Grundy, J., Clayton, C. B., Arshad, S. H., & Dean, T. (2005). Prevalence of sensitization to food allergens, reported adverse reaction to foods, food avoidance, and food hypersensitivity among teenagers. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 116 (4), 884-892.
- Portilla-Rivera, O. M., Téllez-Luis, S. J., Ramírez de León, J. A., & Vázquez, M. (2009). Production of microbial transglutaminase on media made from sugar cane molasses and glycerol. *Food Technology and Biotechnology*, 47 (1), 19-26.

- Rodríguez-Castillejos, G. C., Tellez-Luis, S. J., Vázquez, M., Lois-Correa, J. A., & Ramírez, J. A. (2014). Evaluation of sorghum grain hydrolysates and dried distillers grains with solubles for the production of microbial transglutaminase. *CyTA-Journal of Food*, 12 (2), 115-120.
- Roth, R., Moodley, V., & van Zyl, P. (2009). Heterologous expression and optimized production of an *Aspergillus aculeatus* endo-1, 4- β -mannanase in *Yarrowia lipolytica*. *Molecular biotechnology*, 43 (2), 112-120.
- Rubio, C., Latina, C., & Navarro, A. (2012). Fermentation of corncob hydrolysate for xylitol production. *BioTecnología*, 16 (3), 48-63.
- Sasaki, Y. F., Kawaguchi, S., Kamaya, A., Ohshita, M., Kabasawa, K., Iwama, K.,... & Tsuda, S. (2002). The comet assay with 8 mouse organs: results with 39 currently used food additives. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 519 (1), 103-119.
- Soccol, C. R., Vandenberghe, L. P., Rodrigues, C., & Pandey, A. (2006). New perspectives for citric acid production and application. *Food Technology and Biotechnology*, 44 (2), 141.
- Téllez-Luis, S. J., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2004). Production of transglutaminase by *Streptoverticillium ladakanum* NRRL-3191 using glycerol as carbon source. *Food Technology and Biotechnology*, 42 (2), 75-81.
- Troy, D. J., & Kerry, J. P. (2010). Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat science*, 86 (1), 214-226.
- Valerio, F., Favilla, M., De Bellis, P., Sisto, A., de Candia, S., & Lavermicocca, P. (2009). Antifungal activity of strains of lactic acid bacteria isolated from a semolina ecosystem against *Penicillium roqueforti*, *Aspergillus niger* and *Endomyces fibuliger* contaminating bakery products. *Systematic and applied microbiology*, 32 (6), 438-448.
- Villalba Cadavid, M., Vélez Uribe, T., Arias Zabala, M., & Arrázola Paternina, G. (2009). Xylitol production from rice husk using *Candida guilliermondii*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 62 (1), 4897-4905.
- Washizu, K., Ando, K., Koikeda, S., Hirose, S., Matsuura, A., Takagi, H., ... & Takeuchi, K. (1994). Molecular cloning of the gene for microbial transglutaminase from *Streptoverticillium* and its expression in *Streptomyces lividans*. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 58 (1), 82-87.
- Wilhelm, B., Meinhardt, A., & Seitz, J. (1996). Transglutaminases: purification and activity assays. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 684 (1), 163-177.
- Wilson, B. G., & Bahna, S. L. (2005). Adverse reactions to food additives. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 95 (6), 499-507.

Aprovechamiento del bagazo de sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L.Moench) para la obtención de productos de interés industrial

Use of Sorghum Bagasse (*Sorghum bicolor* L.Moench) for Obtaining Products of Industrial Interest

María Guadalupe Aguilar-Uscanga⁵³

Benigno Ortiz-Muñiz

Javier Gómez-Rodríguez

Noé Montes-García⁵⁴

Resumen

⁵³*Instituto Tecnológico de Veracruz*

⁵⁴*INIFAP Río Bravo*

El bagazo de sorgo dulce es un material rico en celulosa, hemicelulosa y lignina, el cual puede ser empleado como forraje animal, sin embargo, si es sometido a diferentes pre-tratamientos como físicos, químicos y biológicos es posible generar productos de alto valor agregado como alcoholes (etanol), ácidos orgánicos (ácido acético), polioles (xilitol), compuestos aromáticos (vainillina) y enzimas (celulasas) entre otros. Además el residuo sólido que queda después de estos tratamientos puede ser compactado para la obtención de pellets y briquetas, contribuyendo a la generación de energía térmica y eléctrica. La obtención de productos de interés a partir del bagazo de sorgo dulce representa una opción tecnológica y económicamente viable.

Abstract

Bagasse from sweet sorghum is a material rich in cellulose, hemicellulose and lignin, it can be used as animal feed, however, if it is subjected to different pre-treatments such as physical, chemical and biological is possible to generate products with high added value as alcohols (ethanol), organic acids (acetic acid), polyols (xylitol), aromatic compounds (vanillin) and enzymes (cellulases) among others. Besides the solid residue remaining after these treatments may be compacted to obtain pellets and briquettes, contributing to the generation of heat and electricity. Obtaining products of interest from sweet sorghum bagasse represents a technological and economically viable option

Introducción

México ocupa el segundo lugar en producción de sorgo en el mundo, produciendo 7.3 millones de toneladas métricas durante la cosecha 2014/2015 (Producción Mundial de Sorgo, 2015). En la actualidad, la mayoría de las aplicaciones han sido para la obtención forraje animal (para alimentos de pollos y ganado). El sorgo dulce (*Sorghum bicolor* L. Moench) tiene un alto contenido de jugo, almidón y bagazo lo que lo hace un cultivo con grandes oportunidades para muchos usos

y aplicaciones. El 35% del peso fresco del sorgo dulce es bagazo, por lo que el aprovechamiento de esta biomasa resulta de interés.

Composición del bagazo de sorgo dulce

El bagazo de sorgo es el residuo que se obtiene después de extraer el jugo azucarado. Su composición es variable dependiente de la variedad, condiciones de cultivos y algunos otros factores agrícolas, sin embargo, se han reportado valores tales como: celulosa, hemicelulosa y lignina, de 34–44%, 25–27% y 18–20%, respectivamente (Kim & Day, 2011). A pesar que la composición del bagazo de sorgo es muy similar al bagazo de caña de azúcar, la estructura de las fibras puede ser diferente, por lo que los tratamientos aplicados al bagazo de caña no son aplicables al bagazo de sorgo y deben ser evaluados.

La celulosa constituye principalmente el bagazo de sorgo, aporta la funcionalidad de dar soporte estructural. La celulosa homopolimérica es un biopolímero de D-glucosa unidas mediante enlaces β -1,4 lo que le confiere una estructura lineal y larga. En estructuras vegetales se presentan biopolímeros entre 10 000 y 15 000 unidades. Las cadenas de celulosa se agrupan formando microfibrillas, que a su vez se vuelven a agrupar formando las fibras. Lo anterior, le confiere su estructura rígida relacionada en parte, a la presencia de enlaces covalentes, puentes de hidrógeno y fuerzas de van der Waals (Agbor, Cicek, Sparling, Berlin, & Levin, 2011).

La hemicelulosa es un heteropolímero, siendo el segundo más abundante en el bagazo de sorgo dulce. Su estructura es ramificada presentando grados de polimerización menores a la celulosa. La hemicelulosa está formada principalmente por azúcares de cinco carbonos (como la xilosa y la arabinosa), de seis carbonos (manosa, glucosa, galactosa) y encontrándose algunos azúcares acetilados. A pesar que los principales constituyentes de la hemicelulosa son azúcares, siendo la xilosa el monosacárido más abundante en ella, en menores cantidades es posible encontrar sus otros constituyentes como el ácido glucorónico, ácido acético, ácido ferúlico y ácido p-cumárico.

La lignina es un polímero amorfo y está formada por unidades de fenilpropano, siendo sus precursores compuestos aromáticos, como el ácido p-cumárico, coniferílico y sinapílico, por lo que sus derivados alcohol son los p-hidroxifenil, guaiacil y siringil, respectivamente. La lignina se une a la hemicelulosa a través de enlaces éster de ácido ferúlico. En las gramíneas está reconocido que los enlaces tipo álcali-lábil (que involucran la arabinosa) predominan sobre los enlaces álcali-estables (uniones bencil-eter y fenil glucosídicos) por lo que se reconoce que alrededor del 50% de los compuestos fenólicos pueden ser eliminados mediante la aplicación de un tratamiento alcalino a temperatura ambiente (Anvar & Mazza, 2008).

El bagazo de sorgo representa una fuente importante para la obtención de diferentes compuestos de los compuestos que lo constituyen, entre los que destacan de manera general los azúcares (principalmente glucosa y xilosa) y una gran variedad de compuestos aromáticos.

Se vuelve necesario aplicar diferentes tratamientos que permitan la degradación de sus principales constituyentes las unidades que lo forman para lograr el aprovechamiento de este material.

Tratamientos aplicables al bagazo de sorgo

Para que un tratamiento aplicado sea efectivo y de bajo costo, es necesario considerar algunos aspectos: a) se debe lograr una alta digestibilidad del sólido tratado; b) se debe minimizar la producción de compuestos tóxicos, tales como los compuestos fenólicos, el ácido acético, furfural, 5-hidroxi metil-furfural, generalmente se realiza un proceso de detoxificación empleando CaO y/o carbón activado; c) no se debe reducir el tamaño de partícula innecesariamente, puesto que la reducción de tamaño es un proceso que consume una gran cantidad de energía y aumenta los costos del proceso; d) se debe contar con una estrategia de recuperación de la lignina, puesto que los compuestos fenólicos pueden ser convertidos a productos de interés comercial; y, e) se debe minimizar el consumo de calor y energía para disminuir los costos del proceso (Alvira, Pejón, Ballesteros, & Negro, 2010).

Los tratamientos que se pueden aplicar al bagazo de sorgo se pueden clasificar en físicos, físico-químicos, químicos y biológicos (ver Figura 1). Dentro de los tratamientos físicos se encuentra el tamizado y la molienda y la finalidad de éstos es aumentar la superficie específica y el tamaño de los poros en la estructura del bagazo de sorgo.

Los tratamientos fisicoquímicos se subdividen en hidrotermales, como el uso de agua líquida caliente (LHW, por sus siglas en inglés) y en la explosión de vapor; y aquellos que ocupan químicos, como la expansión de fibra por amonio (AFEX). Este tipo de tratamientos aumentan la superficie específica y el tamaño de poros; y permite la degradación parcial de la hemicelulosa y por tanto modificar la lignina, eliminando una parte de ella.

Los tratamientos de agua líquida caliente (LHW) consisten en poner en contacto agua líquida a una temperatura mayor a 100°C por un tiempo determinado, este proceso presenta la desventaja de que la infraestructura necesaria para realizarlo es costosa. El tratamiento LHW ha sido empleado en bagazo de sorgo, estudiando la cinética de degradación de la hemicelulosa en bagazo de sorgo dulce con LHW encontrando que a una temperatura de 184°C en 8-10 min fue posible recuperar el 90% de la xilosa (Yu, Zhuang, Wang, Qi, Tan, & Yuan, 2012). Además evaluaron este proceso en un reactor en continuo, encontrando que el proceso en continuo favorece el proceso de degradación debido a que los productos no son acumulados en el medio.

Los tratamientos de explosión de vapor consisten en elevar la presión del reactor que contiene el material lignocelulósico seguido de una descompresión rápida. Se ha reportado que empleando explosión de vapor con este método una extracción del 89 al 92% de celulosa, logrando un licor con glucosa, xilosa y arabinosa de 18, 23 y 5.5 gL⁻¹, respectivamente (Sipos, Réczey, Somorai, Kádár, Dienes, & Réczey, 2009).

La expansión de fibra por amonio (AFEX) es una tecnología importante que emplea una alta temperatura y presión, así como el empleo de amonio para lograr un tratamiento efectivo. Además de incrementar la superficie disponible para una posterior hidrólisis, esta tecnología promueve la de-cristalización de la celulosa y la degradación de la hemicelulosa, además de que reduce la lignina. Presenta la ventaja que el amonio empleado puede ser recuperado, el que no se logra recuperar, aporta nitrógeno para el crecimiento microbiano, por

lo que no es necesario realizar un lavado del residuo sólido para su posterior aprovechamiento (Balan, Bals, Chundawat, Marshall, & Dale, 2009).

Los tratamientos químicos se dividen en ácidos (diluidos y concentrados), alcalinos (ejemplo, con hidróxido de sodio), con agentes oxidantes (como el peróxido de hidrógeno y la ozonólisis) y con solventes (Organsolv y líquidos iónicos). De forma general se reconoce que estos tratamientos aumentan la porosidad y la superficie interna, disminuyendo el grado de polimerización y la cristalinidad, degradando la hemicelulosa y la remoción de la lignina.

Los tratamientos ácidos (diluidos o concentrados) se basan en la adición de una solución ácida al material lignocelulósico previamente molido. Los ácidos generalmente utilizados son: sulfúrico, clorhídrico, fosfórico y acético (Herrera, Téllez-Luis, Ramírez, & Vázquez, 2003). Una vez empapado todo el material con esta solución es sometido a un proceso térmico, con incremento de presión. Al finalizar el proceso la fracción líquida, rica en xilosa; y una fracción sólida, rica en celulosa y lignina; Generalmente, a esta fracción se le neutraliza el pH para realizar una segunda etapa, como una hidrólisis enzimática de la celulosa. Se ha reportado que empleando bagazo de sorgo y 80 gL^{-1} de ácido fosfórico 120° C , 80 min obteniendo 302 g kg^{-1} (azúcares reductores por kg de bagazo de sorgo) (Ban, Yu, Zhang, & Tan, 2008). Otro reporte indica que la hidrólisis del bagazo de sorgo dulce empleando ácido acético hidrolizaron entre el 80 y el 90% de la hemicelulosa presente, alcanzando hasta 55 gL^{-1} de azúcares totales (Yu, Zhang, Zhong, Zhang, & Tan, 2012).

El tratamiento alcalino más empleado es con hidróxido de sodio y tiene la finalidad de incrementar el área superficial debido al hinchamiento y a la disolución de la lignina. Sin embargo, tiene como desventaja que requiere la utilización de equipo resistente a la corrosión.

Los tratamientos con agentes oxidantes generalmente son combinaciones de un tratamiento alcalino-oxidante, como el caso del empleo de hidróxido de sodio y peróxido de hidrógeno, este proceso se da a temperaturas mayores a 100° C , donde los aniones hidroperóxido reaccionan con la lignina. En la ozonólisis, se producen una gran cantidad de radicales libres que permiten la degradación principalmente de la lignina, aunque también degrada la celulosa.

Otro de los tratamientos químicos más comunes emplean solventes, como el proceso Organsolv, donde se emplean temperaturas mayores a 150° C con solventes tales como: metanol, etanol, etilenglicol, con la finalidad de solubilizar la lignina y recuperarla con una alta pureza. Además se pueden adicionar catalizadores como el ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, oxálico y salicílico. Este proceso permite una alta degradación de la lignina, hasta un 70% y una baja degradación de la celulosa (2%). La principal limitante de este proceso son los costos inherentes al uso de los solventes y su recuperación. Una metodología de reciente desarrollo es el empleo de Líquidos Iónicos (LI) como solventes para el tratamiento de biomasa celulósica. Esta metodología tiene la ventaja que es posible disolver los carbohidratos y la lignina simultáneamente debido a la actividad aniónica por la formación de puentes de hidrógeno entre los iones no hidratados de los LI y los protones hidroxilo de los azúcares. Actualmente, sólo ha sido empleado en sistemas modelo (celulosa pura y cristalina) y sistemas modelo y en rastrojo de trigo, por lo que se debe continuar el estudio de esta

metodología con la finalidad de disminuir los costos inherentes al mismo debido a las sales empleadas, tales como el 1 butil, 3 metil imidazol o el 1 etil, 3 metil imidazol (Nochebuena, 2013).

Los tratamientos biológicos se pueden dividir en tratamientos empleando enzimas (celulasas, xilanasas y betaglucosidasas generalmente) y en aquellos donde la degradación del residuos lignocelulósico se lleva a cabo por acción de un microorganismo con actividad enzimática. En muchos casos se emplean tratamientos combinados, ya sea, un tratamiento físico, químico o físico-químico seguido de uno biológico con la finalidad de facilitar el desdoblamiento de la celulosa y/o hemicelulosa presente en el material lignocelulósico. La celulosa es hidrolizada mediante una acción conjunta de exo y endoglucanasas y generalmente se emplean cocteles enzimáticos que presentan un efecto sinérgico. Para los tratamientos biológicos se han empleado diferentes microorganismos tales como: *Trichoderma reesei*, *Neurospora crassa* y *Fusarium oxysporum*.

La combinación del tratamiento LHW, seguido de una hidrólisis enzimática en bagazo de sorgo dulce incrementa en un 15% la hidrólisis enzimática de la celulosa comparada con los resultados de cuando no se realizó el pretratamiento con LHW (Dogaris, Karapati, Mamma, Kalogeris, & Kekos, 2009). Con esta estrategia ha sido posible alcanzar concentraciones de celobiosa, glucosa y xilosa de 15, 89 y 9.8 gL⁻¹, respectivamente (Wang, y otros, 2010).

Productos a partir del bagazo de sorgo

La integración de procesos para la conversión del bagazo de sorgo para la producción de biocombustibles (como el bioetanol), energía y una gran variedad biomoléculas de interés entre los que se encuentran polioles (xilitol), ácidos orgánicos (acético, láctico, málico), enzimas (hidrolasas), alcoholes (etanol, butanol, butanodiol), por mencionar algunas (Figura 2).

Se han realizado diferentes trabajos para la producción de etanol con los hidrolizados de sorgo dulce, donde ha empleado a *K. marxianus* alcanzando 16.2 gL⁻¹ de etanol (Ballesteros, M, Negro, Manzanares, & Ballesteros, 2003). Posteriormente, se empleó *P. stipitis* alcanzando una producción de etanol de 38.7 gL⁻¹ (Kurian, Minu, Banerji, & Kishore, 2010). En un sistema por lote de sacarificación y fermentación simultánea con *S. cerevisiae* alcanzaron una producción de etanol 44.5 gL⁻¹ (Yu, Zhong, & Zhang, 2010). Empleando un método combinado de AFEX con hidrólisis por celulasas y xilanasas, seguida de una fermentación con *S. cerevisiae*, logrando alcanzar 42.3 gL⁻¹ de etanol (Li, Balan, Yuan, & Dale, 2010). El uso de bagazo de sorgo dulce pretratado con vapor y posterior sacarificación ha permitido producir hasta 22.3 gL⁻¹ de etanol (Liang, Tang, Siddaramu, Choudhary, & Umagiliyage, 2012). Finalmente, también ha sido evaluada la SHF y la SSF alcanzando una producción de etanol de 23.3 y 21.2 gL⁻¹, respectivamente (Shen, Hu, Zhong, Liu, Saddler, & Liu, 2012).

El bagazo de sorgo natural o pre-tratado puede ser densificado para formar pellets o briquetas que sean alimentados a calderas de biomasa que no producen humos como las antiguas chimeneas de leña, y sus emisiones son comparables a los sistemas modernos de gasóleo C y gas.

La densificación es un proceso que consiste en la compactación de la biomasa mediante la aplicación de presión constante para obtener productos

combustibles densificados con un alto poder calorífico, y homogéneos en propiedades y dimensiones. El bagazo de sorgo puede ser utilizado para la elaboración de elementos densificados como pellets y briquetas. Los pellets son elementos de forma cilíndrica, con un máximo de 10 mm de diámetro y longitudes entre 20 y 40 mm y, con un 10% de humedad. Las briquetas pueden ser de formas muy variadas, siendo la más común la cilíndrica con diámetros entre los 2 y 20 cm y longitudes entre los 15 y 50 cm. La humedad de la briqueta depende del proceso de producción y envasado de ésta, usualmente la materia prima utilizada tiene una humedad menor del 12% base húmeda y a la salida de la prensa la humedad de la briqueta resulta ser de un 8 a 10% (Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, 2007).

Las ventajas de estos productos densificados son un mayor poder calorífico, mejor combustión y eficiencia, bajo costo de materia prima (usando residuos), factibilidad de almacenamiento (necesita menos espacio), y durante su uso prácticamente no se genera residuos, ya que no requiere de aditivos u otro tipo de sustancias; además pueden ser bombeados al silo y por tanto permiten la automatización de la caldera.

Los hidrolizados ácidos de bagazo de sorgo han se han empleado para la producción de xilitol, un edulcorante natural apto para diabéticos, mediante fermentación con *Candida tropicalis* ITV IEC 5, tanto en cultivo por lote, como en lote alimentado obteniendo rendimientos de 0.12 y 0.55 gg⁻¹ y productividades de 0.04 y 0.91 gL⁻¹h⁻¹, respectivamente (Infanzón-Rodríguez, 2015).

Los hidrolizados enzimáticos de bagazo de sorgo dulce en la producción de lípidos por *Cryptococcus curvatus* encontrando rendimientos de hasta 0.11 gg⁻¹ (g de lípidos por g de bagazo) (Liang, Tang, Siddaramu, Choudhary, & Umagiliyage, 2012).

Los hidrolizados de bagazo de sorgo dulce también han sido empleados para la producción de hidrógeno, previo tratamiento alcalino con NaOH, seguido de una hidrólisis enzimática, para finalmente realizar una fermentación con la bacteria termófila *Caldicellulosiruptor saccharolyticus* alcanzando un rendimiento de hidrógeno de 2.6 mol (mol azúcares C6)⁻¹ y una productividad máxima de 10.6 mmolL⁻¹h⁻¹ (Panagiotopoulos, Bakker, de Vrije, Koukios, & Claassen, 2010).

Los residuos sólidos y los hidrolizados celulósicos y/o lignocelulósicos pueden emplearse para la producción de enzimas de interés, en estado sólido y líquido, respectivamente. La fermentación en estado sólido de estos residuos representa una opción altamente viable para la producción de una gran variedad de enzimas de interés biotecnológico como el celulasas, xilanasas, tanasas y otras.

Los compuestos aromáticos producidos de la degradación de la lignina pueden ser empleados para diferentes aplicaciones biotecnológicas, entre las que se encuentran el uso del ácido gálico presente en pequeñas cantidades en los hidrolizados alcalinos es un inductor de la síntesis de la tanin-acil-hidrolasa (EC 3.1.1-20) o comúnmente conocida como tanasa, que es una enzima ampliamente usada en diferentes industrias: alimentos, bebidas, farmacéutica y química. Esta enzima cataliza la reacción de hidrólisis de los enlaces éster presentes en los taninos hidrolizables y en esteres de ácido gálico. La producción industrial de tanasa se realiza a partir de vía microbiana en cultivo sumergido y en estado sólido. Otros compuestos fenólicos de interés presentes en los licores alcalinos,

producto de los tratamientos aplicados al bagazo, son el ácido ferúlico, el ácido cumárico y el ácido siríngico (Max, Salgado, Cortes, & Domínguez, 2010) que tienen aplicaciones para la biotransformación en compuestos de aroma de importancia alimentaria como la vainillina empleando una gran variedad de microorganismos (Salgado, Rodríguez, Cortés, & Domínguez, 2009).

Conclusiones

El bagazo de sorgo dulce tiene una amplia gama de usos debida a las moléculas que forman los biopolímeros presentes en su estructura. Para ello es necesario realizar pretratamientos tanto físicos, químicos y/o biológicos con el fin de hacer disponibles estas moléculas y transformarlas. Las posibilidades para realizar la explotación del bagazo de sorgo son muy amplias, resultando en una diversificación que permite generar productos de interés comercial como alcoholes, ácidos orgánicos, polioles y enzimas, aunado a la generación de energía, contribuyendo al desarrollo sustentable.

Bibliografía

- Agbor, V. B., Cicek, N., Sparling, R., Berlin, A., & Levin, D. B. (2011). Biomass pretreatment: Fundamentals toward application. *Biotechnology Advances* (29), 675-685.
- Alvira, P., Pejó, T. E., Ballesteros, M., & Negro, M. J. (2010). Pretreatment technologies for an efficient ethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. *Bioresource Technology* (101), 4851-4861.
- Anvar, U., & Mazza, G. (2008). Lignin Straw of herbaceous crops. *Industrial Crops and Products* (28), 237-259.
- Balan, V., Bals, B., Chundawat, S. P., Marshall, D., & Dale, B. E. (2009). Lignocellulosic biomass pretreatment using AFEX. *Methods in Molecular Biology* (581), 61-77.
- Ballesteros, M., M, O. J., Negro, M. J., Manzanares, P., & Ballesteros, I. (2003). Ethanol from lignocellulosic materials by a simultaneous saccharification and fermentation process (SFS) with *Kluyveromyces marxianus* CECT 10875. *Process Biochemistry*, 39(12), 1843-1848.
- Ban, J., Yu, J., Zhang, X., & Tan, T. (2008). Ethanol production from sweet sorghum residual. *Frontiers of Chemical Engineering in China* (2), 452-455.
- Dogaris, I., Karapati, S., Mamma, D., Kalogeris, E., & Kekos, D. (2009). Hydrothermal processing and enzymatic hydrolysis of sorghum bagasse for fermentable carbohydrates production. *Bioresource Technology*, 100 (24), 6543-6549.
- Herrera, A., Téllez-Luis, S. J., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2003). Production of xylose from sorghum straw using hydrochloric acid. *Journal of Cereal Science* (37), 267-274.
- Infanzón-Rodríguez, M. I. (2015). Producción de xilitol en cultivo por lote alimentado a partir de *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Bioquímica*. Veracruz, Ver., México: Instituto Tecnológico de Veracruz.

