

**TEMAS DISCIPLINARES
EN MEDICINA
VETERINARIA Y
ZOOTECNIA**

Temas disciplinares en medicina veterinaria y zootecnia / Jaime Salinas Chavira, Eduardo Arcadio González Valenzuela, Edgar Alberto López Acevedo coordinadores .—Ciudad de México : Colofón ; Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2019.

191 pág. : il. ; 17 x 23 centímetros

I. Veterinaria – Estudio y enseñanza 2. Zootecnia – Estudio y enseñanza I. Salinas Chavira, Jaime, coord. II. González Valenzuela, Eduardo Arcadio, coord. III. López Acevedo, Edgar Alberto, coord.

LC: SF745 T45

DEWEY: 636.0896959 T45

Consejo de Publicaciones UAT

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

Centro Universitario Victoria

Centro de Gestión del Conocimiento. Tercer Piso

Cd. Victoria, Tamaulipas, México. C.P. 87149

consejopublicacionesuat@outlook.com



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

D. R. © 2019 Universidad Autónoma de Tamaulipas

Matamoros SN, Zona Centro Ciudad Victoria, Tamaulipas C.P. 87000

Edificio Administrativo, planta baja, CU Victoria

Ciudad Victoria, Tamaulipas, México

Libro aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT

ISBN UAT: 978-607-8626-30-4

Colofón S.A. de C.V.

Franz Hals núm. 130, Alfonso XIII

Delegación Álvaro Obregón C.P. 01460, Ciudad de México

www.paraleer.com/colofonedicionesacademicas@gmail.com

ISBN: 978-607-8622-47-4

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

Impreso en México • *Printed in Mexico*

El tiraje consta de 300 ejemplares

Este libro fue dictaminado y aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT mediante un especialista en la materia. Asimismo fue recibido por el Comité Interno de Selección de Obras de Colofón Ediciones Académicas para su valoración en la sesión del primer semestre 2018, se sometió al sistema de dictaminación a “doble ciego” por especialistas en la materia, el resultado de ambos dictámenes fue positivo.

TEMAS DISCIPLINARES EN MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

Jaime Salinas Chavira
Eduardo Arcadio González Valenzuela
Edgar Alberto López Acevedo
Coordinadores



UAT



Consejo de
Publicaciones



Fomento
Editorial



COLOFÓN



Ing. José Andrés Suárez Fernández
PRESIDENTE

Dr. Julio Martínez Burnes
VICEPRESIDENTE

Dr. Héctor Manuel Cappello Y García
SECRETARIO TÉCNICO

C.P. Guillermo Mendoza Cavazos
VOCAL

Dra. Rosa Issel Acosta González
VOCAL

Lic. Víctor Hugo Guerra García
VOCAL

Consejo Editorial del Consejo de Publicaciones de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

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 Lowing** • 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, E.U.A. | **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, E.U.A. | **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. Akexandre 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. Ursula Oswald** • Universidad Nacional Autónoma de México | **Arq. Carlos Mario Yori** • 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

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	11
Uso de fármacos antiparasitarios para el control de monogéneos en el bagre de canal (<i>Ictalurus Punctatus</i>) Flaviano Benavides-González, Zeferino Blanco-Martínez	
CAPÍTULO 2	25
El examen <i>Post Mortem</i> ; en el diagnóstico veterinario Ned Iván de la Cruz Hernández, José Octavio Merino Charrez	
CAPÍTULO 3	43
Tendencias actuales en el desarrollo de vacunas contra garrapatas Verónica Carvajal de la Fuente, Octavio Merino Charrez, Fernando Alberto Muñoz Tenería, Jorge Loredó Osti	
CAPÍTULO 4	55
Mecanismos de defensa del sistema respiratorio y factores predisponentes para el desarrollo de neumonías en bovinos de engorda Julio Martínez Burnes, Alfonso López Mayagoitia, Rafael Ramírez Romero, Luis Jorge García Márquez	
CAPÍTULO 5	77
Genética aplicada a la medicina veterinaria Luz Yosahandy Peña Avelino, Ivonne Ceballos Olvera, Jorge Alva Pérez	
CAPÍTULO 6	93
Biotecnologías reproductivas: su impacto en la rentabilidad ganadera Eric Fraga Escamilla	
CAPÍTULO 7	107
Guía de prioridades para el manejo integral y sustentable de empresas ganaderas de bovinos de carne en pastoreo Eduardo Arcadio González Valenzuela, Rigoberto López Zavala, Jaime Salinas Chavira, Jorge Zertuche Rodríguez	

CAPÍTULO 8	119
Principales plantas forrajeras utilizadas en Tamaulipas Eduardo Arcadio González-Valenzuela, Jaime Salinas Chavira, Ignacio Raúl Delgado-Morales	
CAPÍTULO 9	135
Uso estratégico de forrajes en dietas para bovinos engordados en corral Jaime Salinas Chavira, Eduardo Arcadio González-Valenzuela, Julio Hinojosa-Hinojosa	
CAPÍTULO 10	149
Formulación estratégica de raciones para ovinos de engorda en corral Jaime Salinas Chavira, Eduardo Arcadio González-Valenzuela, Teresa Soto Varela, Claudio Arzola Álvarez, Julio Hinojosa-Hinojosa	

Presentación

Los avances científicos y tecnológicos conducen a la mejor práctica profesional del médico veterinario zootecnista. Este libro surge en la Academia de Formación Disciplinar en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Tamaulipas, como una forma de divulgar conocimiento actualizado a estudiantes de medicina veterinaria y zootecnia para contribuir en su adecuada formación profesional.

El libro, en el área de medicina veterinaria incluye temas de farmacología, patología, diagnóstico e inmunología. En el área de Zootecnia incluye temas de genética, reproducción, bovinos de carne en pastoreo, plantas forrajeras, bovinos de carne en engorda y formulación de raciones para ovinos.

En forma conjunta con los profesores de la academia de formación disciplinar de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia se contó con la colaboración de destacados profesores-investigadores de importantes instituciones nacionales y del extranjero, para contribuir a la universalidad del conocimiento con un libro de mayor alcance en sus contenidos. Los participantes en el presente libro integran conocimiento generado en sus cátedras, en sus investigaciones, así como en su experiencia profesional. De esta forma se promueve que los interesados en medicina veterinaria y zootecnia encuentren conocimiento actualizado en plazos cada vez más breves.

CAPÍTULO 1

Avances de investigación sobre el uso de fármacos antiparasitarios, para el control de monogéneos en el bague de canal (*Ictalurus punctatus*)

Flaviano Benavides-González^{1*}
Zeferino Blanco-Martínez²

Resumen

Ligistaluridus loridanus es el parásito monogéneo prevalente (>85%) que presenta el bague de canal (*Ictalurus punctatus*) cultivado en las granjas de Tamaulipas, México; este parásito afecta el crecimiento de los peces y puede ser detonante de infecciones secundarias. Los tratamientos contra parásitos de los peces en la acuicultura actual, incluyen el uso de agentes quimioterapéuticos para controlar y prevenir enfermedades. El peróxido de hidrógeno (H₂O₂), el metrifonato (Mtf) y el praziquantel (Pzq) son productos comunes utilizados en infestaciones de ectoparásitos en cultivos de peces. El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia terapéutica de estos productos contra *L. loridanus* en *I. punctatus* en experimentos *in vitro* e *in vivo* a través de baños. Los ensayos *in vitro* se llevaron a cabo utilizando branquias de peces naturalmente infectadas con *L. floridanus*, que se sumergieron en soluciones H₂O₂ (150, 300 y 570 mg/L), Mtf (0.25, 0.5 y 0.75 mg/L) y Pzq (2, 5 y 10 mg/L) utilizando diferentes diluyentes: agua de acuario, agua destilada y solución salina; la eficacia de los tratamientos se basó en el tiempo de supervivencia de los parásitos. Posteriormente se realizó un ensayo *in vivo* utilizando juveniles de bagres de canal naturalmente infectados con *L. floridanus*. Un grupo recibió baños de inmersión de 570 mg/L de H₂O₂ (3%) durante 4 min; El grupo Mtf (90%) recibió 0.5 mg/L de Mtf durante 10 min y el grupo de Pzq recibió baños de 10 mg/L por 90 minutos. Los resultados *in vitro* obtenidos con Pzq indican una diferencia estadística significativa (p<0.05) al utilizar solución salina (0.065%) como

¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Carretera Victoria-Mante Km 5. AP 263. C.P. 87000. Cd. Victoria, Tamaulipas.

² Ibídem

*Autor para correspondencia: Flaviano Benavides-González, flbenavides@docentes.uat.edu.mx

diluyente en el tratamiento, frente al grupo que utilizó agua proveniente del acuario; en el experimento *in vivo* se demostró una reducción significativa ($p < 0.05$) en la prevalencia y la intensidad media parasitaria, y una reducción en la abundancia de parásitos en los peces tratados. Los experimentos con Mtf no demuestran reducción significativa ($p > 0.05$) en la intensidad media parasitaria por arco branquial ni en el tiempo de sobrevivencia *in vitro* de *L. floridanus*. Los baños con H_2O_2 a 570 mg/L durante 4 min fueron significativamente ($p < 0.05$) eficaces contra adultos y estados inmaduros de *L. floridanus*. Estos estudios sugieren que el Pzq puede ser utilizado como un agente de control en infecciones naturales de *L. floridanus*; mientras que el H_2O_2 es 100% eficaz y puede ser utilizado como un agente antiparasitario.