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. (2007). *Energía de la Biomasa* 2. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.
- Kim, M., & Day, D. (2011). Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 38 (7), 803-807.
- Kurian, J. K., Minu, A. K., Banerji, A., & Kishore, V. V. (2010). Bioconversion of hemicellulose hydrolysate of sweet sorghum bagasse to ethanol by using *Pichia stipitis* NCIM 3497 and *Debaryomyces hansenii* sp. *Bioresources*, 5 (4), 2404-2416.
- Li, B. Z., Balan, V., Yuan, Y. J., & Dale, B. E. (2010). Process optimization to convert forage and sweet sorghum bagasse to ethanol based on ammonia fiber expansion (AFEX) pretreatment. *Bioresource Technology*, 101 (4), 1285-1292.
- Liang, Y., Tang, T., Siddaramu, T., Choudhary, R., & Umagiliyage, A. L. (2012). Lipid production from sweet sorghum bagasse through yeast fermentation. *Renewable Energy* (40), 130-136.
- Max, B., Salgado, J. M., Cortes, S., & Domínguez, J. M. (2010). Extraction of phenolic acids by alkaline hydrolysis from the solid residue obtained after prehydrolysis of trimming vine shoots. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (58), 1909-1917.
- Nochebuena, L. E. (2013). Estudio del efecto del tratamiento oxidativo y del tween 80 sobre la hidrólisis enzimática del bagazo de caña de azúcar. *Tesis de Maestría en Ciencias en Ingeniería Química*. Orizaba, Veracruz, México: Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Panagiotopoulos, I. A., Bakker, R. R., de Vrije, T., Koukios, E. G., & Claassen, P. A. (2010). Pretreatment of sweet sorghum bagasse for hydrogen production by *Caldicellulosiruptor saccharolyticus*. *Int. J. Hydrogen Energy*, 35 (15), 7738-7747.
- Producción Mundial de Sorgo. (2015). Retrieved Mayo 13, 2015, from <https://www.produccionmundialsorgo.com/>
- Salgado, J. M., Rodríguez, N., Cortés, S., & Domínguez, J. M. (2009). Development of cost-effective media to increase the economic potential for larger-scale bioproduction of natural food additives by *Lactobacillus rhamnosus*, *Debaryomyces hansenii* and *Aspergillus niger*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (57), 10414-10428.
- Shen, F., Hu, J., Zhong, Y., Liu, M. L., Saddler, J. N., & Liu, R. (2012). Ethanol production from steam-pretreated sweet sorghum bagasse with high substrate consistency enzymatic hydrolysis. *Biomass and Bioenergy* (41), 157-164.
- Sipos, B., Réczey, J., Somorai, Z., Kádár, Z., Dienes, D., & Réczey, K. (2009). Sweet sorghum as feedstock for ethanol production: enzymatic hydrolysis of steam-pretreated bagasse. *Applied Biochemistry and Biotechnology* (153), 151-162.
- Wang, W., Zhuang, X., Yuan, Z., Yu, Q., Qi, W., Wang, Q., et al. (2010). High consistency enzymatic saccharification of sweet sorghum bagasse pretreated with liquid hot water. *Bioresource Technology* (108), 252-257.
- Yu, J., Zhang, T., Zhong, J., Zhang, X., & Tan, T. (2012). Biorefinery of sweet sorghum stem. *Biotechnology Advances*, 30(4), 811-816.

- Yu, J., Zhong, J., & Zhang, X. (2010). Ethanol production from H₂SO₃ steam pretreated fresh Sorghum stem by Simultaneous Saccharification and Fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology* (160), 401-409.
- Yu, Q., Zhuang, X., Wang, Q., Qi, W., Tan, X., & Yuan, Z. (2012). Hydrolysis of sweet sorghum bagasse and eucalyptus wood chips with liquid hot water. *Bioresource Technology* (116), 220-225.

Lista de Figuras

- Figura 1. Tratamientos aplicables al bagazo de sorgo dulce (Elaboración propia).
- Figura 2. Productos de interés industrial a partir del bagazo de sorgo dulce (Elaboración propia).

Aprovechamiento biotecnológico de la cáscara de naranja

Biotechnological use of orange peel

María Luisa Carrillo⁵⁵

Abigail Reyes

José Manuel Domínguez⁵⁶

*Óscar Manuel Portilla Rivera⁵⁷

Resumen

⁵⁵ *Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Unidad Académica Multidisciplinaria Región Huasteca. Romualdo del Campo No. 501 Fracc. Rafael Curiel, Ciudad Valles, S.L.P., México. C.P. 79060. Tel.: (52) 4813812348.*

⁵⁶ *Universidad de Vigo, Campus Ourense. As Lagoas Sin Número. Ourense, España. C. P. 32004. Teléfono (34) 988387047*

⁵⁷ *Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Coordinación Académica Región Huasteca Sur. Carretera Tamazunchale – San Martín Km 5. Tamazunchale, S. L. P., México. C. P. 79960. Teléfono (52) 4833624500.*

*Contacto: *manuelportillarivera@gmail.com*

La naranja tiene una gran importancia en el mercado. La cáscara representa entre el 35 y 55% del peso de la fruta, dependiendo de la variedad. La cáscara es utilizada en la alimentación para ganado, aunque la mayor parte es desechada, desaprovechando así el valor que tiene como fuente potencial de productos de valor agregado. Los avances en la biotecnología han demostrado el potencial que tiene la cáscara de naranja para ser aprovechada. En este capítulo se presenta una revisión de las principales áreas de aprovechamiento biotecnológico para la cáscara de naranja.

Abstract

Orange has a great importance in the market. Orange peel represent between 35 and 55% of the fruit weight, depending on the variety. Orange peel is used for cattle feeding, although most of it is discarded, thus wasting the potential value as a renewable source for value added products. Advances in biotechnology have demonstrated the potential that orange peel has to be revalorized. In this chapter a review of the main fields of biotechnological revalorization of orange peel is presented.

Introducción

En el mundo se cosecharon 7 462 504 hectáreas de cítricos en el año 2000, que ascendieron a 9 678 766.00 hectáreas en el 2013, y la producción se incrementó de 105 942 285 a 135761181.42 toneladas en el mismo periodo. En el año 2000, México contó con 492,054.00 hectáreas cosechadas de cítricos, y se incrementaron a 560,735.00 hacia el año 2008, manteniéndose sobre 550 000 desde 2008 hasta el 2013. El incremento en el área cosechada en este periodo, llevó a incrementar la producción de 6 085 597 a 7 613 105 toneladas. El rendimiento en el 2013 fue de 13 673.20 Kg/Ha (FAOSTAT, 2015).

La naranja es un cítrico que tiene una gran importancia en el mercado. La naranja producida en México se usa y exporta para la producción de jugos y otros productos. La industria procesadora de la naranja emplea grandes volúmenes de fruta para la extracción de jugo, y sus desechos incluyen cáscara, pulpa y semillas. Los autores se refieren a este residuo como bagazo, basura de

naranja o cáscara, aun cuando los estudios comprendan el residuo completo obtenido después de la extracción del jugo o a una fracción de éste (Ahmed y Mustafá, 2013; Attard et al., 2014; Feng y Guo, 2012). En la presente revisión se utiliza el término “*cáscara de naranja*” ya que es el dominante en la literatura. La cáscara representa entre el 35 y 55 % del peso de la fruta, dependiendo de la variedad. La cáscara es utilizada en la alimentación para ganado, aunque la mayor parte es desechada, desaprovechando así el valor que tiene como fuente potencial de productos de valor agregado.

Durante muchos años, el proceso de industrialización de la cáscara de naranja se ha dirigido a la obtención de pectina y aceites; ingredientes básicos en las industrias de perfumería, alimentos, agronómica y farmacéutica. Sin embargo, la cáscara es una fuente potencial de otros constituyentes que requieren ser estudiados, lo cual podría ampliar las alternativas de aprovechamiento para este residuo diversificando los productos obtenidos. Por ejemplo, se han realizado algunas investigaciones para el aprovechamiento destinado a obtener subproductos como aceites, ceras, resinas, productos pécticos, celulosa, alimento para ganado, fertilizantes, ácido acético, cítrico y láctico (Gutiérrez et al., 2002). Los avances actuales en la biotecnología han demostrado el potencial que tiene la cáscara de naranja de ser aprovechada. Por ejemplo, para consumo humano fortificada con vitaminas (Restrepo et al., 2011), obtención de aceites y pectinas (Cerón y Cardona, 2011; Acevedo y Ramírez, 2011), elaboración de salchichas (Hernández et al., 2013), bioadsorbente para atrapar iones Cr^{3+} (Pinzón y Cardona, 2008) entre otros, lo cual representa el potencial de aprovechamiento en distintas áreas. En este capítulo se presenta una revisión de las principales áreas de aprovechamiento biotecnológico de la cáscara de naranja.

Producción de biomoléculas

Un aspecto importante es el estudio de la producción de exo-poligalacturonasa por la cepa *Aspergillus sojae*. Se observó que la concentración de enzima producida, medida en U/mL, fue de hasta 200 U/mL, indicando que al incrementar la concentración de cáscara en un rango de 5 a 40 g/L en el medio de fermentación, se incrementa la actividad enzimática obtenida. Una situación que limita el incremento de concentración de bagazo es la viscosidad generada en el medio de fermentación, por lo que es conveniente fijarla, de tal manera que la actividad enzimática sea medible y el sistema pueda operar. Con esta estrategia, Buyukkileci et al. (2015) demostraron la factibilidad técnica del uso de cáscara de naranja en la producción de exo-poligalacturonasa con la posibilidad de incrementar la producción de enzimas en un sistema de fermentación alimentado, en el que se obtienen hasta 250 U/mL de actividad enzimática. En este mismo sentido, Li et al. (2014) realizaron un diseño de experimentos para optimizar la producción de endo y exopectinasas utilizando como sustrato la cáscara de naranja. Para realizar el estudio utilizaron una cepa de *Penicillium oxalicum* PJ02. Las condiciones óptimas que encontraron fueron: 36.5° C y 1.12 g/L de cloruro de amonio. De esta manera, el uso del bagazo de naranja puede contribuir a la obtención de pectinasas con fines alimentarios. Además, Bicu y Mostata, (2011) lograron obtener celulosa a partir de cáscaras de naranja utilizando sulfito de sodio.

Uno de los elementos clave en el aprovechamiento de residuos agroindustriales es el estudio de la composición del material para lograr una diversificación de productos, como en el caso de producción de oligosacáridos para evaluación de su efecto prebiótico. Mediante tratamientos hidrotérmicos, Gómez et al. (2014), lograron obtener de cáscaras de naranja oligosacáridos pécticos compuestos de diferentes oligosacáridos de arabinosa, galactosa, con grados de polimerización entre 2 y 21, y diferente grado de metilación. Al aplicar inóculos probióticos humanos encontraron resultados interesantes, ya que la microbiota logró utilizar toda la fuente de carbono presente. De manera particular se observó que los oligosacáridos de la cáscara de naranja favorecieron más el crecimiento de bifidobacterias.

Los aceites esenciales son de los principales componentes de la cáscara de naranja, ya que pueden ser utilizados en la industria de la perfumería, por lo cual al momento de aplicar tratamientos para su producción, es necesario considerar las etapas del proceso. Por ejemplo en un aparato de hidrodestilación se separan los aceites aprovechando sus diferentes puntos de ebullición, para evitar los elevados puntos de ebullición de los compuestos no volátiles. Para evitar la descomposición de los ácidos grasos es necesario una segunda etapa de enfriamiento en el proceso, incrementando el rendimiento y disminuyendo la transformación de los principales compuestos del aceite: d-limoneno, β -mirceno, β -pineno, γ -terpineno, α -pineno (Chen et al., 2014). También se ha estudiado la producción de compuestos aromáticos mediante estrategias de fermentación en estado sólido utilizando cáscaras de naranja como sustrato. Los compuestos generados son compuestos de aromas frutales, y correspondieron con acetato isoamílico, etildecanoato, decanoato, octanoato y feniletil acetato después de 72 horas de fermentación (Mantzouridou et al., 2015). Además, también se han producido sabores de naturaleza biotecnológica utilizando como sustrato cáscaras de naranja mediante fermentaciones con *Saccharomyces cerevisiae* en las que las cáscaras de naranja fueron hidrolizadas con soluciones diluidas de ácido. Como la producción se realizó en un medio con levaduras inmovilizadas, el sistema de producción fue activo hasta por seis ciclos consecutivos por un periodo de 240 horas (Lalou et al., 2013).

Chen et al. (2012) lograron obtener compuestos bioactivos, capaces de reducir el estrés oxidativo en estudios llevados a cabo con células HepG2 cells. De los extractos obtenidos se han aislado compuestos como la hesperdina, hespertina, nobiletina y la tangeretina. Además, la obtención de polifenoles ha sido estudiada a partir de cascara de naranja utilizando campos eléctricos, una tecnología que permite obtener favorablemente este tipo de compuestos (Luengo et al., 2013).

Cuando se refiere a la producción de biomoléculas, uno de los principales problemas de atender es la evaluación técnico económica del proceso de producción. Dávila et al. (2015) evaluaron la producción de *p*-cimeno y pectina. En este trabajo se presenta un estudio de caso para incrementar el valor agregado de aceites esenciales y de la pectina. Además de la evaluación técnica, se realizó una evaluación del impacto ambiental. Los resultados demuestran la factibilidad técnica de la producción de estas moléculas, ya que la cáscara de naranja es un desecho de fácil adquisición y muy barato.

Aplicaciones ambientales

Las principales aplicaciones consisten en la evaluación de metales pesados así como la remoción de colorantes como sistemas modelo. Jha et al. (2015) proponen el uso de las cáscaras de naranja cargada con Zirconio (IV), para remover el flúor del agua para beber. Además describen las condiciones más adecuadas para llevar a cabo la adsorción del flúor en el sistema. Los resultados mostraron que la remoción de iones de flúor se lleva a cabo en un amplio rango de pH (3.0 a 8.0). Además, los resultados muestran que aún en el octavo ciclo la capacidad de eliminación fue del 83 %. Estudios de desorción mostraron que los iones de flúor se pueden desorber fácilmente con una solución 0.1 N de NaOH. Con todas estas características, además de la gran capacidad de trabajo a temperaturas normales, el sistema de remoción de iones de flúor podría hacer de las cáscaras de naranja un material ideal para la eliminación de iones de flúor del agua para beber.

La técnica utilizada para la eliminación de contaminantes es la adsorción, y uno de los materiales utilizados para llevar a cabo la adsorción es el carbón activo, el cual tiene un precio elevado y representa un problema de aplicación, por lo que resulta interesante encontrar alternativas de producción. La cáscara de naranja al ser barata puede ser utilizada para este fin. Hashemian et al. (2014) probaron la obtención de carbón activo utilizando temperaturas de carbonización entre 200 y 1200° C en atmósfera de nitrógeno durante una hora. Estudiaron la eliminación de 2-picoleno, como agente modelo en concentraciones de 1000 mg/L. Las mejores condiciones de eliminación fueron a 120 minutos de tiempo de contacto y pH por encima de 5, demostrando que el carbón activo producido representa una alternativa barata y amigable con el ambiente.

Al probar la eliminación de los colorantes representativos azul de metileno y rodamina B, se observó que el carbón activado generado por la activación con ácido fosfórico es capaz de eliminar los colorantes en soluciones simples y binarias, mostrando un área específica de 1090 m²/g y un carácter ácido. También mostró buena capacidad de eliminación tanto en sistema por lote y continuo (Fernandez et al., 2014).

La aplicación de las cáscaras no se limita sólo a la producción de carbón activado sino que también se incluye la generación de nanopartículas de plata. En esta área es necesario reducir el tiempo de síntesis y la eliminación de reactivos tóxicos. Kahrilas et al. (2014) idearon una estrategia para sintetizar nanopartículas de plata asistida con microondas para disminuir el tiempo de reacción y cáscaras de naranja como agentes reductores. Encontraron que los compuestos de naturaleza aldehídica son los causantes de la formación de las nanopartículas.

López et al. (2011), encontraron un biocompuesto que acopla la capacidad reductora de nanopartículas de hierro con la capacidad de adsorción de celulosa presente en la cascara de naranja para eliminar cromo hexavalente de las aguas residuales industriales.

Producción de energía

La producción de energía renovable es una tendencia en investigaciones energéticas. En este campo de investigación se han encontrado reportes en los que se utiliza la cáscara de naranja como materia prima. Al carbonizar la cáscara de naranja entre 600 y 900° C con rampas de temperatura de 5° C por minuto,

y mantenerla en una atmósfera de nitrógeno durante 2.5 horas, se obtiene un producto de carbonización para la preparación de nanohojas que a su vez son utilizadas como sustrato para hacer nanocompositos con dióxido de manganeso, los cuales funcionan como materiales para el almacenamiento de energía útil para dispositivos portátiles, además de que pueden ser utilizados en motores híbridos (Sun et al., 2015). Esto es sin duda una aproximación sustentable para la producción de materiales electrónicos para aplicaciones a larga escala.

Un sistema de producción de energía renovable es la producción de hidrógeno. En sistemas celulares se necesita que el hidrógeno producido no sea oxidado por lo cual es esencial la inhibición de las enzimas que catalizan esta reacción. Danial y Abdel – Basset (2015) estudiaron un sistema en el que algunas bacterias no sulfurosas que crecieron en cáscaras de naranja produjeron más hidrógeno y la oxidación fue desfavorecida por la inhibición de la hidrogenasa. Este sistema es novedoso ya que a pesar de los pocos trabajos que hay en relación al uso de la cáscara de naranja como fuente nutritiva, cuando se aplican bacterias no sulfurosas, se sobrepasa la expectativa de la nutrición bacteriana, porque además el sustrato es capaz de inhibir la hidrogenasa. Los componentes presentes en la cáscara de naranja son el D-limoneno, flavonoides polimetoxilados, vitaminas, pigmentos carotenoides, alcaloides, pectinas entre otros. Sin embargo, es necesario encontrar cuál de esos componentes es el causante la inhibición de la hidrogenasa, además de que se deben probar las condiciones para maximizar la producción de hidrógeno.

El bagazo de naranja se puede utilizar para la producción de biogás. Sin embargo, el limoneno presente puede disminuir la producción por lo que es conveniente eliminarlo. Para alcanzar este fin, Wikandari et al. (2015) idearon un proceso en el que usaron hexano. La mayor producción de biogás se alcanzó cuando las cáscaras se trataron con hexano en una relación de 12:1 cáscara/hexano durante 10 minutos. Además, reportaron que la presencia de hexano residual puede disminuir la producción del biogás.

Las cáscaras de naranja también se han utilizado en la producción de etanol. Al aplicar la técnica de explosión de vapor catalizada por ácidos, seguida de sacarificación enzimática y por último una fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* F15, Santi et al. (2015) lograron incrementar la concentración de azúcares disueltos incrementando la carga de cáscaras de naranja de 160 a 480 g/L. Al combinar la alta carga de cáscara de naranja durante la hidrólisis y la sacarificación, se obtuvieron 2.5 veces más azúcares fermentables y la producción de etanol fue más alta, sin embargo la concentración de inhibidores disminuyó la capacidad total de producción de etanol. En este mismo sentido Tejeda et al. (2010) obtuvo bioetanol utilizando una mezcla de cáscaras de naranja y cáscaras de piña aplicando hidrólisis con ácido sulfúrico.

Alimento para aves

Después de haber sido extraído el jugo y restos de pulpa, la cáscara de naranja, representa ventajas nutricionales para pollos. Debido a que los pollos de granja tienden a presentar problemas de estrés oxidativo por calentamiento debido a la exposición a altas temperaturas es necesario encontrar alternativas nutricionales que puedan favorecer la tolerancia a las altas temperaturas. En este sentido, y

debido a que la cáscara de naranja posee compuestos con naturaleza antioxidante y antiinflamatoria Akbarian et al. (2015) probaron el efecto de la dieta suplementada con cáscaras de naranja y cáscaras de limón además de extractos de *Curcuma xanthorrhiza*. Este estudio presenta evidencia del efecto positivo que los extractos con contenidos fenólicos tienen sobre la actividad antioxidante y las funciones metabólicas para impedir algunos cambios metabólicos que suceden en los pollos a altas temperaturas. Sin embargo, los resultados esperados para las pruebas con cáscaras de naranja fueron menos favorables que los extractos de *Curcuma xanthorrhiza*. Se requiere más investigación utilizando controles negativos para conocer el efecto por separado de los componentes de la cáscara de naranja. Se desarrolló un experimento en el que se probaron diferentes concentraciones de extracto de cáscara de naranja sobre la respuesta del sistema inmune humoral, para evaluar la capacidad que tienen los extractos de cáscara de naranja de incrementar la resistencia de pollos de granja a enfermedades. Los extractos fueron suministrados en el agua para beber. Después de ser vacunados contra las principales enfermedades, los pollos mostraron una mejoría en la respuesta inmune y una resistencia a enfermedades, indicando que los extractos obtenidos de cáscara de naranja son útiles en la suplementación de la alimentación de pollos de granja (Pourhossein et al., 2015). Además, cuando se realizaron estudios con codornices japonesas con extractos que contiene aceites esenciales para evaluar los efectos del estrés térmico en órganos como el hígado, el bazo y el corazón, se observó que la peroxidación de lípidos puede ser prevenida, por lo que los extractos que contienen aceites esenciales de la cáscara de naranja pueden usarse como antioxidantes naturales (Dalkılıç et al., 2015).

Ebrahimi et al. (2014) estudiaron diferentes niveles de cáscara de naranja dulce sobre el crecimiento de pollos, encontrando que una proporción de 1.5 % de cáscara seca puede constituir un aditivo útil en la alimentación de los pollos especialmente durante la etapa de inicio. Sin embargo, se deben realizar más investigaciones para mejorar la el uso de la cáscara como alimento.

Conclusiones

La cáscara de naranja es un residuo obtenido de la producción de jugo con un gran potencial para aplicaciones biotecnológicas que incluyen tanto su aprovechamiento como material residual, como transformaciones biotecnológicas en aplicaciones industriales, alimentarias, ambientales, así como en la obtención de alimentos para aves. Muchos son los compuestos que forman parte del bagazo de naranja, y aún se requiere realizar más investigaciones para conocer el efecto benéfico que cada uno de ellos tiene las aplicaciones específicas que se traten.

Bibliografía

- Acevedo, D. V., & Ramírez, D. (2011). Análisis técnico y económico de la pectina, a partir de la cáscara de la naranja (*Citrus sinensis*). Santiago de Cali: Universidad de San Buenaventura Cali.
- Ahmed, S. A., & Mostafa, F. A. (2013). Utilization of orange bagasse and molokhia stalk for production of pectinase enzyme. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30 (3), 449-456.
- Akbarian, A., Golian, A., Kermanshahi, H., De Smet, S., & Michiels, J. (2015). Antioxidant enzyme activities, plasma hormone levels and serum metabolites of finishing broiler chickens reared under high ambient temperature and fed lemon and orange peel extracts and curcuma xanthorrhiza essential oil. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 99 (1), 150-162.
- Attard, T. M., Watterson, B., Budarin, V. L., Clark, J. H., & Hunt, A. J. (2014). Microwave assisted extraction as an important technology for valorising orange waste. *New Journal of Chemistry*, 38 (6), 2278-2283.
- Bicu, I., & Mustata, F. (2011). Cellulose extraction from orange peel using sulfite digestion reagents. *Bioresource Technology*, Vol. 102, 10013-10019.
- Buyukileci, A. O., Lahore, M. F., & Tari, C. (2015). Utilization of orange peel, a food industrial waste, in the production of exo-polygalacturonase by pellet forming aspergillussojae. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 38 (4), 749-760.
- Cerón, S., & Cardona, A. (2011). Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja. *Ingeniería y ciencia*, Vol. 7(13), 65-86.
- Chen, Y., Wu, J., Xu, Y., Fu, M., & Xiao, G. (2014). Effect of second cooling on the chemical components of essential oils from orange peel (*Citrus sinensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62 (35), 8786-8790.
- Chen, Z. -, Chu, H. -, Chyau, C. -, Chu, C. -, & Duh, P. -. (2012). Protective effects of sweet orange (*Citrus sinensis*) peel and their bioactive compounds on oxidative stress. *Food Chemistry*, 135 (4), 2119-2127.
- Dalkılıç, B., Özçelik, M., Şimşek, Ü. G., & Çiftçi, M. (2015). Effect of orange peel essential oil and thermotolerance acquisition on oxidative stress parameters of liver, heart and spleen in heat stressed Japanese quails. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 21 (3), 413-416.
- Danial, A. W., & Abdel-Basset, R. (2015). Orange peel inhibited hup and enhanced hydrogen evolution in some purple non-sulfur bacteria. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40 (2), 941-947.
- Dávila, J. A., Rosenberg, M., & Cardona, C. A. (2015). Techno-economic and environmental assessment of p-cymene and pectin production from orange peel. *Waste and Biomass Valorization*, 6 (2), 253-261.
- Ebrahimi, A., Qotbi, A. A. A., Seidavi, A., Laudadio, V., & Tufarelli, V. (2014). Effect of different levels of dried sweet orange (*Citrus sinensis*) peel on broiler chickens growth performance. *Archiv Tierzucht*, 56 (1), 11-17.
- FAOSTAT (2015). Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. <http://faostat3.fao.org/home/E> (Fecha de consulta: 12 de junio de 2015).