Palabras clave: bagre de canal, antihelmínticos, trematodos, monogéneos

Introducción

Una de las tecnologías en la industria productora de alimentos con mayor crecimiento en el mundo es la acuicultura; debido a esto y a la intensificación de los sistemas de cultivo, se han producido graves pérdidas en esa rama a causa de organismos patógenos.

El bagre de canal, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque 1818), es una especie nativa de Norte América que se encuentra en muchas partes del continente, sin embargo, a pesar de ser la misma especie, no se encuentra en el mismo medio, ni bajo las mismas condiciones de explotación y no convive con los mismos organismos patógenos, por ello, es necesaria la aplicación regional de estudios que permitan resolver problemáticas de salud locales.

Tamaulipas es uno de los principales estados productores de bagre de canal bajo sistemas controlados a nivel nacional; esta industria representa una gran cadena productiva que involucra a diversas personas en cada una de las etapas que se presentan desde la producción de alevines hasta la obtención de filetes que llegan a la mesa del consumidor. En estudios recientes se ha demostrado la elevada prevalencia parasitaria, principalmente del trematodo *Ligictaluridus floridanus*, forzando a los productores a utilizar excesivamente agentes químicos para su control ya que cuando se intensifica la producción de una especie animal, es inevitable que se presenten enfermedades y se deben tener en cuenta distintos factores para su prevención, tales como la especie explotada, su ambiente, el manejo y los patógenos presentes (Wendover, 2009).

Los parásitos que causan mayores pérdidas económicas en los cultivos de bagre de canal son los protozoarios como *Ichthyophthirius multifiliis* o “Ich”, *Trichodina* sp., *Chilodonella* sp., *Costia* sp., *Trichophyra* sp., *Scyphidia* sp., y *Epistylis* sp.; los cestodos

o gusanos planos, los trematodos monogéneos como *Gyrodactylus* sp. y *Cleidodiscus* sp., o trematodos digeneos como *Alloglossidium corti*, entre otros (Hoffman, 1985).

Ligictaluridus loridanus es un trematodo monogéneo, es decir, que su ciclo de vida completo se realiza dentro de un solo hospedero; pertenece a la familia *Ancyrocephalidae*. Los monogéneos se hallan comúnmente en la piel o en las branquias de peces de agua dulce, siendo estas últimas donde parasita *L. loridanus*; es un parásito ovíparo, esto es, que sus larvas llamadas oncomiracidios emergen de un huevo; todos los monogéneos poseen un órgano para la fijación en su huésped llamado opisthaptor, el cual sirve para identificarlos y clasificarlos. Investigaciones recientes demuestran que *L. floridanus* causa un efecto negativo significativo en el peso de los bagres (*I. punctatus*) y en su consumo de alimento (Rábago-Castro et al., 2014) Además, *L. floridanus* causa una infección aguda en el bagre de canal, que inicia en el día 3 post infección y alcanza su mayor nivel en el día 7 y comienza a descender en el día 9 causando inflamación en el sitio de la adhesión del parásito. El hacinamiento en los cultivos de bagre en jaulas promueve la transmisión de ectoparásitos entre los peces (Villamil et al., 2003); al facilitar la infestación de *L. floridanus* debido a su ciclo directo mostrando una presencia superior al 85% en las granjas de Tamaulipas (Rábago-Castro, 2010).

El tratamiento contra parásitos externos en las explotaciones acuícolas incluye el uso de productos como las cloraminas, sulfato de cobre y la formalina; sin embargo, algunos de estos productos suelen tener efectos secundarios sobre los peces, como la inmunosupresión, la toxicidad branquial. El praziquantel es una isoquinolona de amplio espectro utilizado contra los parásitos, que es eficaz contra monogéneos por baño por inmersión (Del Rio-Zaragoza et al., 2011); este producto causa parálisis en los trematodos y daña el tegumento. El peróxido de hidrógeno es un fuerte agente oxidante encontrado comercialmente como solución al 3% o para su uso industrial al 30-35%. En el cultivo de peces se usa para tratar la hipoxia ambiental aguda, infecciones fúngicas y bacterianas y como. El H₂O₂ está aprobado por la *Food and Drug Administration* (FDA) para su uso en acuicultura y no requiere de un tiempo de retiro establecido. El metrifonato, también conocido como triclorfón, es un organofosforado utilizado desde la década de 1950 en el ganado, caballos y otras especies menores en la agricultura, para controlar los insectos y como un antihelmíntico. Esta sustancia es un inhibidor de la colinesterasa y recientemente, se ha utilizado para tratar la enfermedad de Alzheimer.

En el presente capítulo se evalúan y analizan los efectos del praziquantel, peróxido de hidrógeno y metrifonato como agentes antiparasitarios contra *L. loridanus* en experimentos *in vitro* e *in vivo* con bagres de canal (*I. punctatus*) infectados naturalmente.

Metodología

Los juveniles de bagre de canal (*I. punctatus*) utilizados en los bioensayos de este capítulo fueron adquiridos en una granja comercial, donde estaban infectados de manera natural con *L. floridanus*; la identificación del parásito se realizó mediante las claves de Hoffman (1985). Los peces fueron trasladados en tanques de fibra de vidrio con aireación al Laboratorio de Bioensayos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia “Dr. Norberto Treviño Zapata” en Ciudad Victoria, Tamaulipas.

Bioensayos *in vitro*

La evaluación *in vitro* utilizó el método de Hirazawa et al., (2000) con ligeras modificaciones; para ello fueron preparadas nueve soluciones con Pzq (Cisticid®, Merck SA de CV, México.) a razón de 2, 5 y 10 mg/L utilizando solución salina (0.65%) (SS), agua destilada (DW) y agua de acuario (AW) como diluyentes para cada una de las concentraciones antes mencionadas; estos tratamientos fueron comparados contra el control (solución salina al 0.65%, agua destilada y agua de acuario); se utilizaron diez peces con un peso promedio de 31.87 ± 3.98 g y una longitud furcal media de 14.40 ± 0.50 cm. Para los experimentos con H_2O_2 y Mtf se utilizaron veinte juveniles de bagre de canal, clínicamente sanos con un peso promedio de $26,75 \pm 1,76$ g una longitud furcal media de $13,56 \pm 1,00$ cm. De igual manera se prepararon nueve soluciones de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) de grado comercial (3%) a razón de 150, 300 y 570 mg/L usando como diluyentes SS, DW y AW. Del mismo modo se prepararon soluciones con Mtf a razón de 0.25, 0.5 y 0.75 mg/L usando los mismos diluyentes antes mencionados para un total de nueve tratamientos.

Los peces fueron sacrificados con 120 mg/L de benzocaína (Cedrosa, México) y les fueron diseccionados los arcos branquiales; se eligieron aquellos arcos branquiales con al menos cinco *L. floridanus*; posteriormente los arcos branquiales fueron sumergidos en una caja de Petri cada uno; la temperatura de la solución se registró en 50 mL y contenía las soluciones de Pzq, H_2O_2 y Mtf y sus controles (SS, DW y AW). La eficacia de las soluciones con sobre *L. floridanus* se determinó por la ausencia de movimiento o la inactividad total de los parásitos (inmaduros y adultos). al ser observados bajo un microscopio estereoscópico (Carl Zeiss®, Stemi 2000-C, Göttingen, Alemania).

Bioensayos *in vivo*

El estudio *in vivo* de Pzq se realizó de acuerdo a las especificaciones de Silveira-Coffigny (2006), con ligeras modificaciones. Para ello se utilizaron veintitrés juveniles de bagre de canal, clínicamente sanos, pero naturalmente infectados con *L. floridanus*. Los peces tuvieron un peso promedio de 27.24 ± 2.04 g y una longitud

furcal media de 13.30 ± 0.86 cm y fueron colocados en un tanque de fibra de vidrio de 80 L, con aireación suministrada por un soplador y un flujo continuo de agua proveniente de un pozo profundo. Una muestra de cinco peces fue tomada para confirmar la infección del parásito. Para ello, los peces fueron anestesiados con benzocaína (40 mg/L) y posterior a ello se sacrificaron mediante punción craneal. La infección con el parásito fue confirmada diseccionando los arcos branquiales del lado izquierdo de los peces, examinándolos bajo un microscopio estereoscópico, mostrando una media de 2.5 ± 1.0 parásitos por arco branquial. Después de esto, los peces restantes se dividieron de manera aleatoria en un grupo control y un grupo de tratamiento, con tres repeticiones de tres peces en cada uno. Se utilizaron seis acuarios con una capacidad de 40 L para el experimento; los acuarios fueron llenados con 37 L de agua, y el nivel fue mantenido con un flujo constante de agua (18 L/h).