- Feng, N. -, & Guo, X. -. (2012). Characterization of adsorptive capacity and mechanisms on adsorption of copper, lead and zinc by modified orange peel. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China (English Edition)*, 22 (5), 1224-1231.
- Fernandez, M. E., Nunell, G. V., Bonelli, P. R., & Cukierman, A. L. (2014). Activated carbon developed from orange peels: Batch and dynamic competitive adsorption of basic dyes. *Industrial Crops and Products*, 62, 437-445.
- Gómez, B., Gullón, B., Remoroza, C., Schols, H. A., Parajó, J. C., & Alonso, J. L. (2014). Purification, characterization, and prebiotic properties of pectic oligosaccharides from orange peel wastes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62 (40), 9769-9782.
- Gutiérrez, E.L., Medina, G.B., Román, M. y Flores, O. (2002). Obtención y cuantificación de fibra dietaria a partir de residuos de algunas frutas comunes en Colombia. *VITAE*, 9, 5-14.
- Hashemian, S., Salari, K., & Yazdi, Z. A. (2014). Preparation of activated carbon from agricultural wastes (almond shell and orange peel) for adsorption of 2-pic from aqueous solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20 (4), 1892-1900.
- Hernández, C. J., Castillejos, C., & Carmona, E. (2013). Evaluación sensorial de salchichas con harina de cáscara de naranja y/o penca de maguey. *Nacameh*, Vol. 7 (1), 23- 40.
- Jha, R., Jha, U., Dey, R. K., Mishra, S., & Swain, S. K. (2015). Fluoride sorption by zirconium (IV) loaded carboxylated orange peel. *Desalination and Water Treatment*, 53 (8), 2144-2157.
- Kahrilas, G. A., Wally, L. M., Fredrick, S. J., Hiskey, M., Prieto, A. L., & Owens, J. E. (2014). Microwave-assisted green synthesis of silver nanoparticles using orange peel extract. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 2 (3), 367-376.
- Lalou, S., Mantzouridou, F., Paraskevopoulou, A., Bugarski, B., Levic, S., & Nedovic, V. (2013). Bioflavour production from orange peel hydrolysate using immobilized *saccharomyces cerevisiae*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(21), 9397-9407.
- Li, P. -, Xia, J. -, Shan, Y., Nie, Z. -, Su, D. -, Gao, Q. -, . . . Ma, Y. -. (2014). Optimizing production of pectinase from orange peel by *penicilliumoxalicum* PJ02 using response surface methodology. *Waste and Biomass Valorization*, 6(1), 13-22.
- López, G., Barrera, D., Balderas, H., & Roa, M. (2011). Removal of hexavalent chromium in aquatic solutions by iron nanoparticles embedded in orange peel pith. *Chemical Engineering Journal*, Vol. 173 (11), 480-485.
- Luengo, E., Álvarez, I., & J.K., R. (2013). Improving the pressing extraction of polyphenols of orange peel by pulsed electric fields. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, Vol. 17 (4), 79-84.
- Mantzouridou, F. T., Paraskevopoulou, A., & Lalou, S. (2015). Yeast flavour production by solid state fermentation of orange peel waste. *Biochemical Engineering Journal*, 101, 1-8.
- Pinzón, B., & Cardona, B. (2008). Caracterización de la cáscara de naranja para su uso como material bioabsorbente. *BISTUA*, Vol. 6 (1), 1-23.

- Pourhossein, Z., Qotbi, A. A. A., Seidavi, A., Laudadio, V., Centoducati, G., & Tufarelli, V. (2015). Effect of different levels of dietary sweet orange (*Citrus sinensis*) peel extract on humoral immune system responses in broiler chickens. *Animal Science Journal*, 86 (1), 105-110.
- Restrepo, D., Rodríguez, S., & Manjarres, P. K. (2011). Cortezas de naranja comestibles: una aproximación al desarrollo de productos con valor agregado a partir de residuos agroindustriales. *Producción más limpia*, Vol. 6 (2), 47-57.
- Santi, G., Jasiulewicz, J., Crognale, S., D'Annibale, A., Petruccioli, M., & Moresi, M. (2015). High solid loading in dilute acid hydrolysis of orange peel waste improves ethanol production. In press. *Bioenergy Research*. DOI: 10.1007/s12155-015-9591-4.
- Sun, K., Wang, H., Peng, H., Wu, Y., Ma, G., & Lei, Z. (2015). Manganese oxide nanorods supported on orange peel-based carbon nanosheets for high performance supercapacitors. *International Journal of Electrochemical Science*, 10 (3), 2000-2013.
- Tejeda, P., Tejeda, C. A., Alvear, M., Castillo, R., & Henao, L. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Educación en ingeniería*, Vol. 4 (10), 120-125.
- Wikandari, R., Nguyen, H., Millati, R., Niklasson, C., & Taherzadeh, M. J. (2015). Improvement of biogas production from orange peel waste by leaching of limonene. *BioMed Research International*. 494182.

Potencial de bacterias ácido lácticas como método de biocontrol contra microorganismos patógenos

Potential of lactic acid bacteria as biocontrol method against pathogenic microorganisms

Francisco Javier Yépez Ramírez⁵⁸

Lorenzo Jarquín Enríquez

Gabriela Medina Ramos

María Dolores Saavedra Leos⁵⁹

*Óscar Manuel Portilla Rivera

Resumen

⁵⁸Universidad Politécnica de Guanajuato. Avenida Universidad Norte Sin Número, Sin Colonia. Localidad Juan Alonso, Cortazar, Guanajuato, México. C. P. 38483. Tel:4614414305

⁵⁹Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Coordinación Académica Región Huasteca Sur. Carretera Tamazunchale – San Martín Km 5. Tamazunchale, S. L. P., México. C. P. 79960. Teléfono 01 4833624500.

*Contacto: manuelportillarivera@gmail.com

Los microorganismos muestran una gran variedad de mecanismos que facilitan la colonización y la prevalencia en distintos nichos. Especies de bacterias ácido lácticas han sido estudiados principalmente para la obtención de roductos biotecnológicos como ácido láctico, bisurfactantes, bacteriocinas, antibióticos, así como también por sus efectos probióticos. En este capítulo se presenta una revisión de la bibliografía que muestra el potencial de las bacterias ácido lácticas contra microorganismos patógenos que pueden afectar a los alimentos mínimamente procesados, alimentos procesados, así como plantas con interés alimentario. Los resultados de las investigaciones en este campo muestran el potencial de las bacterias ácido lácticas para ser utilizadas en estrategias de biocontrol contra microorganismos patógenos de alimentos.

Abstract

Microorganisms show a wide variety of mechanisms facilitating the colonization and prevalence in different niches. Species of lactic acid bacteria have been studied mainly for obtaining biotechnological products like lactic acid, biosurfactants, bacteriocins, antibiotics, as well as for their probiotic effects. In this chapter a review showing the potential of lactic acid bacteria against pathogenic microorganisms that can affect minimally processed food, processed food, as well as food plants. Results show the potential of lactic acid bacteria to be used in biocontrol strategies against food pathogenic microorganisms.

Introducción

Los microorganismos muestran una gran variedad de mecanismos que facilitan la colonización y la prevalencia en distintos nichos. Entre las propiedades que pueden facilitar estos fenómenos están la adherencia, la competencia por nutrientes existentes y la producción de metabolitos tóxicos para otros microorganismos. Conocer estos conceptos favorece al aprovechamiento de

microorganismos como agentes de biocontrol dirigido hacia la producción de alimentos con la ventaja de que constituyen tratamientos de origen natural y son amigables con el ambiente y se prefieren sobre tratamientos químicos (Gálvez et al., 2010).

Las bacterias ácido lácticas son un grupo que comprende los géneros del orden Lactobacillales, el cual incluye *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactococcus* y *Streptococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Tetragenococcus*, *Vagococcus* y *Weissella*. Especies de estos géneros han sido estudiados principalmente para la obtención de productos biotecnológicos como ácido láctico, bisurfactantes, bacteriocinas como nisina, antibióticos como reuteriicina y reuterina, así como también por sus efectos probióticos (De Muynck et al., 2004). Debido a la naturaleza de las bacterias lácticas y a la producción de metabolitos antimicrobianos en distintos sustratos, se puede generar un ambiente desfavorable para bacterias patógenas (Asurmendi et al., 2015). El uso de las bacterias lácticas o sus extractos está dirigido al sector agroalimentario en lo relativo a mejorar atributos de alimentos, generalmente para extender la vida de anaquel ya sea de productos mínimamente procesados o de productos procesados, y a lograr mejoras en la producción primaria de alimentos de origen vegetal, aprovechando sus cualidades tanto de promotoras del crecimiento vegetal, como de inhibidoras del crecimiento de microorganismos patógenos de plantas con interés alimentario. En este capítulo se presenta una revisión de la bibliografía que muestra el potencial de las bacterias ácido lácticas como agentes de biocontrol contra microorganismos patógenos que pueden afectar a los alimentos mínimamente procesados, alimentos procesados y plantas con interés alimentario.

Bacterias ácido lácticas contra patógenos en alimentos mínimamente procesados

Las frutas frescas y los vegetales son componentes esenciales de la dieta y existe evidencia considerable sobre sus beneficios a la salud. Sin embargo, estos alimentos pueden ser vehículo para la transmisión de bacterias patógenas. Los productos frescos tienen un alto contenido de bacterias de forma natural, entre ellas, bacterias ácido lácticas (Abadías et al., 2008). Es necesario eliminar agentes patógenos que deterioren el alimento o que inclusive puedan ser perjudiciales para el humano. Gosh et al. (2015) aislaron los microorganismos que son los causantes de la pudrición de la Yaca. Encontraron que el principal causante fue el *Rhizopus stolonifer*, y observaron que la descomposición de la fruta se debió a la capacidad del hongo para generar pectinasas que contribuían a incrementar la concentración de azúcares reductores. El hongo no fue inhibido por los fungicidas *Mancozeb*® y *Bavistin*®, pero sí fue inhibido por la aplicación de dos cepas de bacterias rizosféricas y de tres diferentes cepas de *Lactococcus lactis*, mostrando un rompimiento del micelio del patógeno. Al aplicar tratamientos con las bacterias a las plantas infectadas, la enfermedad se redujo o previno, y en tratamientos postcosecha, la infección se retrasó o se redujo la incidencia.

Una estrategia interesante de aplicación de las bacterias lácticas es la propuesta por Trías et al. (2008a) en la que se aíslan bacterias lácticas de frutas y vegetales y se prueba su efectividad contra bacterias y hongos patógenos:

Xanthomonas campestris, *Erwinia carotovora*, *Penicillium expansum*, *Monilinia laxa*, y *Botrytis cinerea*. En pruebas *in vitro* se encontró la habilidad de 496 bacterias ácido lácticas para inhibir el crecimiento de estos patógenos, excepto *Penicillium expansum*. Además, en pruebas *in vivo* para contrarrestar la descomposición de manzanas *Golden Delicious*, 4 cepas de las 496 aisladas lograron reducir hasta en un 20% el diámetro de la descomposición donde los agentes causales de la inhibición parecían ser los ácidos orgánicos y peróxido de hidrógeno.

Considerando la aplicación de extractos de bacterias lácticas en la conservación de alimentos postcosecha, Emerenini et al., (2014) realizaron un estudio en el que aislaron bacterias ácido lácticas de vegetales frescos y probaron la efectividad de los extractos sobre la inhibición de los patógenos *Xanthomonas campestris*, *Erwinia carotovora*, y *Pseudomonas syringae*, obteniendo halos de inhibición de hasta 15 mm. Con estos estudios se logró probar la viabilidad de la aplicación de extractos provenientes de bacterias ácido lácticas en la conservación postcosecha de tomates.

Al Azkari et al. (2012) mostraron que bacterias ácidos lácticas aisladas de frutas secas mostraron actividad antimicrobiana contra los patógenos *Streptococcus* spp, *Streptococcus sanguinis*, *Staphylococcus epidermis*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus mirabilis*, *Hafnia alveie* y *Yersinia* spp, encontrando que las bacterias ácido lácticas probadas ejercen un efecto mayor sobre bacterias Gram positivas que sobre las Gram negativas. Una razón aparente de la disminución del crecimiento de bacterias patógenas es el efecto de las bacteriocinas, como se describe por Savadogo et al. (2004) en un estudio en el que aisló 8 bacterias ácido lácticas de leche fermentada y probó el efecto de las bacteriocinas producidas contra *Enterococcus faecalis* 103907 CIP, *Bacillus cereus* 13569 LMG, *Staphylococcus aureus* ATCC 25293, *Escherichia coli* 105182 CIP. Aunque se demostró que después de tratamientos proteolíticos mediante el uso de enzimas el efecto inhibitorio de los extractos desaparece, es preciso realizar pruebas de caracterización para esclarecer el efecto de inhibición. En este mismo sentido, Dalirsaber Jalali et al. (2012) llevaron a cabo un estudio en el que aislaron bacterias ácido lácticas de rábanos, lechugas, tomates, zanahorias y soya, encontrándose que las bacterias ácido lácticas se distribuyen más en superficies que han sufrido un daño mecánico. Las bacterias aisladas fueron probadas contra *Xanthomonas campestris* PTCC 1473. La bacteria *Lactobacillus plantarum* mostró un efecto inhibitorio mayor.

Reina et al., 2005 utilizó el pepinillo como un modelo de alimento mínimamente procesado para evaluar el biocontrol sobre *Listeria monocytogenes*. Las bacterias lácticas fueron probadas por su efecto inhibitorio del crecimiento de patógenos dada su capacidad para producir bacteriocinas. Se obtuvieron 118 aislados y dentro de los aislados se encontraron especies de *Lactococcus* y *Lactobacillus* entre otros. De los aislados 7 especies de *Lactococcus* mostraron inhibición contra otras bacterias probadas. Por su parte, la especie *Lactobacillus curvatus* mostró características deseables como agente de biocontrol por exclusión competitiva e incrementó la inocuidad de los pepinillos no acidificados.

Trías et al. (2008b), obtuvieron 700 muestras de alimentos listos para el consumo tales como frutas, vegetales, ensaladas empacadas, carne, yogures y queso de donde se aislaron 496 bacterias ácido lácticas. Se probaron además cepas obtenidas de la American Type Culture Collection (ATCC), sumando un

total de 523 cepas. Todas las cepas fueron probadas contra los patógenos *E. coli* ATCC 11775, *L. monocytogenes* ATCC 15313, *P. aeruginosa*, *S. typhimurium* LT2 ATCC 15277 y *S. aureus* ATCC 9144. Las 18 cepas que mostraron la mejor capacidad antagonica contra las bacterias patógenas se probaron en lechugas y frutos de manzana, y fueron capaces de inhibir, en diferentes niveles, a *Salmonella spp.* Y *Listeria spp.*; lo cual muestra que las bacterias ácido lácticas puede coadyuvar en la conservación postcosecha. La perspectiva consiste en estudiar el efecto de las bacterias ácido lácticas sobre el incremento en la vida de anaquel de los alimentos y el efecto resultante de tratamientos en los que se combinen extractos de bacterias ácido lácticas con tratamientos habituales.

Bacterias ácido lácticas contra patógenos en el procesado de alimentos

Las bacterias ácido lácticas han sido utilizadas en la producción de algunos alimentos como el queso y yogures. En estos productos intervienen las bacterias ácido lácticas *Lactobacillus casei*, *L. bulgaris*, *L. lactis*, *Streptococcus cremoris*, *S. lactis* y *S. thermophilus*. Aunque también existe una gran diversidad de productos alimenticios fermentados que tradicionalmente se han consumido, tales como productos que contienen arroz, harina de trigo, cebada, mantequilla, leche de cabra, no existe, en la mayoría de los casos, conocimiento de su composición microbiológica (Kumar et al., 2013). Sin embargo, debido a que los metabolitos producidos durante la fermentación con bacterias lácticas pueden ser antimicrobianos, la aplicación de las bacterias ácido lácticas no se limita a la producción de alimentos fermentados, sino que también se considera el aprovechamiento alimentario en la prolongación de la estabilidad de distintos alimentos evitando el crecimiento de microorganismos patógenos. De Muynck et al. (2004), evaluaron la actividad antibacteriana de diecisiete especies de bacterias ácido lácticas contra *Bacillus subtilis*, y los microorganismos fúngicos causantes del deterioro de alimentos *Aspergillus flavus* MUCL 19945, *Endomyces fibuliger* MUCL 11443, *Eurotium repens* MUCL 15977, *Penicillium paneum* MUCL 40611, *P. roqueforti* MUCL 40617 y *Rhizopus oryzae* MUCL 20145, obteniendo radios de inhibición hasta 1.6 cm, destacando 5 de las especies de bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus acidophilus*, *L. amylovorus*, *L. brevis*, *L. coriniformis subsp. Coriniformis*, *L. plantarum*). Los resultados obtenidos de estas investigaciones se explican debido al pH.

En el 2005 Gutiérrez et al., probaron extractos producidos por *Lactobacillus plantarum* y *Lactobacillus brevis* que mostraron un efecto antimicrobiano sobre *Salmonella sp.*, *Listeria monocytogenes* y *Escherichia coli*, obteniendo mayores diámetros de halos de inhibición cuando se emplearon extractos de *Lactobacillus plantarum* (hasta 10 mm), dicha inhibición presentada por los extractos, es atribuida a la presencia de péptidos que fueron encontrados por cromatografía de capa fina.

Larrea et al., evaluaron la actividad antimicrobiana de seis BAL sobre *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis* y *Shigella dysenteriae* en el 2007, determinando que las BAL estudiadas presentaron acción antimicrobiana sobre las bacterias entéricas, destacando *Lactobacillus fermentum* (Concentración mínima inhibitoria de 4 µL/mL), por la acción bactericida, dicha actividad fue relacionada por la producción de productos proteicos como las bacteriocinas, secretadas por las especies lácticas.

Dal Bello (2007), examinó la capacidad antifúngica de *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 para retardar el crecimiento de *Fusarium culmorum* y *Fusarium graminearum* presentes en la producción de masa ácida de trigo, además de identificar metabolitos antifúngicos en los sobrenadantes libres de células, entre los que se encuentran el ácido láctico, ácido feniláctico y dos dipéptidos cíclicos (Ciclo L-Leu-L-Pro y Ciclo L-Phe-L-Pro), sustancias relacionadas a la inhibición de la producción de aflatoxinas por algunas especies de hongos microscópicos, a un lado de la producción de ácidos orgánicos como el ácido láctico y ácido difeniláctico, este último produce un retardo en el crecimiento fúngico.

Jaramillo et al., (2010) utilizaron un grupo de BAL aisladas del ensilaje (*Lactobacillus plantarum*, *L. pentosus*, *L. helveticus*), para evaluar su capacidad antimicrobiana frente a *Bacillus sphaericus*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas saeruginosa* y *Pseudomonas sputida*, obteniendo resultados de actividad antimicrobiana prometedora principalmente contra *pseudomonas*, sus resultados de actividad bactericida son destacados por la presencia de agentes proteicos como la nisina, que fueron capaces de mantener estable el crecimiento de *Pseudomonas spp.*, durante la fase estacionaria.

Oranusi et al. (2012) reportaron que BAL aisladas de *Ricinus communis* (Ogiri), *Pentaclethra macrophylla* (Ugba) y yogur presentaron actividad antifúngica frente a *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus fumigatus*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Aspergillus nidulans* presentando halos de inhibición desde 2 hasta 15 mm, actividad antimicrobiana como resultado de la producción de ácido láctico, por la degradación de carbohidratos por parte de las bacterias lácticas.

Al trabajar con distintos productos obtenidos de la fermentación de la yuca, Anyogu et al., 2014 realizaron un estudio en el que obtuvieron 71 aislados de los cuales el 41 % fueron bacterias ácido lácticas, lo cual indica la predominancia de las bacterias ácido lácticas en los productos de fermentación natural. El papel de estos microorganismos es relevante ya que participan en la fermentación así como también en la inhibición de microorganismos patógenos que deterioran los productos fermentados. Las bacterias indicadoras probadas fueron: *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* serotipo *Typhimurium* (*S. Typhimurium*), *Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus* mediante la prueba de difusión en agar. Sólo los extractos sobrenadantes libres de células fueron capaces de inhibir las bacterias patógenas, y el efecto de inhibición fue atribuido principalmente a la producción de ácido por las bacterias ácido lácticas.

Bacterias ácido lácticas contra patógenos de plantas de interés alimentario

Las enfermedades fitosanitarias se vuelven condicionantes en la producción de hortalizas. En muchas partes del mundo, los problemas se vuelven incontrolables cuando no se utilizan cultivares resistentes (Gómez et al., 2011). Por ejemplo, el tomate es una de las hortalizas que durante su desarrollo presenta alta susceptibilidad a problemas fitosanitarios, estos problemas constituyen un factor limitante en la producción. Las enfermedades por patógenos pueden presentarse en la semilla, en plántula, en follaje, en tallos y en frutos (Álvarez, J. 2012).

Como una alternativa al uso de agentes químicos, una estrategia para abatir estos problemas es el biocontrol mediante el uso de microorganismos

de la rizosfera, los cuales se pueden clasificar en tres grandes grupos: fijadores de nitrógeno, hongos micorrízicos y rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal, PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*). Los PGPR desempeñan un papel clave en la toma de nutrientes, la tolerancia a estrés ambiental y al mantenimiento de la salud radicular, favoreciendo el rendimiento de los cultivos (Rives et al., 2007). Este grupo comprende a los géneros *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Burkholderia*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Rhizobium*, *Erwinia*, *Serratia*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter* y *Flavobacterium* (Rodríguez y Fraga, 1999), que ejercen distintos mecanismos tales como la fijación biológica de nitrógeno, la solubilización de fosfato, la producción de quelantes de hierro, producción de fitohormonas y sustancias de actividad antimicrobiana, etc. Por esta razón, el estudio de las PGRP es considerado como una alternativa de control de microorganismos patógenos en suelo (Rico, 2009).

La aplicación de este grupo de microorganismos como agentes de biocontrol está basada, en la mayoría de los casos, en su habilidad de producir metabolitos secundarios, cuya variedad estructural y funcional es muy amplia (antifúngicos, toxinas, surfactantes y hormonas vegetales). Usualmente la producción de metabolitos secundarios no es constitutiva, pero está regulada por “señales” ambientales o de procesos celulares intrínsecos. La elucidación de los mecanismos regulatorios es muy importante para entender el funcionamiento de un organismo en su ambiente natural y necesario para la aplicación de dicho organismo, por ejemplo, como inoculantes y agentes de biocontrol, en la agricultura y horticultura (Bloemberg et al., 2005).

En los últimos años un género de bacterias estudiadas en este tipo de acciones de biocontrol fueron las bacterias ácido lácticas (Shrestha et al., 2014). Entre las sustancias inhibitorias producidas por estos microorganismos podemos encontrar, además de las mencionadas anteriormente, ácido acético, alcoholes (incluyendo etanol) y dióxido de carbono, peróxido de hidrógeno y benzoatos (Concha, 2008). Se han realizado investigaciones para evaluar el efecto de las bacterias ácido lácticas contra bacterias fitopatógenas. En pruebas *in vitro* Ronel et al., (1986) probaron extractos de bacterias ácido lácticas contra *Xantomonas campestris*, *Erwinia carotovora* y *Pseudomonas syringae*, mostrando actividad inhibitoria en el crecimiento de estos patógenos; mientras que en las pruebas con una inoculación previa de las especies de *Lactobacillus plantarum* en plantas de frijol, disminuyeron la incidencia de la enfermedad causada por *P. syringae* del 20 % al 16.1 %. Shrestha et al., (2009) evaluaron la actividad antagónica de una especie de *Lactobacillus sp.*, contra las bacterias *Ralstonia solanacearum*, *Xantomonas axonopodis*, *Xantomonas campestris*, *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* en pruebas *in vitro*, mientras que en las pruebas *in planta*, fue reducida la severidad de la enfermedad producida por *Ralstonia solanacearum* hasta en un 71 %, comparada con las plantas control.

En estudios con cebada, Mauch et al., (2010) estudiaron la actividad antifúngica de 129 BAL contra especies de *Fusarium spp.*, obteniendo una actividad antifúngica originada por la especie *Lactobacillus brevis*. Los resultados fueron alentadores, obtenido hasta un 43% de inhibición. En pruebas con chile El-Marbrok et al., (2012) reportaron la efectividad del uso de bacterias ácido lácticas y sus sobrenadantes como control biológico contra la enfermedad

causada por el hongo *Colletotrichum capsici*, mostrando una fuerte inhibición del hongo in vitro. Además, las semillas a las cuales se les inoculó bacterias lácticas, mostraron un porcentaje de germinación de hasta el 80 %.

Peter et al., (2012) estudiaron 294 BAL que fueron aisladas de las raíces de maíz, centeno, zanahoria, suelo de jardín y composta, y fue probado su efecto antagónico contra *Pythiumultimum*. El 75 % de las BAL, mostraron efecto inhibitorio, así como la capacidad de protección hacia la planta frente a este patógeno, además de estos hechos, la germinación de semillas de pepino se vio favorecida por estas bacterias, obteniendo hasta un 60% de semillas germinadas, demostrando que el suelo es una novedosa fuente para el aislado de bacterias lácticas para el control de patógenos presentes en él, suprimiendo la incidencia de enfermedades, además de favorecer el desarrollo vegetativo del pepino. En 2012, Narasimha et al., estudiaron a *Lactobacillus para casei subsp. tolerans* y *Lactobacillus paracasei subsp. paracasei*, que mostraron un efecto antagónico sobre el crecimiento de *Ralstonia solanacearum*, (in vitro halos de inhibición de 22 a 25 mm) aunado al haber presentado actividad promotora del crecimiento reduciendo la incidencia del patógeno en un 63%, se incrementó el porcentaje de germinación a 79.1 % (semillas de tomate infectadas ≈35 % de germinación), estos resultados revelan la capacidad de las bacterias ácido lácticas de actuar como bacterias promotoras del crecimiento, atribuido a la competencia en la rizosfera (antagonismo), por mecanismos de inhibición como enzimas líticas, enzimas de defensa.

Shrestha et al., 2014 llevaron a cabo un estudio en el que probaron la efectividad de un aislado de bacteria láctica para probar su efectividad contra *Salmonella sp.* Como control positivo y varias cepas patógenas, encontrando que el aislado mostró una fuerte inhibición contra la cepa control así como también contra *Xanthomonas axonopodispv.citri* (cáncer de cítricos). Una inhibición menos severa se mostró contra *Ralstonia solanacearum* (marchitez bacteriana), *Xanthomonas pv. vesicatoria* (mancha bacteriana), *Eriwinapyri foliae* (tizón tardío), *E. carotovora subsp. Carotovora* (costra de la papa) y *Bacillus licheniformis*. Además, emplearon tres BAL como control biológico in vitro contra *Xantomonas campestris*, además de ser probadas ante las enfermedades bacterianas por *Ralstonias olanacearum*, *Pectobacterium carotovorum*, obteniendo una reducción del 57 % hasta 86.7 % de la severidad en las pruebas realizadas bajo condiciones de invernadero.

Conclusión

Existe una diversidad de microorganismos patógenos que pueden afectar alimentos mínimamente procesados, procesados y a plantas con interés alimentario. En todos los casos una alternativa de control amigable con el medio ambiente es el biocontrol. Los resultados de las investigaciones en este campo muestran el potencial de las bacterias ácido lácticas para ser utilizadas en tratamientos contra microorganismos patógenos de alimentos. No obstante, queda aún por aclarar los mecanismos de inhibición subyacentes.