Los peces estaban clínicamente saludables y se aclimataron durante 4 días antes de iniciar el tratamiento. Al comienzo del tratamiento, el flujo de agua en los acuarios del grupo control y acuarios del grupo tratado se interrumpió durante 3 h, hasta reducir el volumen de agua a 10 L; luego, se añadieron 100 mg de praziquantel diluidos en agua (100 mL) al agua en los acuarios tratados, para alcanzar una concentración final de 10 mg/L. Los peces fueron sometidos a tres baños de 3 h cada uno, y se llevaron a cabo con intervalos de 72 h; durante este tiempo, las paredes internas de los acuarios se limpiaron con toallas de papel para eliminar los huevos de *L. floridanus* que se hubieran adherido; además las paredes se enjuagaron con la solución de praziquantel contenida en cada acuario. La misma administración, reducción de nivel del agua y la limpieza de la pared se repitió en los acuarios control. Después de tres horas de tratamiento, los niveles de agua se devolvieron al volumen inicial (37 L).

Durante el experimento, los peces fueron alimentados a saciedad dos veces al día, con una dieta comercial para bagre (32% de proteína) con un tamaño de partícula 3 mm. Veinticuatro horas después del último baño de tratamiento, los peces fueron anestesiados con benzocaína (40 mg/L) y sacrificados mediante punción craneal; los cuatro arcos branquiales del lado izquierdo fueron examinados para obtener la prevalencia, intensidad y abundancia de *L. floridanus* (inmaduros y adultos) bajo un microscopio estereoscópico colocándolos en placas Petri con solución salina (0.65%).

El experimento *in vivo* con H₂O₂, Mtf tuvo una duración de 16 d y utilizó un total de treinta y seis peces (31.87 ± 3.98 g) que fueron divididos en tres grupos, cada uno con tres repeticiones con cuatro peces en cada acuario. Los grupos fueron H₂O₂, Mtf y el grupo control.

Los peces se aclimataron, alimentaron y se mantuvieron bajo las mismas condiciones que el bioensayo descrito anteriormente, el flujo de agua en los acuarios tratados se interrumpió y el volumen de agua se redujo a 10 L; el grupo de H₂O₂ recibió 570 mg/L de H₂O₂ (3%) durante 4 min; el grupo Mtf recibió 0.5 mg/L de Mtf durante 10 min. Los tratamientos se realizaron en los días 3, 7 y 11. Al concluir el tiempo de tratamiento, el acuario se llenó al nivel anterior y el flujo de agua fue restablecido. Los peces fueron muestreados en los días 0, 4, 8 y 12 del experimento. Todos los peces en los acuarios fueron anestesiados *in situ* con benzocaína (40 mg/L), añadiendo el compuesto al recipiente; luego, fue tomado al azar un pez de cada acuario y fue sacrificado de la manera antes mencionada en el bioensayo *in vitro*; a continuación los cuatro arcos branquiales de la parte izquierda de cada pez se examinaron bajo el estereoscopio, colocando los tejidos en cajas de Petri con solución salina (0.65%). La infestación inicial de parásitos se determinó en el día 0. Durante el experimento la temperatura del agua, oxígeno disuelto y pH se midieron con un kit de agua dulce (La Motte®, Chertestwon, MD, EE.UU).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en cada desafío de supervivencia fueron analizados bajo la prueba ANOVA. Algunos datos se transformaron para satisfacer los supuestos del ANOVA de normalidad (Kolmogórov-Smirnov) y homocedasticidad de varianza (Bartlett); Los datos que no cumplieron los supuestos se sometieron a la prueba de Kruskal-Wallis utilizando el software comercial Statistica® v6.1 (StatSoft®, Inc. Tulsa, OK, EE.UU) con niveles de significancia de $\alpha=0.05$. Para el experimento *in vivo*, la prevalencia, intensidad y abundancia de *L. floridanus* se obtuvieron de acuerdo a Margolis et al., (1982).

Resultados

Se observó un efecto significativo del Pzq sobre el tiempo de supervivencia de los parásitos durante el ensayo *in vitro*; además, se observó que los parásitos se desprendían de las branquias, antes de que dejaran de moverse.

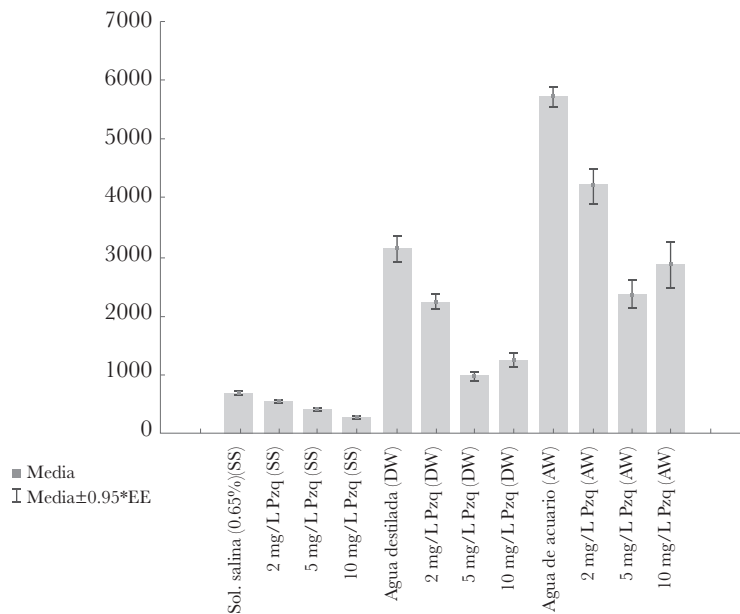
Los parásitos que recibieron 10 mg/L de Pzq utilizando Solución Salina (SS) como diluyente mostraron una contracción (forma curvada) casi inmediata al tener contacto con la solución.

El tiempo de supervivencia de *L. floridanus* en la SS mostró diferencia significativa ($p<0.05$) entre todos los grupos; el grupo control y el grupo tratado con 2 mg/L de Pzq SS tuvieron una diferencia mayor ($p<0.02$) con respecto a los otros grupos.

Los parásitos expuestos a Pzq en el grupo que utilizó agua de acuario como diluyente, mostraron un tiempo de supervivencia más largo que los parásitos expuestos a otras soluciones diluyentes (Figura 1).

Los parásitos en los arcos branquiales de los grupos control y 2 mg/L comenzaron a morir en tiempos muy distintos; mientras que en los grupos de 5 y 10 mg/L, casi el 20% de todos los parásitos observados murió en menos de 100 segundos.

Figura 1. Gráfico comparativo del tiempo de supervivencia de *Ligistaluridus floridanus* en arcos branquiales expuestos a praziquantel y solución salina (0.65%) (SS), agua destilada (DW) y agua de acuario (AW) como diluyentes y controles.



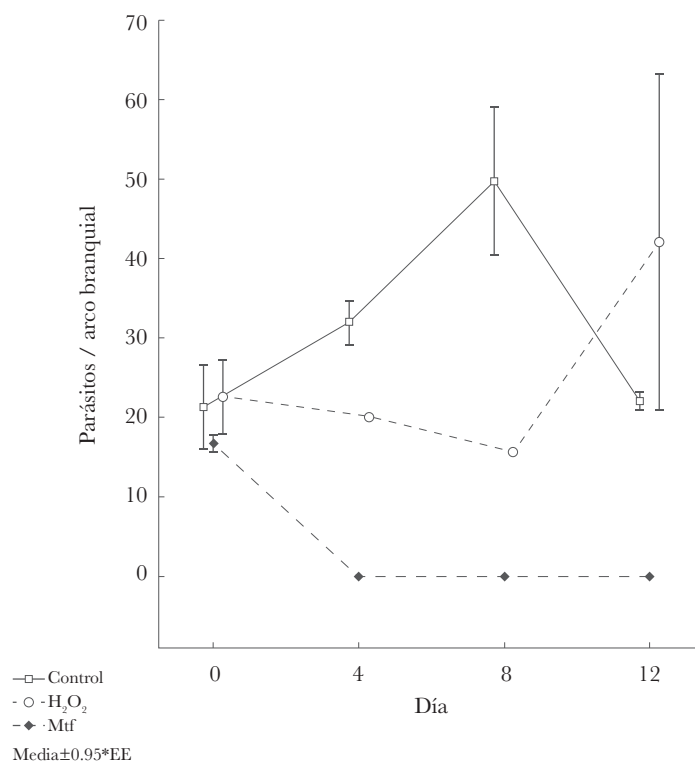
La prevalencia parasitaria mostrada en el grupo control y el grupo tratado (10 mg/L Pzq) en el experimento *in vivo* fue de 100% y 66.6% respectivamente; mientras que la intensidad parasitaria media por pez entre el grupo control y el grupo de tratamiento fue de 76.22 y 5.0 respectivamente; la abundancia parasitaria en el grupo control fue mayor que en el grupo tratado, con 76.22 y 3.33, en cada caso particular.

Los parásitos sumergidos en soluciones de H₂O₂ mostraron menor tiempo de supervivencia respecto a otros diluyentes utilizados en los tratamientos (Tabla 1). El grupo que utilizó solución salina como diluyente mostró que la tasa de mortalidad de *L. floridanus* fue 50% menos que con agua destilada o acuario.

Los resultados de este estudio indican con certeza que la administración de peróxido de hidrógeno, mediante baño de inmersión a dosis de 570 mg/L durante cuatro minutos, fue 100% eficaz contra adultos y estados inmaduros de *L. floridanus*; mientras que los baños con metrifonato a 0.5 mg/L, durante 10 minutos no mostraron una reducción significativa en el número de parásitos medio por arco branquial en ninguno de los tiempos de muestreo.