Bibliografía

- Abadias M, Usalla J, Angueraa M, Solsonaa C, Viñas I. (2008). *Microbiological quality of fresh, minimally-processed fruit and vegetables, and sprouts from retail establishments*. International Journal of Food Microbiology. 123, 1–2, 121–129.
- Al-Askari G, Kahouadji A, Khedid K, RédaCharof R y Mennane Z. (2012). *Screenings of Lactic Acid Bacteria Isolated from Dried Fruits and Study of Their Antibacterial Activity*. Middle-East Journal of Scientific Research 11 (2): 209-215.
- Álvarez, J. (2012). *Comportamiento agonomico e incidencia de enfermedades en plantas de tomate (solanumlycopersicum L.) injertadas*. Acta agronómica. 61 (2). 117 – 125.
- Anyogu A, Awamaria B, Sutherl JP y Ouoba LII. (2014). *Molecular characterisation and antimicrobial activity of bacteria associated with submerged lactic acid cassava fermentation*. Food Control, 39, 119 – 127.
- Asurmendi P, García MJ, Pascual L, Barberis L. (2015). *Biocontrol of Listeria monocytogenes by lactic acid bacteria isolated from brewer's grains used as feedstuff in Argentina*. Journal of Stored Products Research. 61, 27-31.
- Bloemberg G.V., Girard G., van Rij T, Dubern F, van den Broeck D., Chin-A-Woeng T, Mulders I., Kamilova F, Validov S., de Weert S. and Lugtenberg B.J.J. (2005). *Regulatory mechanisms of secondary metabolite production in beneficial plants associated Pseudomonas sp*. In: *Biology of plant-microbe interactions*. Vol. 5. Pag.346-351.
- Concha, A. (2008). *Evaluación de una biopelícula con bacterias ácido lácticas y nisina para la inhibición de Listeria monocytogenes en salmón ahumado*. Tesis. Universidad Austral de Chile. Chile. p 66.
- Dal Bello, F. Clarke, C., Ryan, L., Ulmer, H., Schober, T., Ström, K., Sjögren, J., VanSinderen, D., Schnürer, J., & Arendt, E. (2007). *Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain Lactobacillus plantarum FST 1.7*. Journal of cereal science. Irlanda. 45. 309 – 318.
- De Mynck, C., Leroy, A., De Maeseneire, S., Arnaut, F., Soetaert, W. & Vandamme, E. (2004). *Potential of selected lactic acid bacteria to produce food compatible antifungal metabolites*. Microbiological Research. Bélgica. 159. pp 339 – 346.
- El-Mabrok, A., Hassan, Z., Mokhtar, A., Hussain, K., & Kahar, F. (2012). *Screening of lactic acid bacteria as biocontrol against (Colletotrichumcapsici) on chilli* Bangi. Research Journal of Applied Sciences. Malasia. 7. 466–473.
- Emerenini, E. C. Afolabi, O. R. Okolie, P. I. and Akintokun, A. K. (2014). *In vitro Studies on Antimicrobial Activities of Lactic Acid Bacteria Isolated from Fresh Vegetables for Biocontrol of Tomato Pathogens*. British Microbiology Research Journal. 4(3): 351-359.
- Gálvez A, Abriouel H, Benomar N, Lucas R. (2010). *Microbial antagonists to food-borne pathogens and biocontrol*. Current Opinion in Biotechnology. 21(2), 142–148.
- Ghosh R, Barman S, Mukhopadhyay A, Mandal NC. (2015). *Biological control of fruit-rot of jackfruit by rhizobacteria and food grade lactic acid bacteria*. Biological Control. 83, 29-36.

- Gómez R., Hernández L., Cossio, L., López J., Sanchez, R. (2011). *Enfermedades fungosas y bacterianas del cultivo de tomate en el estado de Nayarit*. INIFAP, CIRPAC. Folleto técnico. 19. 85.
- Gutiérrez, L., Montoya, O., Ruiz, O. (2005). *Evaluación del potencial bactericida de los extractos de bacterias ácido lácticas sobre el crecimiento in vitro de E. coli, Salmonella sp. y Listeria monocytogenes*. Revista CENIC Ciencias Biológicas. Cuba. 36. p 6.
- Jalali MD, Khosro I, Ghasemi MF, Khameneh SS. (2012). *Antagonism of Lactobacillus Species against Xanthomonas Campestris Isolated from Different Plants*. Applied Environmental and Biological Sciences. 2(9)480-484.
- Jaramillo, D., Meléndez, A. & Sánchez, O. (2010). *Evaluación de la producción de bacteriocinas a partir de Lactobacilos y Bifidobacterias*. Revista venezolana de ciencia y tecnología de alimentos. Venezuela. 1 (2). 193 – 209.
- Kumar RS, Kanmani P, Yvaraj N, Paari KA, Pattukumar V y Arul V. (2013). *Traditional Indian fermented foods: a rich source of lactic acid bacteria*. International Journal of Food Sciences and Nutrition. 64(4): 415–428.
- Larrea, H., Flores, M. & Huapaya, J. (2007). *Evaluación de la actividad antimicrobiana de bacterias ácido lácticas. Parte I*. Revista Horizonte Medico. Perú. 7 (1). p 7.
- Mauch, A., Dal Bello, F., Coffey, A. & Arendt, E. (2010). *The use of Lactobacillus brevis PS1 to in vitro inhibit the outgrowth of Fusarium culmorum and other common Fusarium species found on barley*. International Journal of Food Microbiology. Irlanda. 141. 116 – 121.
- Narasimha, K., Malini, M., Savitha, J. & Srinivas, C. (2012). *Lactic acid bacteria (LAB) as plant growth promoting bacteria (PGPB) for the control of wilt of tomato caused by Ralstonia solanacearum*. Pest Management in horticultural ecosystems. India. 18 (1). pp 60 – 65.
- Oranusi, S., Braide, W. & Oguoma, O. I. (2013). *Antifungal properties of the lactic acid bacteria (LAB) isolated from Ricinus communis, Pentaclethra macrophylla and yogurts*. Global Advanced Research Journal of Food Science and Technology. Nigeria. 20 (1). p 6.
- Peter, M., Michel, V., Martínez, V. (2012). *Lactic acid bacteria as biocontrol of soil-borne pathogens*. Biological Control of Fungal and Bacterial Plant Pathogens. Suiza. 78. pp 285 288.
- Reina LD, Breidt F, Fleming HP, Kathariou S. (2005). *Isolation and Selection of Lactic Acid Bacteria as Biocontrol Agents for Nonacidified, Refrigerated Pickles*. Journal of Food Science, 70, 1, M7 – M11.
- Rico, M. (2009). *Capacidad promotora de crecimiento vegetal por bacterias del genero Azotobacter y Actinomicetos aislados de cultivos de Solanum tuberosum Linnaeus, 1753 (papa) cultivados en zonas alto andinas del Perú*. Tesis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú. p 152.
- Rives, N., Acebo, Y. & Hernández, A. (2007). *Reseña bibliográfica: Bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo del arroz (Oryza sativa). Perspectivas de su uso en Cuba*. Cultivos tropicales. Cuba. 28 (2). pp 29 – 38.
- Rodríguez, H. & Fraga R. (1999). *Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion*. Biotechnology advances. Cuba. 17. pp 319 – 339.
- Ronél, V., Wilhelm, H. Holzapfel, J., Benzuidenthout Johannes, K. (1986). *Antagonism of Lactic Acid Bacteria against Phytopathogenic Bacteria*. Applied and Environmental Microbiology. Sudaáfrica- 52 (3). pp 552 – 555.

- Savadogo A, Cheik AT, Imael HN, Bassole, Traore A. (2004). *Antimicrobial Activities of Lactic Acid Bacteria Strains Isolated from Burkina Faso Fermented Milk*. Pakistan Journal of Nutrition 3 (3): 174-179.
- Shrestha, A. Seok, B. & Hwan, D. (2014). *Biological control of bacterial spot disease and plant growth-promoting effects of lactic acid bacteria on pepper*. *Biocontrol Science and technology*. República de Corea. 24 (7).p 763 – 779.
- Shrestha, A., Choi, K., Lim, C., Hur, J. & Cho, S. (2009). *Antagonistic effect of Lactobacillus sp. strain KLF01 against plant pathogenic bacteria Ralstonia solanacearum*. The Korean Journal of Pesticide Science. Corea. 13 (1). pp 45 – 53.
- Trias R, Bañeras L, Montesinos E, Badosa E. (2008a). *Lactic acid bacteria from fresh fruit and vegetables as biocontrol agents of phytopathogenic bacteria and fungi*. International Microbiology. 11(4):231-6.
- Trias R, Bañeras L, Badosa E, Montesinos E. (2008b). *Bioprotection of Golden Delicious apples and Iceberg lettuce against foodborne bacterial pathogens by lactic acid bacteria*. International Journal of Food Microbiology 123, 50–60.

Levaduras productoras de etanol: Aislamiento, selección y evaluación

Ethanol producing yeasts: Isolation, selection and evaluation

González L. Adrián⁶⁰

Del Ángel J. A.

González C. José L.

Hernández M. Plácido

*Bustos V. Guadalupe

Resumen

⁶⁰Unidad Académica Multidisciplinaria Mante- Centro, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Blvd. E. C. González 1201 Col. Jardín Cd. Mante Tamaulipas. CP. 89840.

*Contacto: gbustos@gmail.com

La importancia de las levaduras es subrayada por nuestro consumo con frecuencia diario de pan y bebidas fermentadas. Los recientes avances en biotecnología han incrementado nuestra dependencia a ellas para la industria farmacéutica y de productos bioquímicos en grandes cantidades, tales como el etanol. Esto ha provocado la búsqueda de nuevas alternativas para su producción dentro de lo que depende la actividad microbiana, particularmente las levaduras. Existen diversas metodologías que buscan hallar microorganismos con metabolismos extremos, adaptarlos a nuevas condiciones o brindarles genéticamente nuevas propiedades. En general una metodología para hallar microorganismos de interés industrial consta de 3 aspectos: Aislamiento, selección y evaluación. El aislamiento y selección son actividades que se ejecutan en forma complementarias, no se puede hablar de aislamiento sin pensar en poner las pruebas de selección, así un criterio de selección es que las colonias estén puras (sin contaminación de otro microorganismo), que desarrollen en forma "típica" en los medios de aislamiento, y que sobre todo produzcan el metabolito de interés, en este caso el etanol. Y la evaluación permite recrear las condiciones de fermentación que una levadura tendría a nivel industrial y cómo respondería ante estas.

Abstract

The importance of yeasts is underscored by our daily consumption rate of bread and fermented beverages. Recent advances in biotechnology have increased our dependence on them for pharmaceutical and biochemical products in large quantities, such as ethanol. This has prompted the search for new alternatives for production within which depends microbial activity, particularly yeasts; Therefore, there are various methodologies that microorganisms find ends metabolismes, adapt to new conditions or genetically provide new properties. In general methodology to find microorganisms of industrial interest has 3 aspects: Isolation, selection and evaluation. Isolation and selection are running activities in complementary way, you can not talk without thinking insulation put the selection tests and selection criteria it is that the colonies are pure

(no other microorganism contamination), which developed in how “typical” media isolation, and above all produce the metabolite of interest, in this case ethanol. And evaluation can recreate the conditions that a yeast fermentation at industrial level and would like respond to these.

Introducción

La importancia de las levaduras es subrayada por nuestro consumo, con frecuencia diario, de pan y bebidas fermentadas. Los recientes avances en biotecnología han incrementado nuestra dependencia a ellas para la industria farmacéutica y de productos bioquímicos en grandes cantidades, tales como el etanol (Kurtzma, Fell, & Boekhout, 2011). La gran aplicabilidad del etanol en procesos tradicionales y el actual interés que presenta como combustible líquido, lo convierten en uno de los compuestos de mayor importancia para la industria en especial para la química, por ello se ha buscado nuevas alternativas para su producción dentro de lo que depende la actividad microbiana, particularmente las levaduras. Existen diversas metodologías que buscan hallar microorganismos con metabolismos extremos, adaptarlos a nuevas condiciones o brindarles genéticamente nuevas propiedades (Stanbury, Hall, & Whitaker, 1995), (Madigan, Martinko, & Parker, 2003).

La obtención de levaduras productoras de etanol es una práctica que viene ejecutando el hombre desde hace varios miles de años, con el objeto de producir alcohol, bebidas alcohólicas, bebidas destiladas, pan, y alimentos fermentados. Como sabemos los medios de aislamiento y evaluación de la capacidad fermentativa juegan un rol importantísimo en la obtención de levaduras productoras de etanol. El aislamiento y selección son actividades que se ejecutan en forma complementarias, no se puede hablar de aislamiento sin pensar en poner las pruebas de selección, así un criterio de selección (Screening) es que las colonias estén puras (sin contaminación de otro microorganismo), que desarrollen en forma “típica” en los medios de aislamiento, y que sobre todo produzcan el metabolito de interés, en este caso el etanol. Sabemos también que las muestras pueden tener una serie de microorganismos acompañantes, por lo que las técnicas de aislamiento tienen que ser efectivas para lograr aislar cultivos puros de levaduras (Robles, Miranda, & Lora, 2012). La estructura de un proceso de obtención de microorganismos para su aplicación a escala industrial puede seguir distintos lineamientos, pero un esquema general se muestra en la Figura 1.

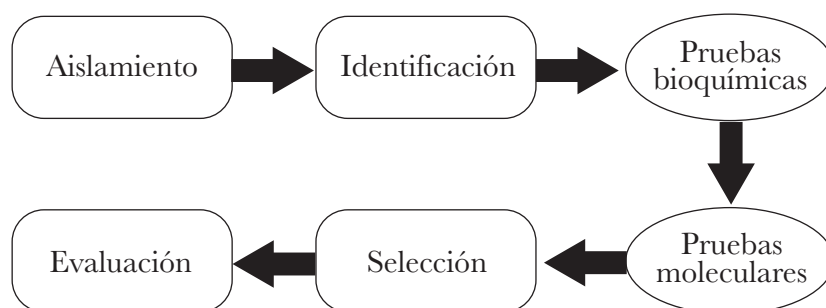


Figura 1. Proceso general de obtención de microorganismos para la aplicación industrial (fuente: Elaboración propia).

Dado que la identificación de los microorganismos mediante pruebas bioquímicas o moleculares rebasa el interés del tema y por ser un aspecto del proceso demasiado amplio no se tratará aquí. Tampoco se hace referencia a una levadura en específico ya que el interés del tema es general.

Aislamiento

Las levaduras se aíslan de una amplia gama de habitats como el acuático, marino, atmosférico y terrestre. Están ampliamente distribuidos en la naturaleza, sus habitats puede ser no solo las capas superiores del suelo, sino también muchas materias orgánicas, sobre todo las de origen vegetal que contienen hidratos de carbono, también se pueden aislar del suelo de viñedos y huertos, superficies de frutas dulces como uvas, manzanas, limón, etc., de las hojas y otras partes de la planta, asimismo, se puede aislar de las frutas y verduras, en los que se producen la fermentación del azúcar con desprendimiento de CO₂ y liberación de etanol (Mossel, Moreno, & Struijk, 2006). Muchas se reproducen ampliamente, mientras algunas otras parecen limitarse a habitats específicos, rara vez se encuentran en ausencia de mohos o bacterias las que lo hacen son conocidas como levaduras *killer*, éstas generan compuestos que son tóxicos para otros microorganismos provocando su muerte. En consecuencia, las técnicas de aislamiento se utilizan a menudo para la recuperación de levaduras, empleando medios de cultivo que permiten que las levaduras crezcan, y a su vez provoquen la supresión de los mohos y bacterias. Estos medios de cultivo explotan el hecho de que las levaduras son generalmente capaces de desarrollarse a niveles de pH y actividades de agua (AW) que reducen o inhiben el crecimiento de bacterias. Estos medios también pueden incluir antibióticos o agentes fungistáticos para la represión de los mohos (Kurtzman, y col., 2011).

Los dos medios de cultivo más utilizados para aislar, seleccionar y evaluar levaduras son el YPD, este es un medio es muy usado en procesos de microbiología molecular para el mantenimiento y propagación de levaduras. Contiene peptona como una fuente de carbono, nitrógeno, vitaminas y minerales, el extracto de levadura suple de vitaminas del complejo B que estimulan el crecimiento microbiano, la dextrosa que es la fuente de carbohidratos y agar como agente solidificante. Las levaduras crecen bien en un medio mínimo que contenga solo dextrosa y sales. La adición de proteína y extracto de células de levaduras hidrolizadas aportan todos los aminoácidos necesarios para permitir un rápido crecimiento durante la fase exponencial, las células se dividen cada 90 minutos (DIFCO & BBL, 2009; Anubrata & Rajendra, 2015). La composición típica de YPD caldo es extracto de levadura 1% (p/v), peptona 2% (p/v), y dextrosa 2% (p/v) y agar 2% (p/v) para el YPD agar (Skowrya & Doering, 2012). Y el agar papa dextrosa (APD) es usado para el mismo fin (Murray, y col., 2007), es un medio de propósito general para levaduras y mohos que pueden ser suplementado con ácido o antibióticos para inhibir el crecimiento bacteriano. Se utiliza en los métodos de recuento de placa al probar alimentos (Tournas, y col, 2001), productos lácteos (Wehr & Frank, 2004), y cosméticos (Hitchins, Tran, & McCarron, 2001). La USP (2009) enlista al Agar Papa Dextrosa como uno de los medios recomendados para uso en los tests de enumeración microbiana al probar los productos farmacéuticos no estériles. Cualquier sustrato que se

pretenda fermentar debe asemejarse a los dos mencionados anteriormente, en combinación con algunas técnicas de aislamiento. Las técnicas más utilizadas para el aislamiento de levaduras son la de siembra por extensión en superficie y la de siembra por estrías.

Los medios de cultivo son solo uno de los aspectos a considerar para el aislamiento de levaduras, existen diversos factores que se deben tomar en cuenta al querer aislar cualquier microorganismo como ya se mencionó, pH, actividad de agua (AW), temperatura y presión osmótica. Se sabe que es más efectivo el uso de cultivos autóctonos de levaduras que ya que se encuentran adaptadas a las condiciones climáticas de la zona y a la materia prima a fermentar.

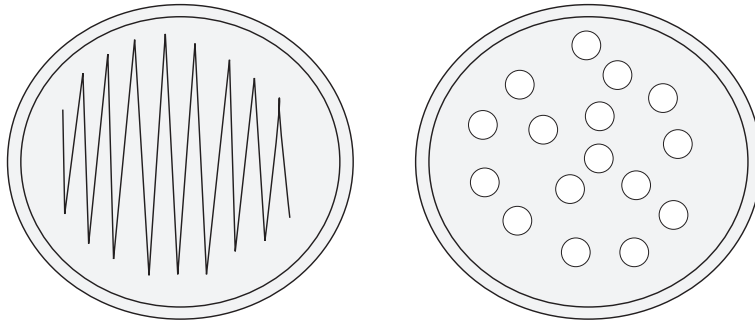


Figura 2. Técnicas de siembra en placas por estrías y extensión en superficie, (Fuente: elaboración propia).

Selección

La selección de levaduras ha traído consigo la utilización de levaduras autóctonas con excelentes resultados en muchos países, obteniéndose productos finales de calidad que los que comúnmente se producen. A pesar de que existen levaduras comerciales para realizar fermentaciones, ha resultado más efectivo el uso de levaduras aisladas de diferentes materiales, presentando mejores características que son ideales para la producción de etanol (Torija Martínez, 2002).

El éxito de cualquier modificación está limitado por el comportamiento del microorganismo seleccionado. Es por esto que es esencial considerar aquel microorganismo que muestre de mejor manera las características deseadas, bajo condiciones ambientales específicas. Debido a esto, el éxito o fracaso de un proceso fermentativo depende del tipo de levadura y dentro de su selección se debe considerar algunos requisitos generales como: (Mariscal, 2011):

- El tipo de cepa a implementar debe ser genéticamente estable.
- Alta velocidad de crecimiento.
- Debe estar libre de contaminantes.
- Sus requerimientos nutricionales deben ser satisfechos con medios de cultivo económicos.
- Fácil conservación por periodos de tiempo elevados, preservando sus características metabólicas y fisiológicas.
- Debe llevar a cabo el proceso de fermentación completo en periodos cortos de tiempo.
- Debe generar alto rendimiento del producto y este debe ser fácilmente separable del medio de fermentación.
- Debe satisfacer características particulares según el tipo de producto.

Todas estas características hacen ideales a las levaduras reflejando la complejidad de los procesos fermentativos y aún más, los problemas de encontrar microorganismos adecuados por rutas de mejoramiento y selección, aunque al final, estos procedimientos suelen generar grandes beneficios. La selección de la cepa adecuada para cada tipo de fermentación es una estrategia muy importante para garantizar una fermentación con rendimientos aceptables que la hagan una cepa competitiva a nivel industrial.

Si las cepas seleccionadas tienen un interés comercial, quedan 2 últimos pasos para terminar el ciclo que es su evaluación a escala piloto o industrial y la deshidratación. No todas las cepas resisten bien ni mantienen sus características tras el secado y la posterior rehidratación y por tanto, aunque se trate de una cepa de características extraordinarias, si no se puede deshidratar, no será una buena levadura para su uso industrial.

Seleccionar microorganismos adecuados para la fermentación, cuyas características metabólicas se ajusten con el tipo de sustrato, las condiciones de operación y otros requerimientos particulares, permite maximizar la productividad de etanol y tener un mejor control y conocimiento del proceso desarrollado (Balat & Balat, 2009). Debido a que la fermentación alcohólica es un proceso complejo y dado la cantidad de variables que intervienen, los procedimientos de selección de microorganismos no son realizados con frecuencia en las industrias productoras de bioetanol. Esto se debe principalmente a los elevados costos de experimentación, a los altos requerimientos de tiempo y de personal especializado además de la carencia de estudios que generen criterios y presenten herramientas claras para la valoración y selección de microorganismos, especialmente aquellos enfocados a la utilización de materias primas azucaradas (Mariscal, 2011). Muchos investigadores recomiendan que los esfuerzos deberían estar dirigidos hacia la identificación de cepas termoestables y etanol resistentes con un amplio espectro de la utilización del sustrato y una capacidad de producir cantidades sustanciales de etanol a temperaturas que son óptimas para la sacarificación (Babiker, y otros, 2010).

Evaluación

Una gran cantidad de microorganismos se reportan en la literatura para la producción de etanol a escala de laboratorio, pero muy pocos de éstos tienen aplicación actualmente a nivel industrial. Cepas silvestres de diferentes microorganismos, por sus características bioquímicas, asimilan diferentes compuestos transformándolos en etanol, pero sus bajos rendimientos, su difícil propagación, la generación de subproductos, el estrecho abanico de sustratos asimilables, su baja tolerancia a distintas sustancias y condiciones, entre otras características, hacen que solo unas pocas tengan actual y exitosa aplicación a escala piloto o industrial (Mariscal, 2011).

Las cepas de levaduras convencionales y no convencionales poseen la capacidad de producir etanol bajo distintas condiciones operativas y nutricionales durante la fermentación, mostrando distintos rendimientos en la producción de biomasa y etanol (Pérez, y col., 2013). Además de etanol y CO₂, diversos subproductos también se producen durante la fermentación de etanol. Uno de ellos es el glicerol; se produce a un nivel de aproximadamente 1,0% (p/v) para

la mayoría de las fermentaciones alcohólicas. Un pH superior, aumento de la presión osmótica, menor flujo de piruvato debido a la utilización de productos glicolíticos intermedios posteriores a la etapa en la ruta produciendo NAD reducido para biosíntesis todos estos elementos pueden estimular la conversión de dihidroxiacetona fosfato a glicerol (Ingledeew, 1999).

Otros subproductos tales como ácidos orgánicos y alcoholes superiores se producen a niveles mucho más bajos. La producción de éstos, así como el crecimiento de las células de levaduras, disminuyen el rendimiento de etanol en cierta medida. En la industria, la producción de etanol que se calcula en base a la alimentación total de azúcar en el sistema de fermentación sin deducción del azúcar residual puede ser tan alta como 90 a 93% del valor teórico (Ingledeew, 1999). El azúcar residual debe ser controlado a un nivel muy bajo. Por ejemplo, en el la producción de etanol a partir de materiales de almidón el azúcar reductor residual y el azúcar total residual no debe sobrepasar de 2 g/L y 5 g/L respectivamente. Cualquier investigación sobre fermentación alcohólica que se espera que sea práctica tiene que soportar estos criterios.

Durante la fermentación alcohólica, las levaduras sufren diversas tensiones. Algunas son la ambiental, deficiencia de nutrientes, altas temperaturas y contaminación, mientras que las otras afectan el metabolismo de las levaduras como la acumulación de etanol y su inhibición correspondiente en el crecimiento de éstas y la producción de etanol (Figura 2). Muchos de esos factores de tensión actúan en sinergia, afectando a las células con mayor severidad que uno solo, lo que lleva a reducción de la viabilidad de la levadura y vigor, así como un menor rendimiento de etanol (Bai, Anderson, & Moo-Young, 2008). Durante la producción de etanol y otros procesos industriales, las células de levadura usualmente no encuentran el medio ambiente óptimo y son expuestas simultánea y secuencialmente a una serie de condiciones de estrés (Zuzuarregui & del Olmo, 2004).

Todos estos aspectos deben ser considerados en una correcta evaluación de las levaduras, ya que de eso depende que los costos a nivel industrial sean mínimos. Los microorganismos seleccionados deben ser probados en condiciones de planta piloto para evaluar el rendimiento real del producto y el comportamiento del microorganismo, antes de ser escalado. El diseño experimental planteado es una buena herramienta para la evaluación y predicción del comportamiento de un microorganismo, para comparar microorganismos y para seleccionar condiciones de operación que maximicen la productividad del proceso, incluyendo nuevas alternativas de operación. (Mariscal, 2011).

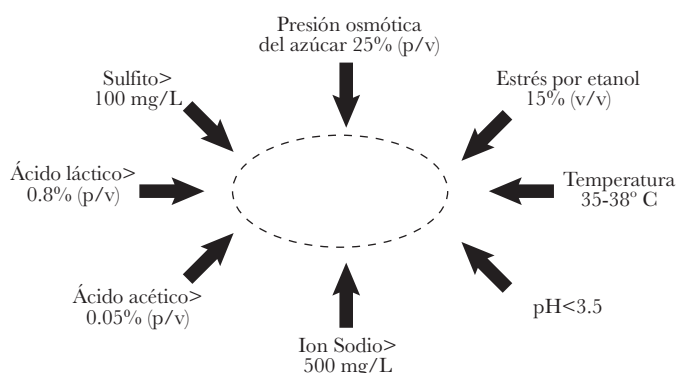


Figura 3. Tensiones de las levaduras durante la fermentación alcohólica (Ingledeew, 1999).