Los resultados *in vitro* mostraron una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre todos los grupos de H_2O_2 a 570 mg/L en comparación con los otros grupos. Del mismo modo, los grupos con 300 mg/L de H_2O_2 mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre todos los grupos, excepto para el grupo que utilizó DW como diluyente. Los grupos que utilizaron metrifonato con agua destilada y agua de acuario como diluyentes no mostraron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre ellos, a excepción del grupo que utilizó metrifonato a razón de 0.75 mg/L con agua destilada como diluyente.

Figura 2. Cantidad de parásitos (*Ligictaluridus floridanus*) por arco branquial (Media \pm EE) en los días de muestra del bioensayo *in vivo*.



La prevalencia de *L. floridanus* en el grupo control y el grupo de metrifonato durante el experimento *in vivo* fue de 100% en cada uno de los días de muestra; es decir, tuvieron parásitos presentes en cada uno de los días de muestra; en los peces tratados con peróxido de hidrógeno la prevalencia parasitaria disminuyó de un 100% en el día 0 del experimento a 0% en los días de muestreo 4, 8 y 12 (Figura 2).

La intensidad media parasitaria de *L. floridanus* en el grupo control fue de 170.67, 256.00, 398 y 176.67 para los días 0, 4, 8 y 12 respectivamente. Los peces tratados con metrifonato mostraron una intensidad media parasitaria más baja que el grupo de control con 161,33 y 125,33 en los días 4 y 8, mientras que fue más alta en los días 0 y 12 mostrando 181.33 y 336.67 respectivamente.

Tabla 1. Media \pm EE del tiempo de sobrevivencia de *Ligictaluridus floridanus* por arco branquial expresado en segundos inmerso *in vitro* en soluciones con metrifonato (Mtf) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al utilizar solución salina (SS) (0.65%), agua destilada (DW) y agua de acuario (AW) como diluyentes.

Grupo	Arco branquial 1	Arco branquial 2	Arco branquial 3
Sol. Salina (0.65%) (SS)	1861.75 \pm 1258.56	1995.21 \pm 1094.77	2164.29 \pm 1099.17
0.25 mg/L Mtf (SS)	2308.24 \pm 864.92	2875.27 \pm 1064.90	2927.68 \pm 1326.15
0.50 mg/L Mtf (SS)	3798.65 \pm 2164.97	3996.79 \pm 1005.69	3418.82 \pm 1019.84
0.75 mg/L Mtf (SS)	3426.11 \pm 1166.16	2452.26 \pm 373.08	2750.22 \pm 692.78
150 mg/L H_2O_2 (SS)	1360.65 \pm 537.79	763.40 \pm 429.86	697.50 \pm 209.87
300 mg/L H_2O_2 (SS)	203.69 \pm 148.78	207.00 \pm 0.00	239.00 \pm 0.00
570 mg/L H_2O_2 (SS)	128.67 \pm 24.63	133.00 \pm 30.39	197.82 \pm 23.64
Agua Destilada (DW)	5573.82 \pm 1800.83	4870.00 \pm 1394.34	8886.88 \pm 4088.52
0.25 mg/L Mtf (DW)	6315.61 \pm 3862.51	6560.35 \pm 3999.35	5593.27 \pm 4014.29
0.50 mg/L Mtf (DW)	9196.33 \pm 1181.71	8987.55 \pm 1237.62	3435.77 \pm 1556.01
0.75 mg/L Mtf (DW)	3399.60 \pm 1322.96	2872.00 \pm 1286.66	2021.11 \pm 756.92
150 mg/L H_2O_2 (DW)	653.69 \pm 418.03	815.35 \pm 295.77	706.90 \pm 364.90
300 mg/L H_2O_2 (DW)	720.20 \pm 281.99	491.30 \pm 140.23	715.23 \pm 213.99
570 mg/L H_2O_2 (DW)	243.76 \pm 87.10	902.69 \pm 145.24	151.14 \pm 134.74

Grupo	Arco branquial 1	Arco branquial 2	Arco branquial 3
Agua de Acuario (AW)	6217.60 ± 1683.77	7207.38 ± 1842.21	5886.00 ± 1303.12
0.25 mg/L Mtf (AW)	9614.60 ± 2828.86	9792.27 ± 1995.35	86.39 ± 2114.16
0.50 mg/L Mtf (AW)	8624.35 ± 3820.95	6153.33 ± 3323.96	8755.07 ± 4048.05
0.75 mg/L Mtf (AW)	5137.00 ± 2022.88	5471.21 ± 2005.91	5441.57 ± 2195.02
150 mg/L H ₂ O ₂ (AW)	1642.00 ± 0.00	1743.40 ± 578.25	1000.00 ± 0.00
300 mg/L H ₂ O ₂ (AW)	318.79 ± 123.68	230.79 ± 24.43	134.27 ± 53.27
570 mg/L H ₂ O ₂ (AW)	255.08 ± 185.08	230.48 ± 116.17	337.77 ± 141.38

Los juveniles tratados con peróxido de hidrógeno tuvieron una intensidad media inicial de *L. floridanus* de 67,00 parásitos en el día 0; después del tratamiento inicial en los días 4, 8 y 12 no se hallaron parásitos. Una vez que se llevó a cabo el primer baño de tratamiento la infestación media de parásitos de *L. floridanus* por arco branquial mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre el grupo tratado con peróxido de hidrógeno y los otros dos grupos experimentales.

Discusión y conclusiones

Resulta sumamente complicado lograr una desparasitación 100% efectiva en el cultivo de peces en jaula debido a que se encuentran en un ambiente muy diverso, por lo general en cuerpos grandes de agua donde resulta prácticamente imposible controlar las poblaciones parasitarias. El praziquantel parece ser un fármaco antihelmíntico eficaz adecuado para ser utilizado como un agente de control (Benavides-González et al., 2014). El tratamiento *in vitro* donde se utilizó praziquantel a una dosis de 10 mg/L con solución salina como diluyente mostró ser el más eficaz; sin embargo, el experimento *in vivo*, no tuvo resultados similares a los hallados en el experimento *in vitro* con solución salina. El comportamiento observado en los tiempos de muerte de los parásitos por arco branquial en las poblaciones totales de los grupos control y de los grupos tratados con Pzq demuestra que encaja en una distribución normal, puesto que casi el 40% del total de parásitos contados murió en un corto período de tiempo cercano del tiempo promedio de sobrevivencia. La contracción que el parásito mostró al utilizar solución salina como diluyente no se observó durante los tratamientos de agua destilada y agua de acuario; al respecto, Hirazawa et al., (2000) informaron sobre la contracción de helmintos en ensayos *in vitro* con 20 mg/L de praziquantel, y aceites de pimienta y canela utilizando agua de mar filtrada como diluyente; ello posiblemente afectó la osmorregulación del

parásito debido a la alta concentración salina, además de que pudiera haber una sinergia en el ingrediente activo utilizado.

Los experimentos reportados en el presente estudio, mostraron claramente que la solución salina (0.65%) afecta el tiempo de supervivencia de *L. loridanus*, probablemente debido a la presencia de sodio en la solución salina según lo reportado por Schelkle et al., (2011) quienes también informaron de tratamientos antiparasitarios con cloruro de sodio en guppies (*Poecilia reticulata*), que afectan monogéneos, atribuyendo su acción a posibles cambios o interrupción de la osmorregulación; este mismo resultado se observó en el experimento en donde se utilizó praziquantel a 10 mg/L diluido en solución salina.

Una ventaja de incluir praziquantel como agente de control para parásitos internos en bagre de canal es que tiene buena absorción a través de epitelios, evidenciado por la reducción de las metacercarias después de los tratamientos en baños; sin embargo se requiere el establecimiento de la correcta dosis letal para minimizar el posible desarrollo de la resistencia a praziquantel, causada por la exposición prolongada del parásito a dosis subletales.

Los resultados de este estudio indican claramente que la administración de peróxido de hidrógeno como baño a 570 mg/L durante 4 min fue 100% eficaz contra adultos y estados inmaduros de *L. loridanus*; mientras que metrifonato en 0.5 mg/L durante 10 minutos mostró una reducción no significativa en la media parasitaria por arco branquial en los dos siguientes baños; sin embargo, en el tercer baño, se observó un incremento en el número de parásitos (Benavides-González et al., 2015). Algunos estudios de metrifonato o triclorfón en monogéneos en diferentes dosificaciones que van de 0.25 hasta 200 mg/L no mostraron efectividad en *Gyrodactylus* sp. (Schelkle et al., 2009); en este sentido se ha reportado una reducción parasitaria no significativa en *Gasterosteus aculeatus* y *Oncorhynchus mykiss* tratados con metrifonato contra los monogéneos *Gyrodactylus aculeati* y *Diplozoon paradoxum*; por el contrario, Buchmann (1993) documentó un efecto parasiticida moderado de metrifonato contra *Dactylogyrus* spp. sobre la anguila europea (*Anguilla anguilla*), aunque también reportó toxicidad en esta especie después de 24 h de exposición y su muerte en dosis de hasta 10 mg/L; en este estudio, la infección de *L. loridanus* muestra una ligera reducción de parásitos, pero sin significancia estadística ($p > 0.05$); quizá sea necesario utilizar una mayor cantidad de metrifonato, sin embargo, hay que considerar que como todo organofosforado, podría poner en peligro la salud de los peces o causar toxicidad.

La ventaja de peróxido de hidrógeno sobre el metrifonato es principalmente de que su uso está aprobado por parte de la Food and Drug Administration (FDA) como un tratamiento no perjudicial para el ambiente; una vez que se oxida, se

convierte en agua y oxígeno; sin embargo, la FDA no propone el uso de peróxido de hidrógeno para las infecciones por monogéneos, sino como un tratamiento bacteriano para branquias y efecto fúngico en ovas.

De acuerdo con Thomassen (2006) este producto químico se utiliza para la eliminación de parásitos de la piel y branquias y se ha empleado en varias especies de peces para la erradicación de monogéneos en diferentes tiempos y dosis. Por ejemplo, infecciones por *Gyrodactylus* spp. han sido tratadas con peróxido de hidrógeno en la trucha arco iris (*O. mykiss*) donde dosis de hasta 560 mg/L se necesitaron para eliminar los parásitos de la piel y las branquias (Bowker et al., 2012). Sitjà-Bobadilla et al., (2006) también utilizaron el peróxido de hidrógeno en *Sparus aurata* L. infectados *in vivo* con *Sparicotyle chrysophrii*; no obstante, estos autores sugieren el uso de 100 mg/L durante 30 min para una reducción significativa en la abundancia de los parásitos; Cruz-Lacierda et al., (2012) asimismo utilizaron este químico a una dosis de 200 mg/L durante 1 h contra infecciones de *Pseudorhabdosynochus lantauensis* en *Epinephelus coioides*, sin reportar mortalidad de los peces infectados. De acuerdo con los tratamientos, la infección con *L. loridanus* en el bage de canal se comporta de la misma manera, eliminando todos los adultos y parásitos inmaduros, aparentemente incluyendo huevos; se requiere sin embargo de investigaciones adicionales futuras, incluyendo la evaluación *in vitro* para corroborar lo anterior. Mansell et al., (2005) reportaron efectos negativos sobre la salud de los peces utilizando peróxido de hidrógeno en el jurel (*Seriola lalandi*) infectado por cohabitación con monogéneos de *Zeuxapta seriolae*.

En conclusión, el peróxido de hidrógeno puede erradicar efectivamente gusanos inmaduros y adultos de *L. loridanus* en branquias de bage de canal (*I. punctatus*), pero el praziquantel y el metrifonato no funciona tan bien como el peróxido de hidrógeno; la dosis de 570 mg/L de peróxido de hidrógeno mostró ser segura para su uso en bage durante al menos durante cuatro minutos y eliminó a todos las fases de *L. loridanus*. El corto tiempo de exposición al peróxido de hidrógeno es la principal preocupación para evitar daños branquiales. Se necesitan más estudios para evaluar el daño particular que causa en *L. loridanus*; del mismo modo, evaluar baños prolongados para establecer el daño tisular en el bage de canal, antes de su uso en las condiciones prácticas de cultivos acuícolas.

Lista de referencias

- Benavides-González, F., Gómez-Flores, R. A., Sánchez-Martínez, J. G., Rábago-Castro, J. L., & Montelongo-Alfaro, I. O. (2014). In vitro and in vivo antiparasitic efficacy of praziquantel against monogenean *Ligictaluridus floridanus* in channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *The Thai Journal of Veterinary Medicine*, 44 (4), 533.
- Benavides-González, F., Gomez-Flores, R. A., Rábago-Castro, J. L., Sánchez-Martínez, J. G., & Montelongo-Alfaro, I. O. (2015). Effects of Hydrogen Peroxide and Metrifonate on Monogenean *Ligictaluridus floridanus* on Catfish (*Ictalurus punctatus*, Rafinesque) Gills. *Journal of Parasitology*, 101(6), 707-710.
- Bowker J. D., Carty D., Dotson M. M. (2012). Efficacy of 35% PEROX-AID (hydrogen peroxide) in reducing an infestation of *Gyrodactylus salmonis* in freshwater-reared Rainbow Trout. *North American Journal of Aquaculture*, 74, 154-159.
- Buchmann K. (1993). Screening of 22 Anthelmintics for their efficacy against the gill-parasitizing monogeneans pseudo-dactylogyrus spp. from the european eel (*Anguilla anguilla*). *Bulletin of the Scandinavian Society for Parasitology*, 1, 11-19.
- Cruz-Lacierda E. R., Pineda A. J. T., Nagasawa K. (2012). In vivo treatment of the gill monogenean *Pseudorhabdosynochus lantauensis* (Monogenea, Diplectanidae) on orange-spotted grouper (*Epinephelus coioides*) cultured in the Philippines. *International Journal of the Bioflux Society*, 5, 330-336.
- Del Rio-Zaragoza O. B., Fajer-Ávila E. J., Almazán-Rueda P. (2011). Influence of β -glucan on innate immunity and resistance of *Lutjanus guttatus* to an experimental infection of dactylogyrid monogeneans. *Parasite Immunology*, 33, 483-494.
- Hirazawa N., Ohtaka T., Hata K. (2000). Challenge trials on the anthelmintic effect of drugs and natural agents against the monogenean *Heterobothrium okamotoi* in the tiger puffer *Takifugu rubripes*. *Aquaculture*, 188, 1-13.
- Hoffman G. L. (1985). Worm Parasites (Helminths and Leeches). En: Plumb J. A. (Ed.) *Principal Diseases of Farm Raised Catfish* (pp. 35-49). Auburn, Alabama.
- Mansell B., Powell M. D., Ernst I., Nowak B. F. (2005). Effects of the gill monogenean *Zeuxapta seriolae* (Meserve, 1938) and treatment with hydrogen peroxide on pathophysiology of kingfish, *Seriola lalandi* Valenciennes, 1833. *Journal of Fish Diseases*, 28, 253-262.
- Margolis L., Esch G. W., Holmes J. C., Kuris A. M., Schad G. A. (1982). The use of ecological terms in parasitology (report of an ad hoc committee of the american society of parasitologists). *Journal of Parasitology*, 68, 131-133.
- Rábago-Castro J. (2010). Monitoreo y distribución de enfermedades bacterianas y parasitarias en el cultivo de bagre de canal *Ictalurus punctatus* en Tamaulipas.

Monterrey, Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas.

- Rábago-Castro J. L., Sánchez-Martínez J. G., Pérez-Castañeda R., Vázquez-Sauceda M. L., Ruiz-Orozco G. (2014). Chronic effects of a monogenean *Ligictaluridus floridanus* (Ancyrocephalidae) infection on channel catfish (*Ictalurus punctatus*) growth performance. *Acta Veterinaria Brno*, 83, 83-87.
- Schelkle B., Doetjes R., Cable J. (2011). The salt myth revealed: treatment of gyrodactylid infections on ornamental guppies, *Poecilia reticulata*. *Aquaculture*, 311, 74-79.
- Schelkle B., Shinn A. P., Peeler E., Cable J. (2009). Treatment of gyrodactylid infections in fish. *Diseases of Aquatic Organisms*, 86, 65-75.
- Silveira-Coffigny R. (2006). Los productos fito-farmacéuticos en la acuicultura (The phyto-pharmaceuticals products in aquaculture). *REDVET*, 7, 1-10.
- Sitjà-Bobadilla A., Conde de Felipe M., Alvarez-Pellitero P. (2006). *In vivo* and *in vitro* treatments against *Sparicotyle chrysophræi* (Monogenea: Microcotylidae) parasitizing the gills of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.). *Aquaculture*, 261, 856-864.
- Thomassen JM. (2006). Hydrogen peroxide as a delousing agent for Atlantic salmon. En: Boxshall G. A., Defaye D. (Ed.), *Pathogens of Wild and Farmed Fish: Sea Lice*. Chichester: Ellis Horwood Limited. (pp. 290-295).
- Villamil L., Figueras A., Novoa B. (2003). Immunomodulatory effects of nisin in turbot (*Scophthalmus maximus* L.). *Fish & Shellfish Immunology*, 14, 157-169.

CAPÍTULO 2

El examen post mortem en el diagnóstico veterinario

Ned Iván de la Cruz Hernández^{3*}
José Octavio Merino Charrez⁴

Introducción

La expresión *post mortem* es latina, y su significado es “después o a continuación de la muerte”, usándose para todos aquellos actos que se practican luego de la muerte de una persona, sobre su cadáver; o a los efectos de acciones que la persona ya fallecida realizó en el curso de su vida, pero que se cumplen luego de su deceso. (*Post mortem*. deconceptos.com)

Las primeras civilizaciones se interesaron en examinar cuerpos humanos cuando éstos sufrían heridas de guerra o eran víctimas de sacrificios rituales, con especial interés en la cavidad abdominal (Nogales, A. 2004). Es conocido el caso de Egipto, en donde el historiador *Manetón* narró que el faraón médico *Athotis* escribió libros de medicina en los que se encontraban descripciones anatómicas en el año 4000 antes de Cristo (a.C.). Se menciona además que desde el año 3000 a.C. se realizaban embalsamamientos en cadáveres humanos; no obstante, estos procedimientos no eran realizados por médicos y los conocimientos anatómicos eran basados en la matanza de animales que era supervisada por sacerdotes (Nogales, A. 2004).