A nivel planta piloto o a escala industrial, la asepsia no es la misma que a nivel laboratorio. Esto ha generado múltiples inconvenientes en relación con la contaminación y la presencia de levaduras que no pertenecen a la cepa inicialmente sembrada, conocidas como levaduras salvajes, las cuales ocasionan mayores contaminantes denominados bastoncelos o bacillus. Dichos contaminantes ocasionan pérdidas de materias primas (Zuluaga, 2011). Por eso, debe evaluarse la capacidad *Killer* de la levadura productora de etanol que se pretende utilizar a nivel industrial ya que si esta es demasiado susceptible a contaminación, provocara problemas graves en la industria.

La evaluación de la levadura de interés debe hacerse en última instancia en el sustrato que fermentaría a nivel industrial y tratando de asemejar las condiciones que tendría la fermentación a ese nivel. No es la misma cantidad de energía que genera un medio de cultivo en un matraz, o en un contenedor de 100 litros, que en un reactor de 10 000 litros. La levadura debe generar tal energía que no provoque un sobrecalentamiento en el reactor, ya que el proceso además de acelerarse a un nivel no deseado podría significar la pérdida del lote. Una correcta evaluación de la cepa de interés debe asemejar todas y cada una de las condiciones que tendría estando en la industria, tales como pH, temperatura, concentración de sustrato, agitación, etc. Los diseños experimentales consisten en ir probando uno o 2 factores a la vez, que generan resultados imprecisos y mínimos. Un buen diseño experimental, tal vez uno factorial en el que se evalúe la interacción de distintos factores, podría significar resultados en masa y dar una perspectiva clara de cuál sería en comportamiento de la levadura a un nivel comercial.

Conclusión

La mayor importancia de las levaduras recae sobre la producción de etanol y es el aspecto más valorado a nivel industrial, existe una gran cantidad de levaduras que producen etanol, unas conocidas y otras no, aunque, cada día que pasa se conocen nuevas especies con diversas características de interés industrial y no. Un buen proceso que busque nuevas levaduras con propiedades alcohólicas deberá ser bien establecido y seguido al pie de la letra para evitar llevar levaduras de “no interés” hasta la última etapa del proceso que es la evacuación, y que solo traería resultados no significativos, trabajo y tiempo desperdiciado, así como pérdidas económicas. Un correcto aislamiento traerá consigo mucho material para trabajar, una buena selección permitirá crear un filtro para las levaduras que no tienen la capacidad de trabajar a un nivel industrial y una correcta evaluación permitirá saber la reacción que tendrán ante ciertas condiciones favorables y no favorables. Los aspectos son muy claros, el tomarlos a consideración traerá consigo resultados favorables en la búsqueda de levaduras que presenten buenos rendimientos de etanol y otros aspectos importantes dependiendo del objetivo.

Bibliografía

- Anubrata, P., & Rajendra, D. (2015). Characterization of Protein Involved in Nitrogen Fixation and Estimation of Co-Factor. *International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology*, 2(1), 89-97. Recuperado el 08 de 06 de 2015, de <http://ijcrbp.com/vol-2-1/Anubrata%20Paul%20and%20Rajendra%20Dubey.pdf>
- Babiker, M., Abdel-Banat, Hoshida, H., Ano, A., Nonklang, S., & Akada, R. (2010). High-temperature fermentation: how can processes for ethanol production at high temperatures become superior to the traditional process using mesophilic yeast? *Appl Microbiol Biotechnol*, 85, 861–867. doi:10.1007/s00253-009-2248-5
- Bai, F.W., Anderson, W.A., & Moo-Young, M. (2008). Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks. *Biotechnology Advances*, 26, 89-105.
- Balat, M., & Balat, H. (2009). Recent trends in global production and utilization of bioethanol fuel. *Applied Energy*, 86 (11), 2273-2282. Recuperado el 15 de 06 de 2015
- DIFCO, & BBL. (2009). *Manual of microbiological culture media* (Segunda ed.). (M. J. Zimbro, D. A. Power, S. M. Miller, G. E. Wilson, & J. A. Johnson, Edits.) Spark, Maryland, USA: Becton, Dickinson and Company. Recuperado el 05 de 06 de 2015, de https://www.bd.com/ds/technicalCenter/misc/difcobbmanual_2nded_lowres.pdf
- Hitchins, A. D., Tran, T. T., & McCarron, J. E. (2001). Microbiological Methods for Cosmetics. En F. a. Administration, & FDA (Ed.), *Bacteriological Analytical Manual* (OCTAVA ed.). Silver Spring, USA. Recuperado el 08 de 06 de 2015, de <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm073598.htm>
- Ingledeu, W. M. (1999). Alcohol production by *Saccharomyces cerevisiae*: a yeast primer, in the alcohol textbook. *Nottingham University Press*.
- Kurtzma, C. P., Fell, J. W., & Boekhout, T. (2011). *The yeasts, a taxonomic study* (Quinta ed., Vol. 1). (ELSEVIER, Ed.) Nueva York, USA. Recuperado el 01/06/2015
- Kurtzman, C. P., Fell, J. W., Boekhout, T., & Robert, V. (2011). Methods for Isolation, Phenotypic Characterization and Maintenance of Yeasts. En C. P. Kurtzman, J. W. Fell, T. Boekhout, & Elsevier (Ed.), *The Yeasts, a Taxonomic Study* (Quinta ed., Vol. 1, págs. 87- 110). Nueva York, USA. Recuperado el 06/ 08/2015
- Madigan, M., Martinko, J., & Parker, J. (2003). *Biología de los microorganismos*. Madrid: Pearson Educación.
- Mariscal, J. (2011). Evaluación y selección de microorganismos para la producción de etanol a nivel industrial. *TESIS de Magister en Ingeniería Química*. Manizales, Colombia.
- Mossel, D., Moreno, B., & Struijk, C. (2006). *Microbiología de los alimentos* (Segunda ed.). España: Acribia.
- Murray, P. R., Baron, E., Jorgensen, J., Landry, M., & Pfaller, M. (2007). *Manual of Clinical Microbiology* (Novena ed., Vol. 1). Nashville, Tennessee, USA: American Society for Microbiology (ASM). Recuperado el 08 de 06 de 2015, de <http://cid.oxfordjournals.org/content/46/1/153.1.full>

- Pérez, E., González-Hernández, J., Chávez-Parga, M., & Cortés-Penagos, C. (Diciembre de 2013). CARACTERIZACIÓN FERMENTATIVA DE LEVADURAS PRODUCTORAS DE ETANOL A PARTIR DE JUGO DE Agave cupreata EN LA ELABORACIÓN DE MEZCAL. (U. A. Iztapalapa, Ed.) *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12 (3), 451-461. Recuperado el 15 de 06 de 2015, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62029966008>
- Robles, H., Miranda, H., & Lora, C. (2012). Aislamiento de levaduras productoras de etanol a partir de chicha de jora del Mercado “Mayorista” de Trujillo (Perú). (U. N. Perú, Ed.) *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, 32 (2), 48-55. Recuperado el 15 de 06 de 2015
- Skowrya, M. L., & Doering, T. L. (2012). RNA Interference in *Cryptococcus neoformans*. *Methods Mol Biol*, 845, 165–186. doi:10.1007/978-1-61779-539-8_11
- Stanbury, P., Hall, S., & Whitaker, A. (1995). Principles of fermentation technology. *Elsevier Science*.
- Torija Martínez, M. (2002). ECOLOGÍA DE LEVADURAS: SELECCIÓN Y ADAPTACIÓN A FERMENTACIONES VÍNICAS. *Memoria de grado de Doctora en Bioquímica*. Tarragona.
- Tournas, V., Stack, M. E., Mislivec, P. B., Koch, H. A., & Bandler, R. (2001). Yeasts, Molds and Mycotoxins. En F. a. Administration, & FDA (Ed.), *Bacteriological Analytical Manual* (Octava ed.). Silver Spring, USA. Recuperado el 08 de 06 de 2015, de <http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm071435.htm>
- United States Pharmacopeia, USP. (2009). MICROBIOLOGICAL EXAMINATION OF NONSTERILE PRODUCTS: MICROBIAL ENUMERATION TESTS. En U. United States Pharmacopeia, *Microbiological Tests*. Rockville (Maryland), USA. Recuperado el 08 de 06 de 2015, de http://www.usp.org/sites/default/files/usp_pdf/EN/USPNF/generalChapter61.pdf
- Wehr, H. M., & Frank, J. F. (2004). *Standard Methods for the Examination of Dairy Products* (Diecisiete ed.). Washington, D.C.: American Public Health Association. Recuperado el 08 de 06 de 2015, de <http://ajph.aphapublications.org/doi/book/10.2105/9780875530024>
- Zuluaga, J. P. (2011). Técnicas Microbiológicas para el Apoyo en el Proceso de Fermentación. *Universidad Nacional Abierta y a Distancia*.
- Zuzuarregui, A., & del Olmo, M. (2004). Analyses of stress resistance under laboratory conditions constitute a suitable criterion for wine yeast selection. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 84 (2), 271-280.

La Biotecnología y las tecnologías limpias

Biotechnology and clean technology

*J. Alfredo del Ángel del Ángel⁶¹
Nubia R. Rodríguez Durán
Ma. Guadalupe Bustos Vázquez
Adrian González L.
Nadia A. Rodríguez Durán

Resumen

⁶¹Unidad Académica Multi-disciplinaria Mante, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Blvd. E. C. González 1201 Col. Jardín Cd. Mante Tamaulipas. CP. 89840. *Contacto: a_delangel@hotmail.com

Los avances actuales de la ciencia y tecnología son notorios en las diversas regiones del mundo. Tales avances cambian y pueden mejorar el entorno y el estilo de vida. La educación, las comunicaciones, la salud de la población, la alimentación, la producción de energía y el desarrollo de productos son algunos aspectos impactados por el desarrollo tecnológico. Sin embargo, este mismo desarrollo alcanzado en aras de mejorar el entorno ha provocado un fuerte impacto en el medio ambiente, esto podría llegar a ser irreversible y ha aumentado los esfuerzos para evitar o minimizar los daños. Las tecnologías limpias se han impulsado en los últimos años sustentadas en la biotecnología y los avances de los años recientes para apoyar la producción de alimentos, la obtención de fuentes de energías, la remediación y el cuidado del medioambiente. Este trabajo busca analizar algunos de los avances en investigación e implementación de tecnologías limpias en el presente y el futuro inmediato.

Abstract

Current advancement of science and technology has been perceived in the various regions of the world. Such advances can change and improve the environment and lifestyle. Education, communications, population health, food, energy production and product development are some of the aspects that impacted technological development. Yet this same development has been achieved in order to improve the environment has had an impact on the environment which could become irreversible, because this has increased the effort to avoid or minimize such impact. Clean technologies have promoted in recent years. Biotechnology and advance of recent years have become a tool for clean technologies either in food production, obtaining energy sources, remediation and environmental care. This paper analyzes some of the advances in research and implementation of clean technologies in present and immediate future.

Introducción

Día a día, el ser humano avanza en el mundo de la ciencia, los nuevos descubrimientos desmitifican las imposibilidades de tiempos pasados y aceleran la carrera hacia el futuro. La raza humana avanza de manera inteligente más allá

de la imaginación de los científicos de las décadas anteriores (Hove, 2012). En los últimos años el avance de la ciencia y tecnología ha impactado alrededor del mundo incluso en regiones como el África subsahariana; que presenta problemas de pobreza, salud pública y conflictos civiles. Ahí se detecta un desarrollo que impacta en indicadores como el aumento de esperanza de vida, disminución de tasa de mortalidad infantil y el acceso a servicios como el agua potable; el avance en computación ha permitido un progreso espectacular en muchos aspectos de la sociedad. Los teléfonos celulares y computadoras baratas permiten el uso de Internet, incluso en las zonas rurales de los países en desarrollo, con importantes implicaciones para la educación. Además la ingeniería genética y la biotecnología experimentan el desarrollo más revolucionario en la segunda mitad del siglo pasado (UNESCO, 2014) El desfile de las nuevas tecnologías y los avances científicos es implacable y se desarrolla en muchos frentes. Sin embargo, algunas tecnologías tienen el potencial de alterar el statu quo, alteran la manera de vivir y trabajar ante la producción de materiales con cualidades increíbles, tecnología de almacenamiento de energía que incluye baterías y otros sistemas que almacenan energía para su uso posterior, la capacidad de extraer las reservas de petróleo y gas no convencionales de las formaciones de esquisto una revolución de la tecnología que cobra fuerza en las últimas décadas. (Manyika, Chui, Bughin, Dobbs, Bisson, & Marrs, 2015). El desarrollo tecnológico actual ha producido un alto impacto ambiental sobre todo por concentrarse el desarrollo en ciertas áreas geográficas.

Tecnologías limpias

Tecnología limpia (*cleantech*), o tecnología verde es un término relativamente nuevo en el léxico emprendedor mexicano. Hace tan sólo algunos años, la noción de *cleantech* era prácticamente inexistente; hasta el cambio climático fue que se convirtió en foco de atención. La tecnología limpia dio origen a una nueva cultura de innovación sustentable, México presenta grandes oportunidades en distintas áreas, incluyendo eficiencia energética, generación de energía, manejo de residuos y tecnología agua. se ha evolucionado en generación de energía (solar, eólica), se han desarrollado sistemas de ahorro de recursos hídricos y un manejo de residuos evolucionados y ahora se incluye la producción de gas y diesel sintético, así como también el aprovechamiento de todo tipo de residuo, orgánico e inorgánico (Aguirre, 2013). Las cuestiones ambientales actuales han desencadenado una fuerte conciencia ambiental entre consumidores, comunidades y gobiernos que ha influido sustancialmente en la empresa en lo que respecta a la selección de la tecnología verde (Xia, Chen, & Zheng, 2014).

Algunos sectores como construcción, transporte y agricultura han evolucionado aplicando la práctica de tecnología limpia, incluyendo calentadores solares, reciclado *in-situ* de residuos, captación de agua pluvial, e incorporación de materiales y procesos innovadores y certificablemente sustentables. El transporte ha tenido cambios en sistemas de combustión (más eficientes, sistemas híbridos y, vehículos eléctricos). La agricultura ha cambiado también, incluyendo avances en agricultura orgánica, sino también en términos de plaguicidas, fertilizantes y sistemas eficientes de riego, siembra y recolección. (Aguirre, 2013) Las empresas generalmente forman su plan estratégico para el desarrollo y aplicación de la

tecnología verde en cooperación con sus principales grupos de interés, éstos desempeñan un papel importante en este proceso de toma de decisiones. (Xia, Chen, & Zheng, 2014).

Fermentación de productos de interés

Jicamao nabo Mexicano (*Pachyrhizuserosus L*) es una planta nativa que crece bien en regiones tropicales y subtropicales; en suelos pobres y ácidos a los que se ha agregado materia orgánica. Muchos subproductos se pueden recuperar después del tratamiento de la raíz tuberosa de jícama. Enzimas amilolíticas son usadas para liberar glucosas que se usan como materia prima en la industria para su transformación biotecnológica a diversos productos de interés (Bettín & Quintero, 2010) por lo que el almidón podría ser utilizado como sustrato por enzimas amilolíticas para producir jarabes ricos en glucosa. El almidón de jícama también ha sido considerado como un sustrato para la producción de ácido cítrico de quitina y quitosano así como vino de jícama; además se le considera un medio de cultivo barato. Otro producto de gran interés es la producción de etanol biocombustible incluso se plantea un proceso basado en la economía circular, utilizando *P. erosus* como materia prima para producir combustible. (Ramos-de-la-Peña, Renard, Wicker, & Contreras-Esquivel, 2013)

Actualmente se produce etanol como biocombustible a partir de materiales con alto contenido en mono y disacáridos: sacarosa, glucosa, fructosa y maltosa; caña de azúcar y remolacha, principalmente y fuentes amiláceas como cereales (maíz, soya, etc), papa y yuca. Para esto se utiliza la levadura *Saccharomyces cerevisiae* para llevar a cabo el proceso de fermentación (Carreón R., Ramos L., Centeno L., Leal R., Martínez J., & Fernández S., 2009; Cardona, Montoya, & Quintero, 2004) El bioetanol es un biocombustible muy atractivo para la industria del automóvil ya que es miscible con la gasolina de petróleo y se puede utilizar en mezclas. El uso de materiales de desecho lignocelulósicos como una fuente de glucosa para la fermentación microbiana en bioetanol es de mucho interés (Field, y otros, 2015)

Varios países promueven políticas para la producción de bioenergía, en especial biocombustibles. Si éstas se desarrollan de forma ambiental, social y económicamente sostenible, serán una oportunidad estratégica para el desarrollo y la diversificación de las matrices energéticas. Los biocombustibles son de gran interés al presentarse como una oportunidad de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. (FAO, 2015) En México la producción de energía primaria está altamente concentrada en los hidrocarburos. Del total de la energía producida, más del 90% está basada en los hidrocarburos: petróleo crudo 72%; gas asociado 11.5%; gas no asociado 5.5%; condensados 1.7% (Enríquez Poy, 2013). En México, sólo 9.5% de la oferta total de energía es renovable, mientras que en Brasil 38.7% de su energía es de fuentes renovables. Además, habría que aclarar que la poca energía renovable que se produce en México, a diferencia de Brasil, es fundamentalmente hidráulica, solar y eólica, y no se utilizan hasta el momento la producción comercial de biocombustibles a partir de cultivos agrícolas o forestales. (Becerra Pérez, 2009)

En México el proceso de fermentación es usado principalmente en fabricación de bebidas, como solvente y material de curación utilizando azúcares

provenientes de melazas, de ingenios azucareros, de azúcares obtenidos del agave y de granos en general. (Carreón R., Ramos L., Centeno L., Leal R., Martínez J., & Fernández S., 2009) (Carreón et al., 2009). El bioetanol es un biocombustible muy atractivo para la industria del automóvil ya que es miscible con la gasolina de petróleo y se puede utilizar en mezclas. El uso de materiales de desecho lignocelulósicos como una fuente de glucosa para la fermentación microbiana en bioetanol es de gran interés (Field, y otros, 2015).

Los modelos de desarrollo modernos presentes en las diferentes regiones durante el siglo pasado han producido un alto impacto social y ambiental.

Biotecnología y Energía

Biogás: El metano de origen fósil se utiliza cada vez más como combustible para vehículos en todo el mundo, es un desarrollo impulsado por los beneficios ambientales como la reducción de la contaminación del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero de la zona, en comparación con la gasolina y el diesel. El metano producido a partir de biomasa a través de la digestión anaeróbica, o biogás, también se utiliza cada vez más como combustible para vehículos, pero las cantidades son todavía marginal. La producción actual de biogás es con residuos orgánicos y subproductos, pero la gran demanda se ha traducido en la necesidad de desarrollar nuevos sistemas de biogás a base de otras materias primas, como ciertos cultivos, ya que la cantidad de residuos y subproductos disponibles es limitada. (Börjesson, Prade, Lantz, & Björnsson, 2015). Un aumento de la oferta de biocombustibles basada en la agricultura de materia prima incluirá diversos cultivos y residuos, que todos dan diferentes rendimientos de energía por hectárea, pero también tienen diferente comportamiento medioambiental y económico. Esto complica la cuestión de qué cultivos son preferibles para la producción de combustible sostenible, renovable y hace hincapié en la necesidad de desarrollos actualizados y más en las evaluaciones del ciclo de vida (Börjesson, Prade, Lantz, & Björnsson, 2015).

En las plantas de biogás los residuos agrícolas y cultivos energéticos se convierten en metano; por comunidades microbianas complejas, para la producción de energía renovable. Se han llevado a cabo investigaciones de la composición microbiana en una planta de biogás por medio de análisis metaproteómico.

Las diferencias de los perfiles de proteínas permite la discriminación entre mesófilos y termófilos en plantas de biogás (Heyer, y otros, 2013). Nuevas cepas aisladas capaces de degradar los hidrocarburos y la producción de surfactantes. En particular, obtuvieron una colección cepas, adaptadas a crecer en un medio mínimo suplementado con aceite crudo, de los sedimentos y el agua de mar contaminados (Mahjoubi, y otros, 2013).

Biotecnología ambiental

La alta tecnología de plantas de tratamiento de aguas residuales implica grandes inversiones de capital y costos operativos; por razones económicas tales sistemas no son aplicables para el tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades y explotaciones ganaderas en las zonas rurales, los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales han ido ganando importancia

como una alternativa de bajo costo y eficaz para el tratamiento de aguas en zonas rurales (Chen, Luo, Sato, Wakatsuki, & Masunaga, 2009).

Los disolventes se utilizan a diario en numerosos procesos industriales. Se estima que comprenden casi el 60% de todas las emisiones industriales y el 30% de todas las emisiones de compuestos orgánicos volátiles mundial. Ya en 1991 se abordó la necesidad de reducción de disolventes nocivos, y hoy en día este concepto ha superado los círculos académicos y se legisla al respecto donde se busca la reducción de disolventes peligrosos en la industria (Bubalo, Vidović, Redovniković, & Jokić, 2015).

Ecología microbiana y la biotecnología ambiental están intrínsecamente ligados entre sí: la ecología microbiana proporciona la base científica para los procesos utilizados para lograr los objetivos prácticos de la biotecnología ambiental, y los procesos de la biotecnología ambiental proporcionan los ecosistemas interesantes a los ecólogos microbianos para estudiar y avanzar en sus conceptos y métodos. En última instancia, los biotecnólogos ambientales aplican conceptos y herramientas de ecología microbiana para gestionar sus procesos. La prestación de servicios con las comunidades microbianas de biotecnología ambiental son autos sostenibles. Estos proporcionan una amplia gama de servicios como: detoxificación de aguas contaminadas, aguas residuales, lodos, sedimentos o suelos; captura de los recursos renovables, especialmente la energía y el agua; detección de contaminantes o patógenos en el medio ambiente. (Rittmann, 2006). La ecología microbiana tiene como objetivo comprender las comunidades microbianas y cómo las comunidades interactúan con su entorno los estudios buscan conocer la estructura de la comunidad microbiana; el potencial fenotípico de la comunidad; la función de la comunidad; y las interrelaciones entre los miembros de la comunidad y con su entorno (Rittmann, 2006).

Biocidas se pueden dividir en desinfectantes, conservantes, control de plagas y otros productos biocidas; incluyendo aproximadamente 955 sustancias y 372 sustancias notificadas. Entre los biocidas obtenidos de plantas aparecen aceites esenciales de plantas usadas como pesticidas verdes, extractos de plantas y sus derivados, formulación antimicrobiana compuesta, péptidos antimicrobianos, enzimas y compuestos orgánicos volátiles de bacterias. Los biocidas se pueden añadir a otros materiales para protegerlos contra la infestación y el crecimiento biológico. Como la innovación tecnológica, la Revolución Verde sustituye “una forma de vida con otro en un corto espacio de dos décadas”. Esta visión alternativa de la introducción de los cambios tecnológicos en la agricultura como una orientación rector es que la tecnología es sólo una parte de una estructura agrícola integrada. Los biocidas son de suma importancia, por ejemplo para controlar la formación de limo en las fábricas de papel (Ashraf, Ullah, Ahmad, Qureshi, Balkhair, & Rehman, 2014).

Bibliografía

- Aguirre, L. (07 de 08 de 2013). *Forbes México*. Recuperado el 07 de 07 de 2015, de <http://www.forbes.com.mx/tecnologia-limpia-la-nueva-clave-para-la-vida-cotidiana/>
- Ashraf, M., Ullah, S., Ahmad, I., Qureshi, A., Balkhair, K., & Rehman, M. (2014). Green biocides, a promising technology: current and future applications to industry and industrial processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* (94), 388–403.
- Becerra Pérez, L. A. (2009). La industria del etanol en México. *ECONOMÍAunam*, 6 (16), 82-98.
- Bettín, L. A., & Quintero, J. C. (2010). Estudio de la producción de jarabes glucosados a partir de maltodextrinas empleando dos enzimas comerciales. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 17(2), 165-172.
- Börjesson, P., Prade, T., Lantz, M., & Björnsson, L. (2015). Energy Crop-Based Biogas as Vehicle Fuel—The Impact of Crop Selection on Energy Efficiency and Greenhouse Gas Performance. *Energies* (8), 6033-6058.
- Bubalo, M., Vidović, S., Redovniković, I., & Jokić, S. (2015). Green solvents for green technologies. *J Chem Technol Biotechnol*.
- Cardona, A., Montoya, R., & Quintero, S. (2004). Selección de tecnologías apropiadas para la producción de etanol carburante. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 1 (2), 48-55.
- Carreón R., O., Ramos L., A., Centeno L., S., Leal R., L., Martínez J., A., & Fernández S., M. (2009). Etanol Carburante. *BioTecnología*, 13 (3 79).
- Chen, X., Luo, A., Sato, K., Wakatsuki, T., & Masunaga, T. (2009). An introduction of a multi-soil-layering system: a novel green technology for wastewater treatment in rural areas. *Water and Environment Journal* (23), 255-262.
- Enríquez Poy, M. (25 de 02 de 2013). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 13 de 10 de 2014, de Comisión nacional para el uso eficiente de la energía: <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3714/2/artmanuelenriquez.pdf>
- FAO. (1 de 1 de 2015). *La Bioenergía en América Latina y el Caribe* (1 ed.). Santiago, La Bioenergía en América Latina y El Caribe: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Field, S., Ryden, P., Wilson, D., James, S., Roberts, I., Richardson, D., y otros. (2015). Identification of furfural resistant strains of *Saccharomyces cerevisiae* and *Saccharomyces paradoxus* from a collection of environmental and industrial isolates. *Biotechnology for Biofuels* (8).
- González, C. (enero de 2011). Empresas Socialmente Responsables. *Economía Informa* (366), 59-78.
- Heyer, R., Kohrs, F., Benndorf, D., Rapp, E., Kausmann, R., Heiermann, M., y otros. (2013). Metaproteome analysis of the microbial communities in agricultural biogas plants. *New Biotechnology*, 30(6), 614-622.
- Hove, M. (2012). Society 2.0: The challenges and consequences for science. *Wageningen Journal of Life Sciences* (59), 11-12.

- Huang, C., Miao, M., Jiang, B., Cui, S., Jia, X., & Zhang, T. (2015). Polysaccharides modification through green technology: Role of ultrasonication towards improving physicochemical properties of (1-3)(1-6)- α -D-glucans. *Food Hydrocolloids*, 50, 166-173.
- Mahjoubi, M., Jaouani, A., Guesmi, A., Ben, A., Jouini, A., Cherif, H., y otros. (2013). Hydrocarbonoclastic bacteria isolated from petroleum contaminated sites in Tunisia: isolation, identification and characterization of the biotechnological potential. *New Biotechnology*, 30(6), 723-733.
- Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A. (2015). *McKinsey Global Institute*. Recuperado el 8 de 6 de 2015, de McKinsey Global Institute: http://www.mckinsey.com/insights/business_technology/disruptive_technologies
- Ramos-de-la-Peña, A., Renard, C., Wicker, L., & Contreras-Esquivel, J. (2013). Advances and perspectives of *Pachyrhizus* spp. in food science and biotechnology. *Trends in Food Science & Technology* (29), 44-54.
- Rittmann, B. (2006). Microbial ecology to manage processes in environmental biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 24(6), 261-266.
- Simão, C., Reparaz, J., Wagner, M., Graczykowski, B., Kreuzer, M., Ruiz-Blanco, Y., y otros. (2015). Optical and mechanical properties of nanofibrillated cellulose: Toward a robust platform for next-generation green technologies. *Carbohydrate Polymers* (126), 40-46.
- UNESCO. (01 de 01 de 2014). Press Kit. *Science for the Twenty-First Century*. Recuperado el 07 de 07 de 2015, de <http://www.unesco.org/bpi/science/content/press/anglo/6.htm>
- Xia, D., Chen, B., & Zheng, Z. (2014). Relationships among circumstance pressure, green technology selection and firm performance. *Journal of Cleaner Production*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.081>.

Posibilidades de los biosurfactantes como ingredientes en formulaciones cosméticas

Prospect of biosurfactants as ingredient in cosmetic formulations

*Vecino, X.⁶² y ⁶³

Moldes, A.B.⁶³

Rodrigues, L.R.⁶²

Resumen

⁶²*CEB-Centro de Ingeniería Biológica, Universidad de Minho, Campus de Gualtar 4710-057 Braga, Portugal. *Contacto: xanel.vecino@ceb.uminho.pt; xanel.vecino@uvigo.es*

⁶³*Departamento de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Industrial (EEI), Universidad de Vigo, Campus As Lagoas-Marcosende 36310 Vigo-Pontevedra, España.*

En este capítulo se discute el gran potencial de los biosurfactantes en el sector de la industria cosmética y de productos relacionados con el cuidado personal. Los productos cosméticos entre los que se incluyen: champús, cremas, geles y maquillajes empleados en nuestra higiene cotidiana, tienen en muchos casos una composición química compleja, pudiendo inducir reacciones irritativas o incluso reacciones alérgicas, derivadas de la inclusión de determinados compuestos, como los detergentes sintéticos, en su formulación. Debido a esto existe hoy en día, por parte del consumidor, una tendencia a la búsqueda de productos cosméticos naturales o que tengan ingredientes de base natural como biosurfactantes, antioxidantes y/o vitaminas. Con estos compuestos naturales el consumidor espera obtener un producto de mejor calidad que repercuta positivamente en su calidad de vida. Los biosurfactantes son detergentes naturales sintetizados por microorganismos, entre los que se incluyen las bacterias lácticas, con gran potencial en la formulación de productos cosméticos dado su carácter saludable y biodegradable; de hecho mucho de estos biosurfactantes podrían tener carácter “prebiótico”. Así entre las ventajas principales de los biosurfactantes, en comparación con los tensoactivos sintéticos, destaca su bajo efecto irritante, mejores propiedades hidratantes, mejor compatibilidad con la piel, así como sus propiedades antimicrobianas, antitumorales y anti irritativas.

Abstract

This chapter discusses the huge potential of biosurfactants in the field of cosmetic industry and products related with personal care. Cosmetic products among which include: shampoos, creams, gels and makeup, used in our daily hygiene, have in many cases a complex chemical composition and may induce irritant reactions or even allergic reactions, resulting from the inclusion of certain compounds, such as synthetic detergents in their formulation. For this reason nowadays exist, by the consumer, a tendency to search for natural cosmetic products or having natural base ingredients as biosurfactants, antioxidants and / or vitamins. With these natural compounds the consumer expects to get a better quality product that has a positive impact on their life quality. In this sense, the biosurfactants are natural detergents synthesized by microorganisms, among lactic acid bacteria are included, with great potential in the formulation

of cosmetic products as its healthy and biodegradability; in fact much these biosurfactants could have “prebiotic” character. Therefore the main advantages of biosurfactants, compared with synthetic surfactants, highlights low irritant effect, better moisturizing properties, better compatibility with the skin and its antimicrobial, antitumor and anti irritant properties.

Introducción

La belleza y la piel perfecta a lo largo de la vida son indicadores importantes de la calidad de vida de muchas personas, por ello se prevé que la industria mundial de productos para el cuidado personal alcance aproximadamente 630 billones de dólares en el 2017. Durante 2006-2011, América del Norte fue la región de mayor crecimiento, siendo Europa la que dominó la industria cosmética con la mayor participación de mercado. Sin embargo, en los estudios actuales de mercado se pronostica que sea Asia Pacífico la que presencie el mayor crecimiento en este sector durante 2012-2017 (Global personal care products industry 2012-2017: Trend, Profit, and Forecast Analysis).

Los productos cosméticos engloban desde productos de higiene cotidiana tales como jabón, champú, desodorante o pasta de dientes hasta artículos de belleza de lujo que incluyen perfumes y maquillaje. Según la Comisión Europea en el Reglamento (CE) N° 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de noviembre de 2009, los productos cosméticos se definen como “toda sustancia o mezcla destinada a ser puesta en contacto con las partes superficiales del cuerpo humano (epidermis, sistema piloso y capilar, uñas, labios y órganos genitales externos) o con los dientes y las mucosas bucales, con el fin exclusivo o principal de limpiarlos, perfumarlos, modificar su aspecto, protegerlos, mantenerlos en buen estado o corregir los olores corporales”.

Los productos cosméticos están regulados a nivel europeo para garantizar la seguridad de los consumidores especificándose como mínimo: composición cuantitativa y cualitativa del producto cosmético; características fisicoquímicas y estabilidad del producto cosmético; calidad microbiológica; impurezas, trazas e información sobre el material de embalaje; uso normal y razonablemente previsible; exposición al producto cosmético; exposición a determinadas sustancias; perfil toxicológico de las sustancias; efectos no deseados y/o efectos graves no deseados, así como información sobre el producto cosmético (Reglamento (CE) N° 1223/2009).

La legislación de cosméticos a nivel de la Unión Europea (UE) también requiere que todos los productos que se comercializan en la UE deben estar registrados en el Portal de Notificación de Productos Cosméticos (CPNP) antes de ser puestos en el mercado. Por tanto en algunos casos se requiere que algunos productos cosméticos sean objeto de especial atención por parte de los reguladores por su complejidad científica o por un mayor riesgo para la salud de los mismos. La legislación Europea prohíbe la experimentación con animales para fines cosméticos, y hace que los países de la UE sean responsables de la vigilancia del mercado a nivel nacional.

El Portal Europeo de Notificación de Productos Cosméticos denominado CPNP, de sus siglas en inglés Cosmetic Products Notification

Portal, es un sistema en línea creado para la aplicación del Reglamento (CE) N° 1223/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre los productos cosméticos, cuya finalidad es facilitar que la industria cosmética presente a la Comisión Europea información sobre los productos que pone en el mercado europeo. Esta información es crucial tanto para los centros de toxicología, ya que así podrán tratar rápidamente las eventuales intoxicaciones, como para las autoridades nacionales, que podrán realizar un mejor control del mercado.

Cabe destacar que el hecho de que un cosmético se haya notificado debidamente en el CPNP no implica necesariamente que cumpla todos los requisitos del Reglamento (CE) N° 1223/2009.

La Comisión Europea (2006/257/CE) establece un inventario y una nomenclatura común de ingredientes empleados en los productos cosméticos para homogeneizar, a nivel internacional, la nomenclatura de los productos empleados en cosmética. La Nomenclatura Internacional de Ingredientes Cosméticos o INCI, por sus siglas en inglés International Nomenclature of Cosmetic Ingredients, es una lista de nombres ordenados alfabéticamente para aceites, ceras, colorantes, químicos y otros ingredientes de jabones, cosméticos, entre otros, basados en nombres científicos y otros lenguajes, como el latín e inglés. Los nombres INCI a menudo difieren de los nombres sistemáticos IUPAC o de referencias comunes. En España, la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios, en su página web recoge la lista de nombres INCI. Además, la Comisión Europea tiene una base de datos denominada CosIng que contiene información sobre cosméticos y sus ingredientes.

Importancia de los detergentes en la industria cosmética

Los surfactantes, detergentes o tensioactivos son ampliamente utilizados en cosmética ya que rebajan la tensión superficial de los cosméticos y ayuda a una mejor distribución del producto cuando se aplica (Comisión Europea 2006/257/CE).

La acción solubilizante, humidificante, espumante, dispersante son algunas de las funciones que presentan los surfactantes, siendo la función emulsionante probablemente la más importante para la formulación de cosméticos.

En la Tabla 1 se muestran, a modo de resumen, algunos ejemplos de surfactantes como ingredientes en diferentes formulaciones marco del CPNP.

Las cremas con mayor contenido de surfactantes (25%) en su formulación son las cremas con mucho contenido de agentes de carga y con mucho contenido de perfume, mientras que las relacionadas con mucho contenido de siliconas tienen menor porcentaje de detergentes (5%).

Así se observa que algunos jabones están constituidos hasta por un 40% de agentes tensoactivos, un porcentaje bastante elevado cuando se tratan de detergente sintéticos.

También contienen un porcentaje bastante elevado de detergentes (hasta un 30%) las espumas limpiadoras con mucho contenido en aceites o humectantes, así como los exfoliantes naturales a base de geles y cremas. También llama la atención que algunos rímeles están formulados hasta con un 50% de surfactantes.

Aplicación	Formulación marco	Tipo de surfactante	% máximo (peso/peso)
Cuidado de la piel	Crema, loción, gel (1.1-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
	Crema, loción, gel con mucho contenido de siliconas (1.2-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
	Crema, loción, gel con mucho contenido de humectantes (1.3-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	10
	Crema, loción, gel con mucho contenido de agentes de carga (1.4-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	25
	Crema, loción, gel con mucho contenido de compuestos grasos (1.5-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	15
	Crema, loción, gel con mucho contenido de filtros ultravioleta (1.6-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	15
	Crema, loción, gel con mucho contenido de perfume (1.7-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	25
	Crema a base de óxido de zinc (1.8-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	12
	Gel con base hidroalcohólica (1.9-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	6
	Aceite para la piel (1.10-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	10
	Agua tónica (1.12-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
	Exfoliante químico (1.13-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	25
Limpieza de la piel	Espuma limpiadora (2.1-2013)	Aniónico/Anfótero, No iónico	40/20
	Espuma limpiadora con mucho contenido de aceites o humectantes (2.2-2013)	Aniónico/Anfótero, No iónico	30/20
	Desmaquillantes-productos sin espuma (incluidos los productos de dos fases) (2.3-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	15
	Desmaquillantes-aceites de limpieza sin espuma (2.4-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	10
	Gel de limpieza suave (2.5-2013)	Aniónico/Anfótero, No iónico	20/15
	Crema, loción, producto para frotar, gel (2.6-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	25
	Exfoliante corporal (gel o crema) (2.7-2013)	Aniónico/Anfótero, No iónico	30/20

Tabla 1. Aplicaciones de surfactantes en formulaciones cosméticas marco (elaboración propia).

Uno de los surfactantes químicos más empleado e investigado en la formulación de productos cosméticos es el docedilsulfato sódico (SDS o NaDS), también conocido como laurilsulfato sódico (SLS). Sin embargo este tensioactivo aniónico causa problemas en la piel (Marrakchi y Maibach, 2006), por eso hoy en día se tiende a buscar surfactantes naturales como los biosurfactantes producidos por bacterias lácticas que no causen este tipo de irritaciones.

Aplicación	Formulación marco	Tipo de surfactante	% máximo (peso/peso)
	Jabón de baño (2.8-2013)	Anfótero/Aniónico	5
	Jabón líquido (2.9-2013)	Aniónico, Anfótero/No iónico	40/40
	Gel, crema, leche, pasta de ducha y baño (2.10-2013)	Aniónico/No iónico, Anfótero	25/20
	Crema, leche de ducha ligeramente espumante (2.11-2013)	Aniónico/No iónico, Anfótero	10/10
	Sales de baño / Cubos efervescentes (2.12-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	1
	Aceites de ducha y baño (incluidas las perlas de baño) (2.13-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	15
	Baños de pies (2.14-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	20
Depilación	Depilación física-cera a base de resina (3.2-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	10
Afeitado	Crema de afeitar (6.1-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
	Gel de afeitar (6.3-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	3
	Gel de afeitar (que se convierte en espuma) (6.4-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	10
	Espuma de afeitar en aerosol (6.5-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	15
	Jabón de afeitar en barra (6.6-2013)	No iónico	5
	Bálsamo para después del afeitado (6.7-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
Maquillaje	Base y color (líquido, crema, espuma) (7.1-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
	Polvos faciales (7.6-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	3
	Lápiz de ojos (7.18-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
	Rímel (polvo prensado) (7.24-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	50
	Brillo corporal (7.25-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	0.5
Perfumes	Aceite corporal perfumado (8.4-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	5
Autobronceadores	Crema o loción autobronceadoras (9.6-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	20

Aplicación	Formulación marco	Tipo de surfactante	% máximo (peso/peso)
Cuidado del cabello y del cuero cabelludo	Champú (líquido, crema, pasta) (10.1-2013)	Aniónico/ Anfótero/No iónico/Catiónico	30/20/15/5
	Champú con acondicionador (10.3-2013)	Aniónico/ Anfótero/No iónico/ Catiónico	20/20/20/5
	Acondicionador de cabello (10.4-2013)	Anfótero/Catiónico	15/5
	Loción bifase (10.7-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	3
Para teñir el pelo	Tinte capilar (temporal), champú (11.1-2013)	Aniónico/ Anfótero/No iónico/Catiónico	30/20/15/5
	Tinte capilar (temporal), espuma o loción (11.2-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico/ Catiónico	10/0.2
	Tinte capilar (temporal o semipermanente) líquido, crema, espuma (11.3-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico/ Catiónico	10/5
	Tinte capilar (permanente, oxidante); Tipo 1: dos componentes- parte colorante (11.4-2013)	Aniónico/No iónico/Anfótero/ Catiónico	20/20/20/5
	Tinte capilar (permanente, oxidante); Tipo 1: dos o tres componentes- parte oxidante (11.8-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	20
	Productos de peinado	Crema o pasta de peinado (goma, pomada, pasta, cera, etc.) (12.1-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico
Loción de peinado (12.3-2013)		Aniónico, Anfótero, No iónico	3
Loción fijadora (también para el cabello teñido) (12.4-2013)		Aniónico, Anfótero, No iónico	2
Brillo para el pelo o gel de peinado (12.5-2013)		Aniónico, Anfótero, No iónico	5
Espuma para el pelo (12.6-2013)		Catiónico/No iónico	5/5
Alisador de pelo (relajante)-Tipo 1 (12.18-2013)		Aniónico, Anfótero, No iónico	15
Higiene dental	Dentífricos (16.1-2013)	Aniónico	6
Colutorios o pulverizador bucales	Colutorios bucales (17.1-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	3
	Colutorios bucales (concentrados) (17.2-2013)	Aniónico, Anfótero, No iónico	2

Potencial de los detergentes naturales en el campo cosmético

Los biosurfactantes se plantean en este capítulo como posible ingrediente natural y biocompatible en las formulaciones cosméticas. Los biosurfactantes presentan las mismas funciones que los surfactantes sintetizados por vía química dentro del producto cosmético (emulsionante, solubilizante, etc) con la ventaja de que son más biodegradables, menos tóxicos, con actividad específica a pH, temperatura y salinidad, etc.

Los biosurfactantes en función de su estructura química son generalmente clasificados como glucolípidos, lipopéptidos, fosfolípidos, ácidos grasos y compuestos poliméricos. De entre los biosurfactantes glucolípidos, los más empleados en cosméticos y en productos de cuidado personal son los ramnolípidos, soforolípidos y lípidos de manosil-eritritol conocidos como MELs (Lourith y Kanlayavattanakul, 2009).

Los biosurfactantes son producidos biotecnológicamente a partir de microorganismos (bacterias, levaduras y hongos). Una de las especies bacterianas más utilizadas para la producción de biosurfactantes son las bacterias ácido lácticas (LAB), por sus siglas en inglés Lactic Acid Bacteria (Velraeds y col., 1996a, 1996b; Moldes y col., 2007).

Las LAB son un grupo muy heterogéneo de microorganismos de compleja taxonomía, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactococcus*, y *Streptococcus* así como los *Lactobacillales Aerococcus*, *Carnobacterium*, *Enterococcus*, *Oenococcus*, *Teragenococcus*, *Vagococcus*, y *Weisella*, aunque el género más importante y heterogéneo de bacterias lácticas es el *Lactobacillus*.

Además, las LAB están reconocidas, por la Administración de Alimentos y Drogas de los Estados Unidos (FDA), como microorganismos saludables, GRAS (Generally Recognized As Safe), algunas de las cuales tienen propiedades probióticas.

Gudiña y col. (2010) investigaron las propiedades antimicrobianas y antiadhesivas de un biosurfactante producido por *Lactobacillus paracasei*. Los resultados obtenidos abren la perspectiva de futuro para su uso contra microorganismos responsables de enfermedades e infecciones en las vías urinarias, vaginales y gastrointestinales, así como en la piel, siendo una alternativa interesante a los antibióticos convencionales.

Vecino y col. (2015) también estudiaron la capacidad del biosurfactante glicolipopéptido producido por *Lactobacillus pentosus* para emulsionar aceite de romero en comparación con un surfactante químico, el polisorbato 20. Los resultados obtenidos con el biosurfactante dieron lugar a emulsiones más estables y mayores volúmenes de emulsión en comparación con el surfactante químico.

Los biosurfactantes que no proceden de bacterias lácticas también son empleados en cosmética. Como por ejemplo, los MELs, los cuales tienen excelentes propiedades para ser aplicados en cosmética, ya que pueden activar los fibroblastos y las células papilares provocando un efecto protector en las células de la piel e hidratando la piel seca, entre otras (Morita y col., 2009, 2010; Yamamoto y col., 2012).

Masaru y col. (2007) también emplearon los MELs como ingredientes en productos cosméticos con el fin de evitar la rugosidad de la piel.

Además, cosméticos que contienen ramnolípidos han sido patentados y se han utilizado para potenciar el efecto antiarrugas en productos antienvjecimiento (Piljac T. y Piljac G., 1999).

Conclusiones

La búsqueda de nuevos ingredientes que sean saludables y biocompatibles con el medioambiente y con el ser humano hace que los consumidores presten especial atención a la cosmética natural. A pesar de que los biosurfactantes poseen muchas propiedades comerciales atractivas y claras ventajas en comparación a sus homólogos sintéticos, la producción de biosurfactantes a gran escala no compite, de momento, con los surfactantes químicos debido a sus bajos rendimientos y altos costes de producción. A pesar de ello en los últimos años se ha observado un auge en la industria cosmética de incorporación de nuevos ingredientes en productos cosméticos de base natural. Es por ello que la producción y purificación de biosurfactantes constituye un campo con gran potencial de crecimiento, a tener en cuenta conjuntamente con la industria cosmética y de productos relacionados con la higiene personal.

Agradecimientos

Xanel Vecino quiere dar las gracias a la Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT, Portugal) por su bolsa de Pós-Doutoramento (SFRH/BPD/101476/2014).

Bibliografía

- Decisión de la Comisión de 9 de febrero de 2006 (2006/257/CE) que modifica la Decisión 96/335/CE, por la que se establece un inventario y una nomenclatura común de ingredientes empleados en los productos cosméticos.
- Global Personal Care Products Industry 2012-2017: Trend, Profit, and Forecast Analysis. Published: 2012.
- Gudiña, E.J., Rocha, V., Teixeira, J.A., y Rodrigues, L.R.(2010). Antimicrobial and antiadhesive properties of a biosurfactant isolated from *Lactobacillus paracasei* ssp. *paracasei* A20. *Letters in Applied Microbiology*, 50, 419-424.
- Lourith N., y Kanlayavattanukul M. (2009). Natural surfactants used in cosmetics: glycolipids. *International Journal of Cosmetic Science*, 31, 255-261.
- Manual de usuario (artículo 13) del Portal de Notificación de Productos Cosméticos, (2013).
- Marrakchi S., y Maibach HI. (2006). Sodium lauryl sulfate-induced irritation in the human face: regional and age-related differences. *Skin Pharmacology Physiology*, 19, 177-180.
- Masaru K., Michiko S., y Shuhei Y. (2007). Skin care cosmetic and skin and agent for preventing skin roughness containing biosurfactants (World Patent 2007/060956). Toyo Boseki Kabu Shiki Kaisha and National Industrial Science and Technology, Osaka, Japan.

- Moldes A.B., Torrado A., Barral M.T., y Domínguez J.M. (2007). Evaluation of biosurfactant production from various agricultural residues by *Lactobacillus pentosus*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55, 4481- 4486.
- Morita, T., Kitagawa, M., Suzuki, M., Yamamoto, S., Sogabe, A., Yanagidani, S., Imura, T., Fukuoka, T., Kitamoto, D. (2009). A yeast glycolipid biosurfactant, mannosylerythritol lipid, shows potential moisturizing activity toward cultured human skin cells: The recovery effect of MEL-a on the SDS-damaged human skin cells. *Journal of Oleo Science*, 58, 639-642.
- Morita, T., Kitagawa, M., Yamamoto, S., Suzuki, M., Sogabe, A., Imura, T., Fukuoka, T., Kitamoto, D. (2010). Activation of fibroblast and papilla cells by glycolipid biosurfactants, mannosylerythritol lipids. *Journal of Oleo Science*, 59, 451-455.
- Piljac T., y Piljac G. (1999). Use of rhamnolipids in wound healing, treating burn shock, atherosclerosis, organ transplants, depression, schizophrenia and cosmetics (European Patent 1 889 623). Paradigm Biomedical Inc., New York.
- Reglamento (CE) N° 1223 / 2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de noviembre de 2009 sobre los productos cosméticos.
- Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2015). Optimization of extraction conditions and fatty acid characterization of *Lactobacillus pentosus* cell-bound biosurfactant/bioemulsifier. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95, 313-320.
- Velraeds M.M.C., Van Der Mei H.C., Reid G., y Busscher H.J. (1996a). Inhibition of initial adhesion of uropathogenic *Enterococcus faecalis* by biosurfactants from *Lactobacillus* isolates. *Applied and Environmental Microbiology*, 62, 1958-1963.
- Velraeds M.M.C., Van Der Mei H.C., Reid G., y Busscher, H.J. (1996b). Physicochemical and biochemical characterization of biosurfactants released by *Lactobacillus* strains. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 8, 51-61.
- Yamamoto, S., Morita, T., Fukuoka, T., Imura, T., Yanagidani, S., Sogabe, A., Kitamoto, D., Kitagawa, M. (2012). The moisturizing effects of glycolipid biosurfactants, mannosylerythritol lipids, on human skin. *Journal of Oleo Science*, 61, 407-412.

Nuevas posibilidades para los licores de lavado de maíz: fuente de biosurfactantes

New corn steep liquor possibilities: a biosurfactant resource

*Vecino X⁶⁴

Perez-Ameneiro M.

Cruz J.M.

Moldes A.B.

Resumen

⁶⁴*Departamento de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Industrial (EEI), Universidad de Vigo, Campus As Lagoas-Marcosende. 36310 Vigo-Pontevedra, España. *Contacto: xanel.vecino@uvigo.es*

Los residuos agro-industriales han sido un foco de interés para muchos investigadores a nivel mundial desde hace varias décadas, debido a que parte de sus constituyentes pueden ser utilizados como materia prima en la generación de diversos productos de interés comercial. Además de la ventaja competitiva que supone desarrollar productos con mayor valor añadido, la utilización de residuos y sub-productos agro-industriales favorece la preservación del medio ambiente al impulsar el desarrollo de tecnologías orientadas hacia una transformación sostenible de los recursos naturales. En este sentido, los licores de lavado de maíz (CSL) son una corriente agro-industrial obtenida durante el procesado del maíz por vía húmeda para la obtención de harina. Su aplicación hasta el momento se había basado, principalmente, bien en su utilización como fuente de nitrógeno de bajo coste en procesos fermentativos o bien como suplemento para piensos. En este capítulo se realiza una revisión acerca de la revalorización de estos licores como precursores de biosurfactantes.

Abstract

In the last decades, agro-industrial wastes have been in the spotlight worldwide, in the research field, since part of their components can be used as raw material to produce diverse products of commercial interest. Besides the competitive edge derived from the development of value-added products, the utilization of agro-industrial waste and by-products has other advantages. It favours the preservation of the environment by encouraging the development of technologies oriented to the sustainable transformation of natural resources. In this way, corn steep liquor (CSL) is an agro-industrial stream from the corn wet milling industry, obtained during the extraction of flour. Until now, the most common applications for this residue are based whether on the utilization of these liquors as low-cost nitrogen source in fermentative processes or as supplement for animal feed. Thus, this chapter presents a revision of the revalorization of these liquors as a biosurfactant precursor.