Cuando se trata de actos cometidos sobre el cadáver pueden mencionarse la autopsia (necropsia), que es un examen médico de inspección y disección del cuerpo muerto, para averiguar las causas del deceso, sobre todo si resultó dudoso (muerte accidental o provocada) y/o averiguar las patologías (patogenias) que lo hubieran afectado. También puede emplearse para describir el cadáver (rigidez o frialdad *post mortem*).

³ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia “Dr. Norberto Treviño Zapata”. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Km 5 Carretera Victoria-Mante s/n. CP 87000. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. Tel and fax.: + 52 834 312 1061

⁴ *Ibidem*

* Autor para correspondencia E-mail: ncruz@uat.edu.mx

Autopsia - Necropsia

Etimológicamente la palabra autopsia significa “ver por uno mismo” (Vargas-Alvarado 1999), pues procede de la palabra griega “αυτοψία” que de hecho se refiere a la acción de ver por los propios ojos (DRE 2013). En el léxico común se define como “examen anatómico de un cadáver” o “examen analítico minucioso”. En Centro y Suramérica se utiliza de forma generalizada esta palabra para referirse a dicho acto médico (Finkbeiner 2009), sin embargo, en otros países de habla hispana se utiliza su principal sinónimo “necropsia” (DRE 2013) que combina las raíces griegas que se refieren a “muerte” y a “vista”, es decir, examen de un cadáver.

No obstante, en general, en el ámbito médico, y en particular, en el campo de las especialidades en las que se efectúan autopsias, como la Anatomía Patológica, su subespecialidad Patología Forense o la Medicina Legal, no es tan sencillo encontrar una definición completa de lo que significa en realidad este procedimiento.

Una de las más integrales la propone Wagner (Wagner 2005): “La autopsia es la evaluación completa de la muerte de un individuo y de todas las circunstancias que la rodean. Incluye un examen total del cadáver en lo que se ha llamado el último examen físico”.



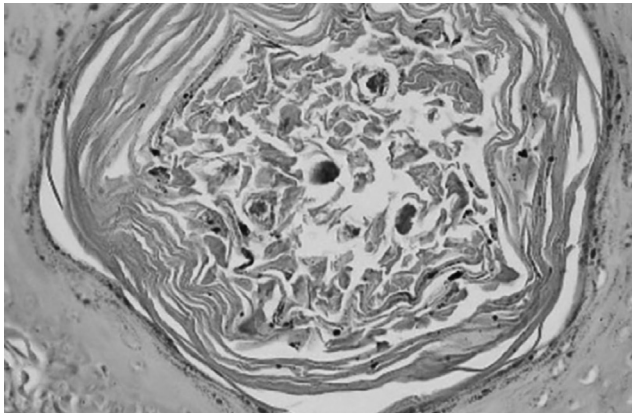
Fotografía de necropsias

Fuente: Ned Iván de la Cruz Hernández

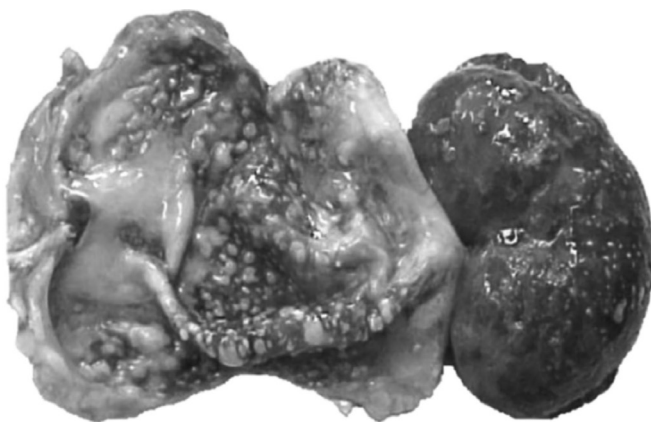
Necropsia significa estudio de la muerte, o examen post-mortem (Law et al., 2012). La técnica consiste en el examen cuidadoso de todos los órganos y colecta adecuada de sus fragmentos. Su uso es fundamental para la confirmación del diagnóstico, a fin de aclarar o incluso corregir el diagnóstico clínico. Los médicos que participan

en las autopsias y acompañan todo el estudio del caso, tienden a comprender mejor el proceso patológico (Peixoto et al., 1998).

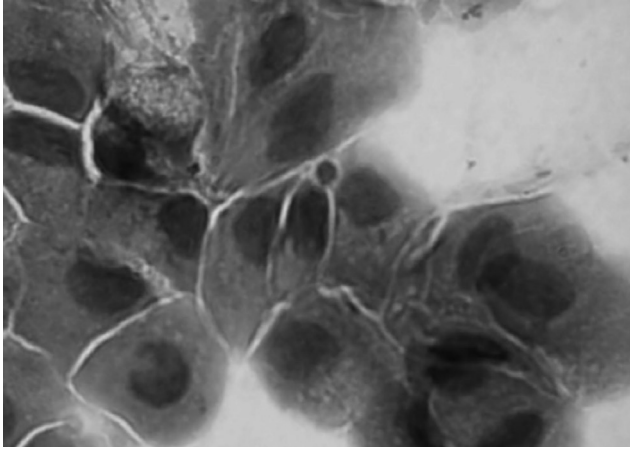
Además de la importancia que se debe dar al estudio macroscópico como herramienta básica e imperante en el quehacer veterinario; en los rebaños o hatos, cuando los animales se enferman e incluso mueren, la necropsia y el diagnóstico de algunos animales, lleva al tratamiento del resto, evitando más pérdidas (Tokarnia et al., 2012). Sin embargo, hay que recordar siempre que para realizar una necropsia es necesario equipo de protección individual, pues el material manipulado puede ser contagioso, un cuchillo de buena calidad, una tijera y una pinza de disección (Werner, 2010).



Corte histológico piel noduloquístico 5 Micras con tinción H&E Obj 40x
Fuente: Ned Iván de la Cruz Hernández



Vejiga urinaria y riñón con exudado granulomatoso
Fuente: Ned Iván de la Cruz Hernández

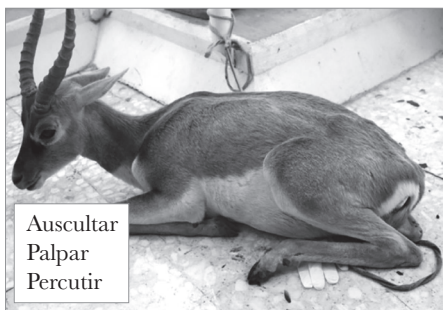


Citopatología exfoliativa con cuerpo de inclusión intracitoplásmico (CIIC)

Fuente: Ned Iván de la Cruz Hernández

La necropsia es un examen macroscópico minucioso y sistemático de los órganos y tejidos en un cadáver para identificar lesiones características de una enfermedad y determinar la causa de muerte, el grado de enfermedad o lesión, el efecto de la terapia o la identificación de alguna condición patológica no detectada *ante mortem* (Aline 2002). La necropsia es un procedimiento de diagnóstico que facilita el control de muchas enfermedades. Realizada con habilidad, prolijidad, espíritu de observación y unida a una inteligente interpretación de los hallazgos *post mortem* y sentido común, dará un alto grado de eficiencia a quien la realice. (Inta 2010).

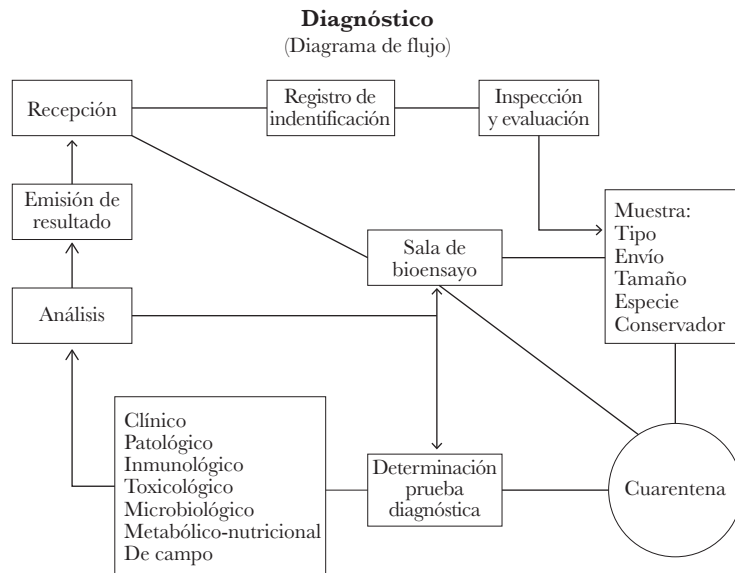
Evaluación clínica → Parámetros clínicos



Observar → Describir
Analizar

Fotografía: Ned Iván de la Cruz Hernández

Se pueden señalar como objetivos de la necropsia: a) Determinar la causa de la muerte o enfermedad. b) Identificar anomalías congénitas. c) Establecer el diagnóstico morfológico y etiológico de la enfermedad. d) Confirmar o rechazar el diagnóstico clínico y establecer la correlación entre la clínica y la patología. e) Valorar los resultados del tratamiento médico para mejorarlos en su aplicación a los enfermos. f) Informar al clínico, para la toma de medidas sanitarias o de salud pública. g) Poseer información para análisis estadísticos y epidemiológicos. (Aline 2002).