Introducción

Los cereales son la fuente de alimento más importante para el consumo humano. De los aproximadamente 3 300 millones de toneladas de cereales que se producen en la actualidad, aproximadamente 1 500 millones de toneladas se destinan a uso alimentario, 1 100 millones de toneladas se emplean como alimento para animales, y los restantes 750 millones de toneladas se procesan en el sector industrial. China fue el mayor productor de cereales en el año 2013, a nivel mundial, con 554, 61 millones de t; seguida por Estados Unidos, con 436 55 millones de t, e India, con 296 94 millones de t (FAOSTAT, 2015). En EU, la superficie destinada al cultivo de cereal es de 57 62 millones de ha. La producción de cereales en España, cuya superficie de cultivo se cifra en 6 26 millones de ha, es de 25 23 millones de t (Eurostat, 2015, FAOSTAT, 2015).

Las principales especies de cereales cultivadas son arroz, maíz, trigo, avena, sorgo, centeno, cebada y mijo.

Entre ellos, en este capítulo, se prestará principal atención al maíz.

Maíz

Según la Federación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA), el maíz se utiliza principalmente en grano, aunque hay una cantidad significativa (del orden del 10%) que se destina a distintos usos industriales (bebidas, alimentos elaborados, farmacia, papel, textil, adhesivos, etc.). Existen dos procedimientos para el fraccionamiento del maíz: por vía seca (25%) o por vía húmeda (75%). Aplicando el primer método, es posible dividir el grano en sus componentes anatómicos (endospermo, salvado y germen), mientras que el segundo se usa para separarlo en sus componentes químicos (almidón, proteína, aceite y fibra) (FEDNA). Por vía seca se obtienen la harina zootécnica, el germen y la harina flor. Sin embargo, por vía húmeda, se obtienen el almidón y varios co-productos, entre los que están el germen, el gluten, la fibra y los licores de maíz (Ramírez y col., 2008).

Licores de lavado de maíz

En el fraccionamiento del maíz, por vía húmeda, una de las etapas clave para la obtención de los licores de lavado de maíz es la etapa de maceración. El objetivo de esta operación es facilitar el proceso de separación debilitando el núcleo, aumentando la humedad de los granos y eliminando la materia soluble. Es un proceso muy importante del que depende la eficiencia total de la molienda húmeda. Diversos microorganismos, especialmente el *Lactobacillus*, contribuyen a la fermentación del extracto de maíz a lo largo de todo el proceso de maceración (Hull y col., 1996).

En la práctica, la maceración se realiza en un proceso semicontinuo y a contracorriente, donde el maíz que entra en el sistema está empapado en una disolución más diluida de SO₂, mientras que el maíz que ya se encontraba en el interior se remoja en un agua de maceración más concentrada. Los granos no se mueven, pero el agua de maceración se transfiere desde distintos tanques, pasando del maíz más macerado hacia el menos macerado. El agua que se utiliza en esta operación no es fresca, sino que proviene de otras etapas.

Durante el proceso, la mayoría de los sólidos solubles son eliminados y arrastrados por el agua de maceración. Este agua, que son extractos fermentados y condensados con alto contenido en proteínas y azúcares reductores, también se denomina licor de lavado de maíz (“corn steep liquor”). Tiene una concentración de sólidos de un 50%, y a menudo se mezcla con fibra de maíz y se seca para producir alimento para animales (Ramirez y col., 2008).

Composición de los licores de lavado de maíz (CSL)

El CSL es una corriente agro-industrial cuya composición puede depender en cierto modo del tipo y estado del maíz, pero, sobre todo, de la multitud de variables que intervienen en el procesado del almidón. En general, el CSL tiene un pH entre 3,7 y 4,1 debido, inicialmente, a la presencia de SO₂ y, posteriormente, al ácido láctico, producto de la fermentación (Wright, 1987). Está formado por compuestos complejos tales como hidratos de carbono, aminoácidos, péptidos, compuestos de nitrógeno no proteicos, ácidos orgánicos, ácidos grasos, metales pesados e iones inorgánicos (Hull y col., 1996; Winston y Koffler, 1948).

En la Tabla 1 se recogen, a modo de resumen, las composiciones de distintos lotes de CSL recogidos en la literatura (elaboración propia).

De entre los componentes del CSL anteriormente citados destacan el agua, los sólidos, las proteínas, el ácido láctico y las cenizas, siendo la fibra y la grasa los constituyente minoritarios. Las cenizas engloban elementos tales como Al, Ca (0,5-1,5%), Cd, Cu (0- 0,001%), Fe (0,01-0,05%), Pb, Mg (0,004%), Mn, Mo, P (2-3%), K (1-2%), S (0,34%) y Zn (0,005%) (Winston y Koffler 1948; Keller y Heckman, 2006).

Tabla 1: Composición general del CSL

Referencias	Componentes (%)
Winston y Koffler, 1948	Agua (45-55); nitrógeno total (2,7-4,5); aminoácidos (1,0-1,8); nitrógeno volátil (0,15- 0,40); glucosa (0,1-11,0); ácido láctico (5-15), ceniza (9-10); ácido acético (0,1-0,3) y SO ₂ (0,009-0,015)
Anon, 1975	Sólidos (40-50); proteínas (25-40); vitaminas (964,13 mg/g); minerales (8,0)
Zabriskie y col., 1982	Sólidos (50,0); hidratos de carbono (5,8); proteínas (24,0); grasa (1,0); fibra (1,0); vitaminas (0,38 mg/g); minerales (8,8)
Keller y Heckman, 2006	Ceniza (17,0); proteína (47,0); grasa (0,4); ácido láctico (26,0); nitrógeno (7,5); ácido fitico (7,8); glucosa (2,5); agua (46,0)

Interés y aplicación industrial de los licores de lavado de maíz

Una de las aplicaciones más importante de los licores de lavado de maíz es en microbiología, como suplemento de minerales y proteínas. En la industria

fermentativa el CSL es ampliamente empleado como fuente low-cost de nitrógeno en los procesos biotecnológicos. El precio del CSL es de 0,5\$/kg, mucho menor en comparación con otros medio orgánicos usados como fuentes de nitrógeno, como la peptona y el extracto de levadura, cuyo precio alcanza los 2,8-4,5\$/kg y 1,9-2,35\$/kg, respectivamente. Es importante considerar estos valores al producir metabolitos de interés a nivel industrial mediante procesos fermentativos, ya que los medios fermentativos suponen, en muchos casos, hasta el 30% del coste de producción.

En la Tabla 2, se muestran algunos ejemplos en donde se empleó el CSL como suplemento nutricional en distintas fermentaciones, así como el producto de interés obtenido.

Producto	Microorganismo	Referencias
Ácido láctico	<i>Lactobacillus Delbrueckii</i> NRRL B445	Téllez y col., 2003
	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> CECT-288	Salgado y col., 2009
	<i>Lactobacillus coryniformis</i> CECT 4129T	Bustos y col., 2004
	<i>Escherichia coli</i> HBUT-D	Wang y col., 2013
	<i>Bacillus subtilis</i> MUR1	Ting y Kwok-Ping, 2013
	<i>Lactobacillus pentosus</i> CECT-4023 T	Bustos y col., 2007
Ácido cítrico	<i>Aspergillus niger</i> NRRL Y-7426	Salgado y col., 2009
Ácido succínico	<i>Actinobacillus succinogenes</i> Nj113	Xi y col., 2013
Pululano	<i>Aureobasidium pullulans</i> RBF 4A3	Sharma y col., 2013
Transglutaminasa	<i>Streptomyces mobaraensis</i> CECT 3230	Guerra-Rodríguez y col., 2013
Etanol	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> GLBRCY128	Sarks y col., 2014
	<i>Alkalibaculum bacchi</i> CP15	Liu y col., 2014
	<i>Clostridium ragsdalei</i> PTA-7826	Saxena y col., 2012
Xilitol	<i>Debaryomyces hansenii</i> NRRL Y-7426	Salgado y col., 2009
Biosurfactantes	<i>Candida lipolytica</i> UCP0988	Santos y col., 2013
	<i>Lactobacillus pentosus</i> CECT-4023 T	Bustos y col., 2007

Tabla 2. Aplicaciones del CSL para la obtención de productos de interés en procesos biotecnológicos (elaboración propia).

Licores de lavado de maíz: fuente de biosurfactantes

Extracción del biosurfactante procedente de los licores de lavado de maíz

Vecino y col. (2014a, 2014b, 2014c, 2015), en base al conocimiento de la presencia de bacterias lácticas en esta corriente, recientemente evaluaron y patentaron los licores de lavado de maíz como fuente para la obtención de biosurfactantes de bajo coste y propusieron un proceso para la extracción y caracterización de estos compuestos tensioactivos. Para extraer el biosurfactante de los licores de lavado de maíz, han evaluado diferentes extractantes, como cloroformo, acetato de etilo, metil tert-butil éter, triclorometano, hexano, heptano y diclorometano. Además, los autores han empleado los licores de lavado de maíz a la concentración micelar crítica (CMC) y una relación CSL:extractante de 1:10 (*v/v*) durante 4 h a temperatura ambiente (25° C) y con una velocidad de agitación de 150 rpm. Han observado que el cloroformo, el metil tert-butil éter y el diclorometano proporcionan los porcentajes de extracción más cercanos al 100%, seleccionando el cloroformo como extractante óptimo (Vecino y col., 2014a).

Sin embargo, considerando un posible escalado a nivel industrial, los autores han optimizado el proceso de extracción del biosurfactante a partir de estos licores. Partieron de una concentración de CSL de 15 g/L, utilizando cloroformo como extractante. Además, la extracción fue realizada en discontinuo, en un agitador orbital con una velocidad de agitación de 200 rpm, durante 200 min, empleando diferentes relaciones disolvente/CSL (2, 1,25 y 0,5 *v/v*) y a diferentes temperaturas (30,5; 39; 47,5 y 56° C). Tras la extracción, la fase orgánica con el biosurfactante ha sido sometida a un proceso de destilación en rotavapor y el extracto de biosurfactante ha sido redisolto en agua. Los rendimientos óptimos de extracción de biosurfactante obtenidos, utilizando una relación cloroformo/CSL 2 (*v/v*) a 56° C durante 60 min, ha sido de 12 g de extracto de biosurfactante por cada kg de CSL (Vecino y col., 2015).

Caracterización del biosurfactante procedente de los licores de lavado de maíz

Los autores han caracterizado el biosurfactante procedente del CSL mediante métodos estandarizados para la determinación de hidratos de carbono, proteínas y lípidos, empleando el método fenol-sulfúrico, método de Lowry, y método de Folch, respectivamente. Los análisis bioquímicos revelaron que el biosurfactante extraído de los licores de lavado de maíz, está compuesto por un 21,9% de proteínas y un 64,2% de lípidos. Además, han identificado diferentes grupos funcionales mediante espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR), verificando que el biosurfactante procedente de los licores de maíz es un lipopéptido. Asimismo, los autores han caracterizado la cadena lipídica que forma parte del biosurfactante mediante cromatografía de gases acoplada a un detector de masas (CG-MS), observando que el biosurfactante está compuesto por ácidos grasos C16 y C18, siendo el ácido linolelaídico (50-55,2%) el más abundante. La concentración micelar crítica (CMC) del extracto de biosurfactante, que ha sido determinada mediante medidas de tensión superficial empleando el método de placa de Wilhelmy, es de 399,4 mg/L.

Evaluación de los licores de lavado de maíz como fuente de nitrógeno una vez extraído el biosurfactante

Los autores además evaluaron los licores de lavado de maíz, ya exentos de biosurfactante, como suplemento nutricional para bacterias lácticas. Para ello llevaron a cabo una fermentación con bacterias lácticas (*Lactobacillus pentosus*) partiendo de 30 g/L de glucosa y utilizando como suplemento nutricional el CSL exento de biosurfactante. La fermentación la han realizado a cabo en un agitador orbital a 150 rpm y 31° C. Para controlar el pH de la fermentación han añadido al comienzo de la misma 30 g/L de CaCO₃ que les permite neutralizar la producción de ácido láctico. A modo comparativo también han realizado dos fermentaciones más, en las mismas condiciones que las anteriores, una con el medio general de *Lactobacillus* (MRS broth) y otra empleando el CSL habitual (sin haberle extraído el biosurfactante).

No han observado diferencias significativas para las fermentaciones llevadas a cabo con el CSL habitual y el CSL tras la extracción del biosurfactante. Con respecto, a la producción máxima de ácido láctico fue sobre 26 g/L para las tres fermentaciones llevadas a cabo en presencia de MRS broth, CSL habitual y el CSL exento de biosurfactante respectivamente.

Conclusiones

En este capítulo se demuestra la efectividad de la revalorización de los licores de lavado de maíz mediante la obtención de biosurfactantes realizando una extracción líquido-líquido con cloroformo (1:2 *v/v*) a 56° C durante 1h. Asimismo, se muestra que los biosurfactantes obtenidos de los licores de lavado de maíz son económicamente competitivos en comparación a los surfactantes químicos ya que su producción no requiere ningún proceso fermentativo. Tras la evaluación de los licores de lavado de maíz como medio nutricional para la producción de ácido láctico con *Lactobacillus pentosus*, se ha observado que los CSL exentos de biosurfactante pueden seguir siendo comercializándose como medio nutricional en procesos fermentativos.

Bibliografía

- Anon. (1975). Properties and uses of feed products from corn wet-milling operations. Washington, DC: Corn Refiners Association Inc.
- Bustos, G., de la Torre, N., Moldes A.B., Cruz, J. M., y Domínguez, J. M. (2007). Revalorization of hemicellulosic trimming vine shoots hydrolyzates trough continuous production of lactic acid and biosurfactants by *L. pentosus*. *Journal of Food Engineering*, 78, 405-412.
- Bustos, G., Moldes, A.B., Alonso, J. L., y Vázquez, M. (2004). Optimization of D-lactic acid production by *Lactobacillus coryniformis* using response surface methodology. *Food Microbiology*, 21, 143-148.
- Eurostat. (2015). Cereals, area. Accesible en: ec.europa.eu/eurostat.
- FAOSTAT (2015). Base de datos sobre estadísticas de producción de cereales World Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2013.

- Guerra-Rodríguez, E., y Vázquez, M. (2013). Technical and economical evaluation of microbial transglutaminase production on enzymatic hydrolysates of potato (*Solanum tuberosum*). *CyTA-Journal of Food*, 11, 277-284.
- Hull, S.R., Yang, B.Y., Venzke, D., Kulhavy, K., y Montgomery, R. (1996). Composition of corn steep water during steeping. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 1857-1863.
- Keller, y Heckman, L.L.P. (2006). Assessment Plan for Corn Steep Liquor (CAS #66071-94-1) in Accordance with the USEPA High Production. Washington, DC: Corn Refiners Association Inc.
- Liu, K., Atiyeh, H.K., Stevenson, B.S., Tanner, R.S., Wilkins, M.R., y Huhnke, R.L. (2014). Continuous syngas fermentation for the production of ethanol, n-propanol and n-butanol. *Bioresource Technology*, 151, 69-77.
- Ramirez, E.C., Johnston, D.B., McAloon, A.J., Yee, W., y Singh, V. (2008). Engineering process and cost model for a conventional corn wet milling facility. *Industrial Crops and Products*, 27, 91-97.
- Salgado, J.M., Rodríguez, N., Cortés, S., y Domínguez, J.M. (2009). Development of Cost-Effective Media to Increase the Economic Potential for Larger-Scale Bioproduction of Natural Food Additives by *Lactobacillus rhamnosus*, *Debaryomyces hansenii*, and *Aspergillus niger*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 10414-10428.
- Santos, D.K.F., Rufino, R.D., Luna, J.M., Santos, V.A., Salgueiro, A.A., y Sarubbo, L.A. (2013). Synthesis and evaluation of biosurfactant produced by *Candida lipolytica* using animal fat and corn steep liquor. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 105, 43-50.
- Sarks, C., Jin, M., Sato, T.K., Balan, V., y Dale, B.E. (2014). Studying the rapid bioconversion of lignocellulosic sugars into ethanol using high cell density fermentations with cell recycle. *Biotechnology for Biofuels*, 7, 1-12.
- Saxena, J., y Tanner, R.S. (2012). Optimization of a corn steep medium for production of ethanol from synthesis gas fermentation by *Clostridium ragsdalei*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 1553-1561.
- Sharma, N., Prasad, G.S., y Choudhury, A.R. (2013). Utilization of corn steep liquor for biosynthesis of pullulan, an important exopolysaccharide. *Carbohydrate Polymers*, 93, 95-101.
- Téllez, L.S.J., Moldes, A.B., Alonso, J.L., y Vázquez, M. (2003). Optimization of Lactic Acid Production by *Lactobacillus delbrueckii* through Response Surface Methodology. *Food Microbiology and Safety*, 68, 1454-1458.
- Ting, G., y Kwok-Ping, H. (2013). L-Lactic acid production by *Bacillus subtilis* MUR1 in continuous culture. *Journal of Biotechnology*, 168, 646-651.
- Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M., y Moldes, A.B. (2014a). Study of the surfactant properties of aqueous stream from the corn milling industry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 5451-5457.
- Vecino Bello, X., Devesa Rey, R., Cruz Freire, J.M., y Moldes Mendiña, A.B. (2014b). Aplicación de licores de lavado de maíz ("corn steep liquor") como surfactante. ES 2.424.399 (CI. B09C1/00 (2006.01)), 13 Enero 2014. Solicitud 201.200.330, 27 Marzo 2012. 9 p.

- Vecino Bello, X., Devesa Rey, R., Cruz Freire, J.M., y Moldes Menduña, A.B. (2014c). Procedimiento de separación de los surfactantes presentes de licores de lavado de maíz y usos. ES 2.435.324 (CI. B01F17/00, C02F1/26, C09K3/32, B09C1/00, A23L1/035, A61K8/97, A61K36/899, C02F103/26, C02F103/32 (2006.01)), 14 Abril 2014. Solicitud 201.100.649, 18 Junio 2012. 9 p.
- Vecino, X., Barbosa-Pereira, L., Devesa-Rey, R., Cruz, J.M. y Moldes, A.B. (2015). Optimization of liquid-liquid extraction of biosurfactants from corn steep liquor. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. DOI 10.1007/s00449-015-1404-9.
- Wang, Y., Li K., Huang, F., Wang, J., Zhao, J., Zhao, X., Garza, E., Manow, R., Grayburn, S. y Zhou, S. (2013). Engineering and adaptive evolution of *Escherichia coli* for L-lactic acid fermentation from molasses and corn steep liquor without additional nutrients. *Bioresource Technology*, 148, 394- 400.
- Winston, L.R., y Koffler, H. (1948). Corn Steep Liquor in Microbiology. *Bacteriological Reviews*, 12, 297-311.
- Wright, K.N. (1987). Nutritional properties and feeding value of corn and its byproducts. En: Watson, S.A., y Ramstad, P.E. (Eds.), *Corn: Chemistry and Technology* (pp. 447-478). St. Paul, MN: Amer. Assoc. of Cereal Chemists.
- Xi, Y.L., Chen, K.Q., Dai, W.Y., Ma, J.F., Zhang, M., Jiang, M., Wei, P., y Ouyang, P.K. (2013). Succinic acid production by *Actinobacillus succinogenes* NJ113 using corn steep liquor powder as nitrogen source. *Bioresource Technology*, 136, 775-779.
- Zabriskie, D.W., Armiger, W.B, Phillips, D.H., y Albano, P.A. (1982). Traders Guide to Fermentation Media Formulation. Memphis, TN: Traders Protein.

El agave tequilero: una perspectiva de aprovechamiento biotecnológico

Tequila agave: a biotechnological use perspective

*Ma. Guadalupe Bustos Vázquez⁶⁵
Nadia A. Rodríguez Durán
Alfredo del Ángel del Ángel
Nubia R. Rodríguez Durán
José Luis González Castillo

Resumen

⁶⁵Unidad Académica Multi-disciplinaria Mante, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Blvd. Enrique Cárdenas González 1201 poniente, Col., Jardín. CP. 89840, Cd. Mante, Tamaulipas., *Contacto: gbus-tos@uat.edu.mx

Este estudio presenta un análisis sobre el aprovechamiento biotecnológico del agave y el uso alternativo de los residuos generados durante su procesamiento. Los agaves, o magueyes, son algunas de las plantas más famosas del paisaje mexicano especialmente en las zonas áridas y semiáridas, ya que están consideradas como especies clave tanto por su abundancia como por la cantidad de recursos que proporcionan a otros organismos. En México, los agaves han tenido gran importancia económica y cultural para numerosos pueblos indígenas y mestizos, que los han aprovechado durante siglos como fuente de alimentación, bebidas, medicinas, combustible, cobijo, ornato, fibras duras extraídas de las hojas (ixtle), abono, construcción de viviendas y elaboración de implementos agrícolas. Este análisis se hizo a través de fuentes bibliográficas y resultados obtenidos de proyectos realizados por integrantes del equipo de investigación. El objetivo de este trabajo es difundir la importancia del uso de los residuos de la industria tequilera mediante su transformación biotecnológica proporcionando un valor agregado al cultivo bajo la perspectiva de que su uso representa una alternativa para la obtención de productos de gran importancia comercial.

Abstract

In this study, we present an analysis on the biotechnological use of agave, and the alternative use of waste generated during its processing. The agaves or magueyes cactus are some of the most famous plants of the Mexican landscape especially in arid and semiarid zones, as they are considered as key species by both, their abundance and amount of resources they provide to other organism. In Mexico, agaves have had a great economic and cultural significance for many indigenous and mestizo people, who have used them for centuries as a source of food, beverage, medicine, fuel, shelter, ornamentation, hard fibers extracted from the leaves fertilizer, hous building, and manufacturing of agricultural implements. This analysis was done through literature sources and results of projects carried out by members of the research team. The objective of this work is to show the importance of use of the waste of the tequila industry through its biotechnological transformation by providing added value to the culture under the prospect of their use represents an alternative for obtaining products of great commercial importance.

Introducción

Género Agave

Los agaves fueron una de las primeras plantas aprovechadas por los pobladores de Mesoamérica. Haciendo a México su principal centro de cultivo y diversificación, nuestros antepasados los escogían por sus fibras, aguamiel o las altas cantidades de azúcar que les proporcionaba (en náhuatl se denominaría *mexcalli*, es decir el tallo y las bases de las hojas “cabezas” cocidos). Es por esto que los agaves no solo tienen su máxima expresión de diversidad morfológica, filogenética y evolutiva en México, sino también cultural, ya que los seres humanos que lo han poblado han sabido aprovechar al máximo los beneficios que producen (García Mendoza, 2007).

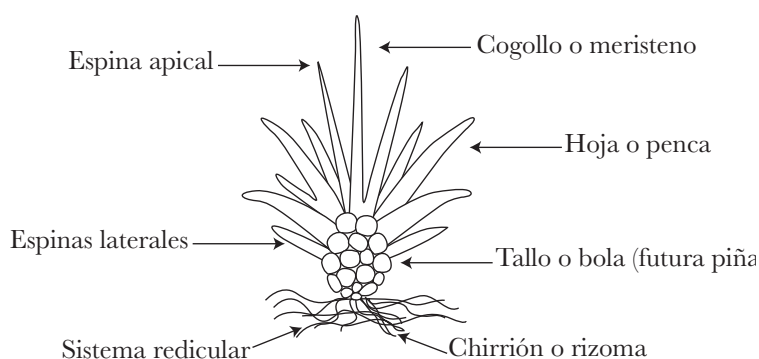


Figura 1. Morfología del agave.
(Fuente: Academia Mexicana del Tequila A.C.)

En griego, agave, *agavus* significa “admirable”, y fue a partir de la especie *Agave americana* que Carlos Linneo describió el género en 1753. Existen diferentes especies de agave entre las que destacan: *Agave angustifolia* Haw (Maguey espadín), *Agave esperima Jacobi* (Maguey de cerro), *Agave weberi* Cels (Maguey de mezcal), *Agave potatorum* Zucc (Maguey de mezcal), *Agave salmiana* Ottoex Salm *ssp.*, (maguey verde o mezcalero) (Ibarra et al., 2010).

Los agaves son plantas perennes con hojas dispuestas en espiral y arregladas en rosetas en el ápice de un tallo, el cual puede ser corto y apenas sobrepasar unos centímetros del suelo o bien ser largo y erecto (en este caso llega a medir hasta tres metros de altura); en varias especies el tallo se dobla hacia el sustrato y reptar sobre el suelo o las rocas por lo que es difícil observarlo, las hojas por lo general son suculentas, fibrosas, con la base dilatada y carnosa, su forma varía de lineal a lanceolada u ovada; las de las especies más pequeñas no sobrepasan los veinte gramos de peso, mientras que las de los agaves pulqueros son las más grandes del género, llegando a pesar más de treinta kilos cada una. El número de hojas varía de cinco a diez en *Agave gypsophila* y *Agave nizamensis*, hasta de 150 a 200 en *Agave rhodacantha*, (García Mendoza, 2007). Los márgenes exhiben una gran diversidad morfológica, las espinas (en la mayoría de las especies) sobresalen como proyecciones de tejido o bien se ubican sobre una banda córnea continua, mientras que en otras se desprenden en delgadas fibras o bien muestra denticillos microscópicos muy semejantes a filosas sierras, (García Mendoza, 2007). El envés muestra la huella de los dientes de la hoja que le antecedió. El color de las hojas presenta tonos verdes, amarillos, rojizos o violetas. Las especies

grandes alcanzan su madurez entre los 10 y 25 años, mientras que las pequeñas lo hacen después de crecer entre cuatro y cinco años. La Figura 1 presenta una descripción morfológica de la planta de agave.

En México se han identificado más de doscientas especies diferentes de Agave. Sin embargo, ninguna es tan apta para la producción de tequila como el Agave tequilana Weber variedad “azul”. En la actualidad se reconocen 136 especies, 26 subespecies, 29 variedades y 7 formas para la parte continental de Norteamérica (Gentry, 1982; Rulfo et al., 2007).

El género Agave se divide en los subgéneros: Agave, con inflorescencia en panícula o umbelada, y Littaea, en forma de espiga o racimosa (Zapata, 2003).

Agave (tequilana Weber) variedad azul

Esta planta es una especie originaria de México, utilizada especialmente como materia prima para la elaboración del Tequila; como cultivo se puede establecer en tres millones de hectáreas con certificado de Denominación de Origen Tequila (DOT), superficie que comprende el estado de Jalisco, parte de Guanajuato, Nayarit, Michoacán y Tamaulipas (Figura 2), (CNIT, 2009).