Fuente: Elaboración propia

Existen varias técnicas descritas por diferentes autores. Cada patólogo tiene predilección por una u otra. Es importante tener presente que cada caso necesitará de ciertas modificaciones, tomando en cuenta el diagnóstico *ante mortem*. Sin embargo, para el estudiante es aconsejable que, como regla general, trabaje siguiendo una rutina establecida. Por la diversidad de animales que en medicina veterinaria se tienen que estudiar, los procedimientos cambian ligeramente de acuerdo con las particularidades anatómicas de cada especie. El cadáver de rumiantes adultos, se coloca en decúbito lateral izquierdo, para observar las diferentes vísceras abdominales. En equinos, éstos se colocan en decúbito lateral derecho, para una mejor apreciación y revisión in situ de todas las vísceras abdominales. En el resto de las especies, se prefiere colocarlos en decúbito dorsal, con lo cual se logra una inspección de las vísceras abdominales.

Requiere del conocimiento general y especial de la patología de órganos y sistemas. Demanda también el conocimiento de la normalidad de los órganos y la identificación de los cambios post mortem que eventualmente se produzcan.

La necropsia está constituida por una serie de pasos a seguir a fin de acercarse con la mayor certeza posible a la o las razones por las cuales un organismo ha fallecido. Esta causa puede ser patológica, por razones ambientales, por tóxicos, por exceso de estrés, etcétera. Para su análisis crítico se debe conocer los datos previos de los organismos, ya sea edad, sexo, calidad y cantidad de alimento que recibieron, contenedores donde se estabularon, etcétera.

El hecho de contar con un protocolo de necropsia permitirá al veterinario realizar una necropsia sistemática, completa y rápida. Se deberá siempre tener en cuenta que se puede manipular material de riesgo para la salud propia o de quienes nos rodeen; la posibilidad de adquirir una zoonosis no deberá nunca ser desestimada. En un 80% de los casos se llega a un diagnóstico certero cuando se envía un animal vivo con síntomas, o recientemente muerto, mientras que dicho porcentaje es mucho menor cuando solamente las muestras son llevadas al laboratorio (anexo).

El término Enfermedad (*del lat, infirmitas-atis*), es sinónimo de situación morbosa y se puede conceputar como; un estado orgánico caracterizado por la perturbación de las manifestaciones vitales, se acompañe o no de alteración celular.

• **Patogenia** (que es el estudio de alteraciones y lesiones en un orden cronológico y evolutivo), de la enfermedad)

• **Anatomía patológica:** etimológicamente se derivan de las voces griegas **Anatémnein** = cortar, disecar; de **pathos** = enfermedad, y de **logos** = tratado.

En países desarrollados, tomando como ejemplo Estados Unidos, las autopsias han sufrido una disminución significativa. En literatura especializada al respecto resaltan su gran valor histórico, epidemiológico, de correlación anatomoclínica, estadística y de salud pública, sin embargo, en la década de los años cincuenta del siglo anterior se practicaban autopsias a aproximadamente el 50 % de las muertes, mientras que en la actualidad esta tasa ha descendido a menos del 15 % en 2009 (Finkbeiner 2009).

Un grupo de autores ha tratado de (SMPV AC) rescatar el valor de la Necropsia mediante publicaciones donde señalan la importancia de implementar un servicio de autopsias académico, para mejorar los estándares de calidad del médico. Uno de estos estándares precisamente es correlacionar los diagnósticos clínicos con los anatomopatológicos para la retroalimentación de los diferentes criterios e integrar los Dx.

Al respecto existen estudios interesantes que señalan que a pesar de los avances tecnológicos diagnósticos actuales (en exámenes de laboratorio y

gabinete, imagenología) continúan errándose diagnósticos y peor aún, aplicándose tratamientos equivocados.

En un estudio norteamericano (Bayer-Gartner et al., 2002) se concluyó que 49 % de los casos estudiados tenían al menos un mal diagnóstico y, de ellos, un 58 % inducía a un tratamiento equivocado para la patología de fondo (Bayer-Garner 2002). Concluyen al afirmar que la autopsia es primordial en los servicios hospitalarios, porque constituye una evaluación de métodos de diagnóstico y tratamiento, proporciona información de manifestaciones de la enfermedad, ayuda al reconocimiento de nuevas enfermedades, contribuye a investigar cómo aumentar la sobrevida en el cáncer, esclarece situaciones para disminuir denuncias de responsabilidad médica; además que siempre ha constituido un pilar de la Salud Pública (Bayer-Garner 2002, Shojania, KG. Burton 2003). No así en medicina veterinaria donde, de ser necesario, se deben establecer estudios referentes al uso de esta herramienta y metodología forense para determinar su utilidad y gran importancia en la sanidad animal en México.

Clasificación

Las Necropsias pueden clasificarse de muchas formas. Por la técnica utilizada, también pueden dividirse en completas y parciales. Por ejemplo, en el abordaje médico forense de muertes masivas de animales, cuando hay una gran cantidad de víctimas por una catástrofe natural, basta realizar de 1 a 3 exámenes externos (inspecciones), para poder establecer las causas de muerte. Asimismo, de acuerdo con el grupo etario, la necropsia puede clasificarse en neonatal o perinatal (idealmente debe ser realizada por un patólogo especialista) y la autopsia de adulto.

Sin embargo, la clasificación más conocida es desde el punto de vista de los objetivos que persigue, que las divide en Necropsia hospitalaria (efectuada por un anatomopatólogo en el Laboratorio) y Necropsia médico legal o Forense (efectuada por un médico o un **patólogo forense** realizada en las dependencias del Poder Judicial o lugar del desastre).

Para el caso de Necropsias En los Animales no existe una clasificación específica se puede aplicar; por especie (aves, peces, bovinos, etc.) o por tallas (necropsia en Grandes Especies, necropsia en pequeñas especies, fauna silvestre) esto dependerá de la talla y especie de interés por la manipulación de sus tejidos y la forma utilizada para la disección.

La medicina veterinaria requiere de personal capacitado con la finalidad de llegar al diagnóstico de las enfermedades que afectan a los animales domésticos, de tal manera que es necesario establecer un enlace entre los médicos de campo y de laboratorio para lograr este objetivo. Para la selección de muestras adecuadas y

necesarias para obtener un diagnóstico, se requiere cierta experiencia, ya que las pruebas solicitadas deben permitir la obtención de un resultado en corto tiempo con ahorro de material y esfuerzo.

- Historia clínica /anamnesis
- Aplicación de los métodos de laboratorio
- Interpretación y uso de los resultados
- Solución del problema clínico

Limitación

- Utilización de datos
- Toma de muestras inadecuadas
- Información y requerimiento inadecuado
- Interpretación de resultados
- Dx. incorrecto
- Medicación inadecuada

Toma y envío de muestras

- Personal capacitado
- Laboratorio de diagnóstico veterinario
- Naturaleza de la enfermedad
- Grado, severidad, daño
- Respuesta
- Exploración, historia clínica

Conservación y envío

Consideraciones generales para el tipo de muestra de análisis;

- Alto riesgo (potencialmente infecciosas)
- Utilizar un mensajero directo (rápido y seguro)
- Obtenidas lo más frescas posibles y conservadas correctamente
- Rotulación e identificación
- Información acerca del remitente
- Historia clínica
- Diagnóstico probable presuntivo
- Indicar con claridad la determinación exacta que se requiera

Tipos de conservadores

- Hielo: este método es adecuado si la muestra es debidamente empacada y la distancia al laboratorio no es muy grande, el hielo conserva la muestra

durante periodos de 18 a 24 h en periodos de invierno, pero el tiempo de conservación es mucho más breve en verano, de 8 a 12 h, la muestra que se envía en hielo debe colocarse en un recipiente hermético.

- Hielo seco: este método de refrigeración se prefiere si la congelación de la muestra no interfiere con los procedimientos que se realizan en el laboratorio, la muestra se coloca en una bolsa de plástico o en otro recipiente hermético junto con el hielo seco envuelto en papel, el hielo seco no debe ponerse en contacto directo con las muestras.
- No enviar hielo seco en recipientes metálicos o de vidrio, porque al evaporarse aumenta la presión y puede producirse una explosión.

Conservadores químicos

Examen bacteriológico:

- Medio Stuart----- Agentes Aerobios
- Medio de Amies ----- “ “
- Medio de Carey-Blair ----- “ “
- Medio de Sodio ----- Agentes Anaerobios

Nota: Los métodos más comunes son la refrigeración y congelación de muestras empacadas con hielo seco, que no esté en contacto con la muestra para no inactivar a los microorganismos; el medio Stuart es práctico para infecciones micóticas. Cuando se toman muestras de órganos o tejidos es recomendable realizar bloques de 3 cm³ y sellar la superficie con una espátula caliente o flamearla, los tejidos de un animal muerto deben trabajarse en menos de dos horas.