El *Agave tequilana* Weber o *agave azul*, es una planta suculenta que se extiende radicalmente de 1.2 a 1.8 m de longitud, (Figura 3), su tallo es grueso, corto de 30 a 50 cm. de altura al madurar, todas las hojas terminan en el ápice en una aguja fina de unos 5 cm de longitud y hasta de 1 cm de ancho en su parte menos extrema, (Ruiz Corral 2007; Rulfo et al., 2007).

Figura 2. Territorio de denominación de origen, TDO del tequila (Jalisco, parte de Guanajuato, Nayarit, Michoacán y Tamaulipas). (Fuente: Consejo Regulador del Tequila A.C.)



Sus necesidades de agua son moderadas una vez que está establecida en el campo y requiere de exposición plena al sol. Es xerófila (que crece en zonas áridas y cálidas) pertenece a la familia de agaváceas que se agrupan en el orden *Asparagales*.

Sus principales características son: hojas largas fibrosas de 90 a 120 cm, en forma lanceolada, acuminadas de fibras firmes, casi siempre rígidamente estiradas, cóncavas de ascendentes a horizontales, generalmente de color glauco azulado a verde grisáceo, tiene una espina terminal de color rojo oscuro de 2 cm. (Rulfo et al. 2007; SIAP, 2011).

El agave está compuesto por el corazón de la planta, a su alrededor se encuentran las pencas, que son los tallos de las hojas. En el centro o corazón de la piña se acumula el jugo natural, el cual tiene alto contenido de fructosa y diversas propiedades vitamínicas, así como partículas grasas que dan su distinguido sabor y olor. Su rico contenido de azúcar en condiciones óptimas de madurez de la planta, varía entre 20 y 30 grados brix (término científico para medir el contenido de azúcar) e ingrediente básico para poder producir tequila (SIAP, 2011).

Estas especies han sido utilizadas desde la antigüedad para satisfacer y complementar una serie de necesidades básicas como: alimento, forraje, medicamento y construcción, entre otros. Esta planta fue llamada *Agave tequilana* Weber por el botánico alemán Frank Weber quien descubrió la especie en 1902.



Figura 3. Planta de Agave tequilana Weber Azul.

Fuente: Consejo Regulador del Tequila 2012

Para la producción de esta planta se requiere un largo proceso que inicia desde la siembra de la semilla o hijuelo (el cual puede ser por vía sexual y asexual) y termina hasta la comercialización. El tequila puede ser envasado inmediatamente después de la destilación o puede añejarse en barricas de madera, las que le confieren las características de sabor y color (Bautista Justo, et al., 2001).

Situación actual de la producción de agave a nivel nacional

La producción de agave en el país se caracteriza por tener ciclos de escasez y abundancia que hacen que el precio fluctúe, afectando a quienes se dedican a esta actividad. La industria tequilera del país, ha seguido una política de integración entre el proceso de transformación y el proveer la materia prima: por tanto, las principales tequileras del país han estado plantando su propia superficie y han demandado un volumen menor al que comúnmente se registraba. Los estados con mayor producción de *Agave tequilana* o Agave azul, fuera de la zona de denominación de origen son Zacatecas, Sinaloa, Aguascalientes y Colima (Bernal Astorga, 2009).

Contaminación de tequileras

Los residuos de la producción de tequila se han convertido en una amenaza ambiental. La falta de plantas tratadoras en la industria ha provocado que las aguas residuales que se desechan durante el proceso de destilado, también llamadas vinazas, sean arrojadas a los ríos o se utilicen en riego en plantaciones de agave. De acuerdo con Hernández López (2011), por cada litro de tequila que se produce, se contaminan 10 litros de agua. En México, la producción promedio es de 200 millones de litros de esta bebida, lo cual se traduce en dos

mil millones de litros de residuos del proceso de la destilación, que generalmente se tira a los afluentes y a los drenajes públicos.

Así, Hernández López (2011), menciona que una de las prácticas de las empresas es comprar el agave a los campesinos, bajo la condición de que el agua residual sea vertida en su terreno y que muchos de los suelos donde se cultiva el agave son ácidos y con el vertimiento de la vinaza, líquido tóxico espeso que queda después de la fermentación y destilación con un color café oscuro, se podría generar un desequilibrio ambiental. “Por el efecto de la composición química de la vinaza, que contamina los mantos freáticos o la laterización de los suelos, porque una de las principales características de la vinaza es que por las ceras que contiene, puede hacer que los suelos se vuelvan duros y esto impide que crezca vegetación”.

Subproductos de la industria tequilera

Anualmente la industria tequilera demanda aproximadamente un millón de toneladas de piñas de agave, actividad que genera una cantidad similar de hojas que constituyen los residuos agrícolas del cultivo y que no son utilizadas en la actualidad (Iñiguez et al., 2001b). La industria tequilera es una de las más redituables en México; sin embargo, durante la elaboración del tequila se producen residuos de difícil disposición y es un reto buscar cómo aprovecharlos. A este respecto, la empresa *Carbon Diversion América Latina* cuenta con una tecnología capaz de convertir diferentes biomásas en una fuente de energía renovable, (Quintana Lucio, 2012). Entre los subproductos que genera el proceso de elaboración del tequila y que son de gran interés económico destacan:

- **Bagazo de agave.** Es un subproducto de la industria tequilera que queda después de cocinar, moler y extraer el jugo fermentable de la piña de Agave tequilana (González García et al., 2005). La industria tequilera en México, ha ido en constante crecimiento aumentando con ello el volumen de bagazo de agave, producto de la extracción de los azúcares fermentables de las cabezas de la planta Agave tequilana Weber azul. La producción de bagazo de agave es equivalente al 40 % del peso de las cabezas de agave molidas, por lo que se generan grandes volúmenes de este desecho (Figura 4), provocando un problema ambiental y económico.

Figura 4. Desechos de bagazo de agave.

Fuente: Elaboración propia



1. El bagazo de agave tequilero, está formado por fibras gruesas de 10 a 12 cm de largo compuestas de celulosa, hemicelulosa y lignina, tal como se observa en

la Tabla 1. Algunos autores han investigado la factibilidad de uso del bagazo de agave. Una de estas fue para hacer uso parcial del residuo para alimentar rumiantes (Iñiguez Covarrubias et al., 2001a). Sin embargo, aunque los animales fueron capaces de digerir parte del bagazo, se encontró que esta aplicación se veía limitada por causa de la lignina asociada a la fibra y el arreglo cristalino de la celulosa, (González et al., 2005). Se ha estudiado el uso de bagazo de agave para hacer papel para lo cual emplearon técnicas de pulpeo mecánicas, químicas y biológicas. El estudio demostró que es factible esta aplicación aunque se obtiene un papel con resistencia baja (Idarraga et al., 1999).

Análisis	Valores
Humedad (%)	71
pH	5.4
Materia orgánica (% Base seca)	91.2
Cenizas (% Base seca)	8.8
Carbono orgánico total (% Base seca)	50.6
Nitrógeno total (% Base seca)	0.53
Relación C:N	95.5
Fibra detergente neutra (% Base seca)	58.8
Fibra detergente ácida (% Base seca)	46.7
Hemicelulosa (% Base seca)	12.1
Celulosa (% Base seca)	41.9

Tabla 1. Características físicas y químicas del bagazo de agave (Iñiguez, et al., 2005).

Otras aplicaciones que se han estudiado, son como aglomerados en la fabricación de muebles y relleno de colchones, además como sustrato para cultivo de hongos, para fabricar ladrillos de composta (Iñiguez et al., 2001a). Sin embargo, aun no se cuenta con un proceso definitivo económicamente activo para disponer de estos residuos, por lo que sería importante continuar la exploración de opciones como la bioconversión por bacterias en productos de valor agregado.

1. Miel de agave. Cuando el líquido extraído del agave es tratado mediante ciertos procesos químicos (hidrólisis térmica o enzimática), el resultado es una miel a base de fructuosa: azúcar benéfica para la salud, que pura, puede ser consumida por los diabéticos. El proceso comienza con la fragmentación de las cadenas de polímeros de que están compuestos los azúcares del agave, a fin de extraer la primera fructuosa. Esta es sometida a altas temperaturas a fin de eliminar los residuos y el líquido resultante es el utilizado para elaborar un concentrado de miel (Carrillo, 2004). Investigaciones recientes han reportado que el jugo de agave contiene sustancias conocidas como saponinas, las cuales inhiben el crecimiento de algunos microorganismos, (Montaño et al., 2007).

• **Inulina.** El agave tiene como principal carbohidrato la inulina la cual sirve de almacén de energía. La inulina es un polisacárido no digerible, soluble en agua tibia que puede hidrolizarse fundamentalmente a fructosa. Los oligofruetosacáridos o inulinas son carbohidratos constituidos fundamentalmente por fructuosas y escasos residuos de glucosa que representan una opción agroindustrial

importante por sus aplicaciones técnicas, productivas y nutricionales, aunque la propiedad más extensivamente estudiada es su comportamiento como prebiótico (Roberfroid M. 2005), definido por su capacidad selectiva de estimular el crecimiento de un grupo de bacterias en el colon (bifidobacterias y lactobacilos), con la consecuente disminución de otras especies que pueden ser perjudiciales por ejemplo: *E. coli* y bacterias de la especie *Clostridium spp.*, (Gibson G., 1999).

Dadas sus propiedades fisicoquímicas y biológicas estos compuestos tienen múltiples implicaciones sobre la salud como pueden ser el fortalecimiento de las funciones inmunes del organismo (ante cáncer o tumores), el mejoramiento de la biodisponibilidad de nutrientes por su fermentabilidad y el efecto regulador de la actividad intestinal, atribuida a la producción de ácidos grasos de cadena corta y aumento en la peristalsis por el incremento en población de bífidobacterias, (Franck A., 2006). Paralelamente y debido a sus propiedades fundamentales la inulina tiene una gama de aplicaciones tecnológicas, en la elaboración de diversos productos alimenticios como yogurt y helados, en los cuales disminuye la formación de cristales de agua. Cuando la inulina se agrega a la harina usada para la elaboración de pastas, aumenta positivamente el índice de hinchamiento y la firmeza de estas, con el beneficio adicional de contar con un índice glucémico reducido en un 15 %, (Madrigal y Sangronis, 2007). De igual manera y debido a su higroscopicidad se ha reportado su capacidad para estabilizar espumas y emulsiones en su estado hidratado (Madrigal y Sangronis 2007; IPN, 2011). Es importante destacar que tanto la inulina como sus derivados fueron aceptados como ingredientes GRAS (*generalmente reconocido como seguro*) por el FDA desde 1992, lo cual indica que pueden usarse sin restricciones en formulaciones alimenticias incluso en las destinadas para infantes (Coussement P., 1999).

- **Vinazas.** Las vinazas tequileras se generan después de la destilación de las mieles fermentadas, tienen diferente contenido de cenizas, glicerol, sodio, potasio, sulfatos, magnesio entre otros componentes (Decloux et al., 2002). Durán de Bazúa, 1993 citado por (Ramales et al., 2002) define la vinaza como una disolución de sustancias, sales minerales y orgánicas, las cuales tienen potencial para diversos usos. Su composición varía de acuerdo a las condiciones del proceso. Se tiene reportado que para la producción de un litro de tequila se obtienen de 7 a 10 litros de vinaza y entre 15 y 20 kg de bagazo en base húmeda, (Iliangovan et al., 1996). Éstas son arrojadas en grandes cantidades en ríos y arroyos cercanos a las plantas productoras o en drenaje municipal (Iñiguez et al., 2005). Debido a sus características físicas y químicas constituyen un contaminante ambiental; no obstante, son ricas en nutrimentos y pueden ser aprovechadas en distintas formas evitando que se desperdicien, además de disminuir los problemas de contaminación en los lugares donde son arrojados (Madrigal y Arias, 2001).

Usos del Agave

Entre los diversos usos se encuentran:

1. El pulque, sin duda, el producto más famoso y de mayor trascendencia histórica. Se obtiene de la fermentación de la savia azucarada conocida como aguamiel obtenida a partir de diferentes especies de maguey (*Agave americana*,

A. atrovirens, *A. feroz*, *A. mapisaga*, *A. salmiana*), (Cervantes y Pedroza, 2007). Hoy se sabe que esta bebida contiene: agua, alcohol etílico, azúcares, sustancias albuminoides, tiamina, riboflavina, niacina, vitamina C, proteínas y sales minerales (fósforo, carbonatos, sulfatos, cloruros, calcio, sodio, potasio, magnesio y hierro). Cuando el pulque está en buen estado, es energético, diurético, bueno para la diabetes, para la anemia y para ciertas enfermedades gastrointestinales, mejora la lactancia, sirve como cáustico para limpiar las llagas, calienta la sangre y además, refresca, (Domínguez, 2010).

Investigadores del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA) del Instituto Politécnico Nacional en Tlaxcala lograron establecer y estabilizar las características de un pulque de excelente calidad. Encontraron en esta bebida microorganismos que inhiben el crecimiento de bacterias patógenas intestinales como: *Escherichia coli*, *Shigella sp*, *Salmonella sp*. En otra línea de investigación identificaron y desarrollaron cepas especiales de bacterias y levaduras útiles para la elaboración de productos derivados como mieles, bebidas ácidas, jarabes y jugos de frutas de sabor agradable y alto valor nutricional, además de la formulación de licores destilados del pulque. Más de 30 especies de cepas de bacterias y levaduras han sido identificadas en el pulque. La literatura reporta que a partir del pulque se pueden recuperar diversos grupos microbianos clasificados como: subdivisión Bacillus-Lactobacillus-Streptococcus (*Lactobacillus* cepa ASF360 AF157050, *Lactobacillus acidophilus* M99740, *L. hilgardii* M58521, *L. plantarum* D79210 y *Leuconostoc mesenteroidesspp* mesenteroides), subdivisión proteobacteria (*Acetobacter pomorium* AJ001632, *Zymomonas mobilis* AF281034) y hongos levaduriformes pertenecientes a los géneros *Sacharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces sp.*, (Escalante et al., 2004).

2. El mezcal y tequila. Mezcal es el nombre que se le da a toda bebida obtenida de la destilación de jugos fermentados de un agave, el preferido es el *Agave angustifolia* Haw, sin embargo también se aprovechan otras 10 especies espontáneas para su elaboración, en especial el *Agave salmiana*. Pinos Rodríguez et al., (2008), mencionan que la parte superior y baja de las hojas de *Agave salmiana* son buena fuente de carbohidratos solubles. Sin embargo tiene bajos contenidos de proteína cruda por lo cual es necesario un complemento proteínico. Esta especie de agave ensilado disminuye su concentración de saponinas, teniendo una fermentación aceptable.

El tequila es un mezcal obtenido de una sola variedad, el *Agave tequilana* Weber en particular la variedad denominada *azul*, nombrada así por la tonalidad azulada de sus hojas.

a) La fibra. Hoy en día el agave más cosechado para la producción de fibra es la lechuguilla utilizada como hilo, material con el que se logra tejer costales, tapetes morrales, ceñidores, redes de pesca, cordeles incluso en la elaboración artesanal de adornos, principalmente para las piezas de cuero que forman parte del equipo y vestimentas de los charros, (Valenzuela, Z. 2000). Las raíces han sido utilizadas para la elaboración de cepillos, escobas y canastas. En Tamaulipas, esta actividad se practica aún en los municipios de Jaumave, Palmillas, Miquihuana, Bustamante y Tula.

Investigaciones realizadas por la empresa mexicana Nekutli en colaboración con el Instituto Nacional de Pediatría, desarrollaron la primera fórmula láctea para recién nacidos que utiliza *agave azul* como materia prima; el *agave* es procesado hasta obtener dos fibras orgánicas solubles. Estas fibras han demostrado de manera contundente efectos prebióticos y probióticos. El efecto probiótico ayuda al desarrollo de microbiota benéfica en el intestino, evitando así infecciones gastrointestinales, mientras que el efecto prebiótico es el responsable de la estimulación selectiva del crecimiento de bacterias benéficas en el colon, con lo que se estimula el sistema inmune, (RCD, 2011).

Análisis y perspectivas de aprovechamiento

El agave es endémico del continente americano, con una distribución que se extiende desde el sur de Estados Unidos (con dos especies en Florida) hasta Colombia y Venezuela. El estado de Tamaulipas cuenta con una variedad de especies cosechadas (de 20 a 26 especies), predominando las especies del grupo *Americanae*, además de que cuenta con un clima favorable para su desarrollo de forma natural. En la actualidad el agave que se cosecha en Tamaulipas se utiliza para la producción de fibras (*Agave lechuguilla* y *Agave fourcroydes*). Existen 11 municipios que cuentan con la denominación de origen para la producción de tequila (*Agave tequilana*) así mismo 11 municipios cuentan con la denominación de origen para producción de mezcal (*Agave americana*).

Rizwan, et al., (2012) examinaron diversas actividades biológicas de un extracto metanólico de las hojas de *Agave attenuata* y concluyeron que esta planta podría utilizarse como una fuente de antioxidantes naturales y aplicaciones funcionales en alimentos nutraceuticos. Castellanos et al., (2012) mencionan que los fructanos también tienen posibles aplicaciones como prebióticos en la industria alimentaria. Los compuestos activos de *Agave sisalana* presentan acción antiparasitaria contra nematodos gastrointestinales (GIN), con lo cual podría ser una alternativa para reducir drásticamente la contaminación de los pastos, así impactar como antiparasitario en el sector ganadero (Silveira, et al., 2012). Así, se puede deducir que el *Agave tequilana* variedad azul es una materia prima prometedora para la producción industrial de los jarabes con alto contenido de fructosa (Soto et al., 2012).

Conclusiones

El agave constituye uno de los recursos naturales que generan un alto contenido de residuos procedentes del proceso de elaboración del tequila. Poseen un alto potencial de aprovechamiento, para la elaboración de miel con efectos positivos para la salud, como antioxidantes naturales y aplicaciones funcionales en alimentos nutraceuticos en beneficio de la nutrición humana incluyendo los fructanos, también en posibles aplicaciones como prebióticos en la industria alimentaria podría ser una alternativa como antiparasitario en el sector ganadero. Así, se concluye que el agave es una fuente prometedora para la producción industrial de jarabes con alto contenido de fructosa.

Bibliografía

- Bautista Justo M., García Oropeza L., Barboza Corona J. E y L. A. Parra Negrete., (2001). El *Agave tequilana* Weber y la producción de tequila. Acta universitaria. Vol. 11(2): 26.
- Bernal Astorga A. (2009) Inulina perfil comercial. Dirección de comercialización y planeación. Página 1- 3.
- Carrillo, L. E. (2004). Aprovecharán el agave para mieles e inulina. Gaceta Universitaria, Universidad de Guadalajara, 11.
- Castellanos Pérez, N; Rodríguez Mendiola, MA; De Alba, PLL; Martínez, LL; Gutiérrez Miceli, FA; Arias Castro, C. (2012). Optimization of process for extraction and fractionation by degree of polymerization of fructans, obtained from *Agave tequilana* Weber var. azul, for obtain prebiotics. *GAYANA BOTANICA* Vol. 69 no. especial: pags. 31-39
- Cervantes Contreras M. y Pedroza Rodríguez A. M. (2007). El pulque: características microbiológicas y contenido alcohólico mediante espectroscopía Raman. *Nova-Publicación Científica En Ciencias Biomédicas*. Vol. 5(8): 101- 212.
- CNIT. (2009). Recuperado el 6 de noviembre de 2011, de Cámara Nacional de la Industria Tequilera: <http://www.tequileros.org>.
- Coussement P. (1999). Inulin and Oligofructosa: safe intakes and legal status. *J Nutr*; 129: 1412-1417.
- Decloux M.; Bories A.; Lewyowski R.; Fargues C.; Mersad A.; Kameloise M.; Bonnet F.; Dherbecourt B.; Nieto L. (2002). Interest of electro dialysis to reduce potassium level in vinasses preliminary experiment. *Desalination* 146 *Bioresours Technology* 91:393-398.
- Domínguez Galván, E. (2010). El pulque y sus propiedades nutritivas. *Revista Alimentación y Nutrición*.
- Escalante A; Rodriguez M; Martinez A; López Munguía A; Bolivar F; Gosset G. (2004). Characterization of bacterial diversity in Pulque a traditional Mexican alcoholic fermented beverage, as determined by 16S rDNA analysis. *FEMS Microbiol Letters*. 235:273-279.
- Franck A., (2006). Inulin. En: *Food Polysaccharides and Their Applications*. Stephen A. (Editor). Segunda Edición. Nueva York, USA: Marcel Dekker; 733 pp.
- García, Mendoza, A. J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias, UNAM*, 14-23.
- Gentry, H. (1982). *Agaves of Continental North America*. The University of Arizona Press, Tucson.
- Gibson G. (1999). Dietary modulation of the human gut microflora using the prebiotics oligofructose and inulin. *Journal of Nutrition*. 129: 1438-1441.
- González García, Y., González Reynoso, O y Nungaray Arellano, J. (2005). Potencial del bagazo de agave tequilero para la producción de biopolímeros y carbohidrasas por bacterias celulolíticas y para la obtención de compuestos fenólicos. *e-Gnosis vol. 3*:1-18.
- Hernández López, J., (2011). “Los paisajes agaveros y sus transformaciones culturales: expansión, intensificación, estetización”, *Entre regiones, historia sociedad y cultura*, t/v 1, México, Pag. 111 - 132

- Ibarra, E., Botero, J y Cortes, C. (2010). *Ingeniería de Tequilas*. Bogotá, Colombia: Universidad de Colombia.
- Idarraga G.; Ramos J.; Zúñiga V.; Sahin T.; Young R. (1999). Pulp and paper from blue Agave Waste from Tequila production. *Journal Agricultural Food Chemistry* 47: 4450-4455.
- Iliangovan K.; Linerio J.; Alvarez E.; Briones M.; Noyola A.; (1996) Biodegradación de compuestos orgánicos industriales. Universidad Nacional Autónoma de México. pp 38-51.
- Íñiguez, G., Acosta, N., Martínez, L., Parra, J y González, O. (2005). Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 7. Compostaje de bagazo de agave y vinazas tequileras. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* Vol. 21(1): 37-50.
- Iñiguez Covarrubias, G., Lange, S. E., Rowell, R. M. (2001). Utilization of byproducts from the tequila industry: part 1: agave bagasse as a raw material for animal feeding and fiberboard production. *Bioresource Technology*. 77:25-32.
- Iñiguez Covarrubias, G., Lange, S. E., Rowell, R. M. (2001). Utilization of byproducts from the tequila industry: part 2: Potential value of *Agave tequilana* Weber azul leaves. *Bioresource Technology* 77, 101-108.
- IPN, I. P. CEPROBI. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos: <http://www.ceprobi.ipn.mx>. Fecha de consulta: 7 de noviembre de 2011.
- Madrigal Pulido, J y Arias García, J. A. (2001). Cultivo de hongos comestibles sobre vinazas tequileras en estado sólido. *IX Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*. Veracruz, Veracruz.
- Madrigal, L. Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en los alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 57(4): 387-396.
- Montaño, D., M. Line, E. Espinosa y P. Strehaiano, (2007). Fermentative capability and aroma com-pound production by yeast strains isolated from *Agave tequilana* Weberjuice. *Enzyme and Microbial Technol.*, 42:608-616.
- Pinos Rodríguez, J.M., Zamudio M. and González S. S. (2008). The effect of planta age on the chemical composition of fresh and ensiled *Agave salmiana* leaves. *Souht African Journal of Animal Science*. 38 (1). Instituto de investigación de Zonas desérticas de la UASLP.
- Quintana Lucio (2012). Producirán biodiesel a partir del agave del tequila. Reportajes Miércoles, 11 de enero de 2012.
- Ramales O.; Martín C. y Barragán R.M. (2002). “La industria del mezcal y la economía Oaxaqueña” *Revista Ciencia y Desarrollo* (2011), Vol. 237(249):60- 61.
- Roberfroid M. (2005). Inulin-Type Fructans: Functional Food Ingredients. Boca Raton, USA: CRC Press. 370 pp.
- Rizwan, K; Zubair, M; Rasool, N; Riaz, M; Zia Ul-Haq, M; de Feo, V. 2012. Phytochemical and Biological Studies of *Agave attenuata*. *International Journal of Molecular Sciences*. Vol. 13(5): 6440-6451.
- Ruiz Corral, J. A. 2007. Requerimientos agroecológicos y potencial productivo del *Agave tequilana* Weber en México. Libro técnico 4:11-36.

- Rulfo Vilchis, F.O; Pérez Domínguez, J.F; Del Real Laborde J.I; Byerly Murphy, K.F; (2007). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen deltequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Libro Técnico Núm. 4.
- SIAP, (2010). de Secretaría de Información Agroalimentaria y Pesquera: <http://www.siap.gob.mx>. Recuperado el 24 de agosto de 2011.
- Silveira, RX; Chagas, ACS; Botura, MB; Batatinha, MJM; Katiki, LM; Carvalho, CO; Bevilaqua, CML ; Branco, A; Machado, EAA; Borges, SL; Almeida, MAO. 2012. Action of sisal (*Agave sisalana*, Perrine) extract in the in vitro development of sheep and goat gastrointestinal nematodes. *Experimental Parasitology*. Vol. 131(2): 162-168.
- Soto, JLM; González, JV; Nicanor, AB; Ramírez, EGR. 2012. Enzymatic production of high fructose syrup from *Agave tequilana fructans* and its physicochemical characterization. *African Journal of Biotechnology*. 10 (82): 19137-19143.
- Valenzuela, Z.A.G. 2000. El mundo diverso del agave. En: 100% Tequila. Julio-Septiembre, Año I, N° 4. p.p.22, 23. México.
- Zapata, A. (2003). *El agave Tequilero. Cultivo e industria en México*. D.F, México: Aedos, S.A.

Tecnología y desarrollo sustentable: avances en el aprovechamiento de recursos agroindustriales, publicado por la Universidad Autónoma de Tamaulipas y Colofón, se terminó de imprimir en diciembre de 2017, en los talleres de Eddel Graph S.A. de C.V. El tiraje consta de 1 000 ejemplares impresos mediante offset en papel Bond ahusado de 75 gramos.