- Alcohol al 70%
- Sol. AFA
- Formol al 5%
- Dicromato de Potasio al 3%

Examen histopatológico:

- Muestras frescas refrigeradas (*)
- Formol al 10% Bufferado
- Formol al 10%

Examen citológico

- Muestra en porta objetos limpio, fijada en alcohol al 70%
- Líquido en jeringa estéril, refrigeración

Nota: Para realizar los raspados de piel se utiliza una gota de aceite mineral, o una de glicerol (glicerina)

Los resultados citológicos pueden ser raspados de piel, conjuntiva, vagina, mucosa oral y se practican con hojas de bisturí o isopos; se realizan frotis en portaobjetos limpios para posteriormente fijarlas en alcohol metílico por 15 min. o secarlas al aire, de la misma manera se pueden llevar a cabo improntas (frotis de impresión) que consiste en poner en contacto un corte de tejido con portaobjetos; estos pueden ser tejidos lesionados, de biopsias de nódulos o tumores y de tejido de necropsias. Se puede practicar la punción con aguja delgada (calibre 21) de tumores superficiales o profundos de piel y órganos como testículo, próstata, páncreas, hígado, glándulas y nódulos linfáticos entre otros, líquidos torácico, abdominal, sinovial, cefalorraquídeo o líquido de lavados...

- A la obtención del suero no se debe colocar la sangre en refrigeración inmediatamente.
- La lipemia se puede presentar si el paciente no ha ayunado el tiempo adecuado.
- La sangre se debe obtener de un animal en reposo.
- Entre mayor sea el tiempo transcurrido de la muestra guardada mayor será el deterioro.
- Un frotis se debe realizar 15 minutos después de la obtención de la muestra.
- El tiempo de duración de la obtención de la muestra debe ser corto.
- Debe siempre tomarse en cuenta el mezclado de la sangre con el anticoagulante.
- Se debe considerar para la obtención de la muestra para análisis clínicos el efecto de la hora o el momento del muestreo sobre los componentes que se van a analizar en el laboratorio.
- Cuando la prueba se realice en laboratorio no especializado en veterinaria es conveniente consultar que tipo de muestra, cantidad y manejo se requiere para una prueba especial.

Frotis; se toman directo del paciente sin anticoagulante, con portaobjetos limpio y libre de grasa, el frotis se seca para evitar la deformación celular, los frotis de médula ósea se preparan como los de sangre pero se recomienda utilizar anticoagulante EDTA, K, y se fijan en alcohol.

Bacteriología; sangre para cultivo, por lo general no inferior a los 10 ml, se requiere una estricta asepsia en la toma de la muestra y el paso de éstas a tubos

esterilizados, el sitio de toma rasurado y lavado con jabón, también se conserva en refrigeración.

Biopsias; es la obtención de una muestra de tejido en un animal vivo. Médula ósea, el hueso escogido para la bx debe tener médula roja activa por aspiración, estricta asepsia durante el procedimiento, en pequeñas especies se utilizan agujas tipo *Salah (Rosenthal, Vin-Silverman)* de 20 mm de largo, en caballos y bovinos hasta 150 mm, el sitio puede ser la fosa trocanteriana, utilizando Citrato de sodio a través de la aguja de bx; para evitar la coagulación se introduce en la médula con un movimiento de rotación, obteniéndose 0.5 ml de médula ósea (en pequeñas especies es menos).

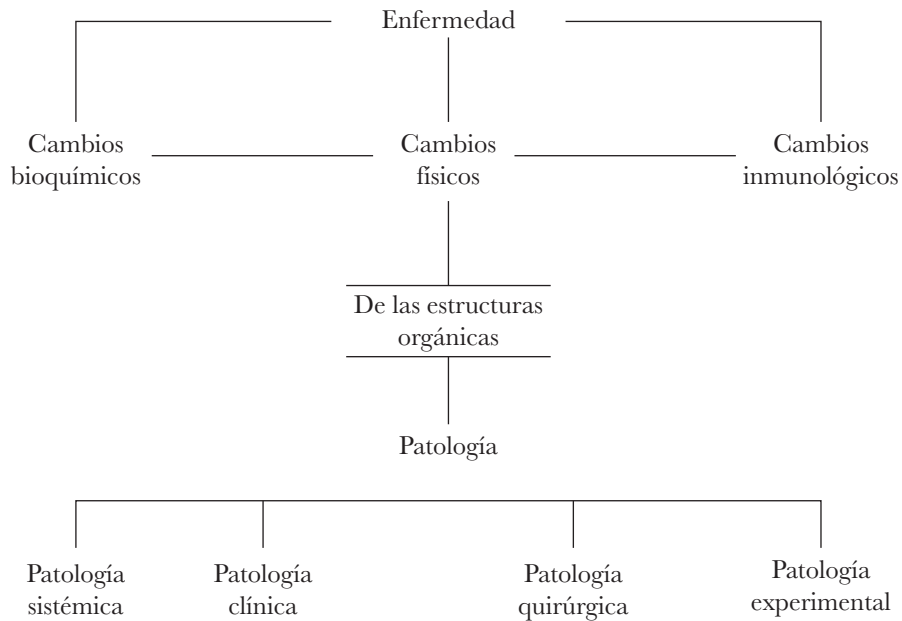


Diagrama: Ned Iván de la Cruz Hernández

En las complejidades de la existencia contemporánea el especialista que está capacitado, pero no educado y que está técnicamente calificado, pero es culturalmente incompetente constituye una amenaza. (Truman, D.B., Ecured. www.ecured.cu/Redacción_científica)

Para poder entender el sustrato y esencia de la inspección Macroscópica sistemática además de tener las bases de conocimiento de las diferentes áreas básicas (anatomía, fisiología, histología, bacteriología, virología etc) se deben

comprender las diferencias de las diferentes aplicaciones del concepto Patología y sus aplicaciones:

Patología: Estudia las alteraciones anatómicas, fisiológicas y bioquímicas de un organismo vivo como consecuencia de una alteración morbosa (enfermedad).

Patología general: Estudia el sustrato morfológico de la lesión, como la alteración básica resultante de una enfermedad, alteraciones estructurales, ultraestructurales y biomoleculares; así como los cambios adaptativos, los trastornos de la reproducción y las modificaciones hemodinámicas y de las sustancias fundamentales de los tejidos.

Patología sistémica: Aplica la alteración básica resultante de la enfermedad en los diversos órganos y sistemas de un organismo, Comprende el estudio de los procesos morbosos que acontecen en los órganos y sistemas de cada una de las especies de los animales domésticos, fijando las analogías y diferencias existentes.

De la misma manera se deben conocer los cambios que se desarrollan *post mortem* para poder definir bien las alteraciones causadas por entidad patológica o por los mismos cambios autolíticos; En la práctica diaria observamos que tan pronto como acontece la muerte somática surgen, rápidamente, en el cuerpo o cadáver una serie de “nuevas alteraciones morfológicas”. Son consecuencia directa de la biodegradación orgánica natural de las células y los tejidos. Estas nuevas alteraciones, en general, tienden a enmascarar o confundir a las verdaderas alteraciones o lesiones producidas por el agente causal o los estados de enfermedad. A estas “nuevas alteraciones” se las conoce como “alteraciones cadavéricas” o “cambios *post mortem*”.

El Médico Veterinario, para evitar errores o confusiones en el diagnóstico, debe saber observar y reconocer estas alteraciones; para así poder diferenciar estos cambios *post mortem* o “no lesiones” de las lesiones verdaderas o “cambios *ante mortem*”. Estos últimos, a diferencia de los cambios *post mortem*, son inducidos generalmente por la acción directa o indirecta de agentes etiológicos o, del mismo modo, por la reacción tisular ante la presencia de un agente patógeno. (Guillermo Siro 2010)

Un profuso conocimiento sobre las distintas alteraciones cadavéricas, del mismo modo, es de mucha utilidad desde la óptica de la patología forense. Pues las diversas alteraciones cadavéricas se comportan como muy buenos indicadores cuando es el momento de estimar el tiempo que ha transcurrido entre la muerte de un animal y el hallazgo del cadáver.

Criterio general para la clasificación de los cambios *post mortem*, por su cronología de su presentación.

Cambios post mortem inmediatos

- Deshidratación cadavérica
- *Algor mortis*
- Rigidez cadavérica
- Livideces cadavéricas
- Hipostasia visceral
- Autolisis *post mortem*
- Destrucción del cadáver (carroñeros)

Cambios post mortem mediatos

- Imbibición *post mortem*
- Seudomelanosis
- Enfisema *post mortem*
- Ruptura *post mortem*
- Desplazamiento *post mortem*
- Putrefacción
- Destrucción del cadáver por factores exógenos

Los cambios *post mortem* comienzan inmediatamente después de la muerte somática. Se los puede observar durante todo el transcurso de tiempo que lleva desde el inicio de la biodegradación natural, que sufre la masa corporal muerta o cadáver, hasta la total desintegración (Guillermo Siro 2010).

La realización de la necropsia es imprescindible para establecer un diagnóstico en los casos de muerte súbita. Lo que es especialmente frecuente en ganado de cebo. Al no haber sido observado el animal enfermo y, por lo tanto, no haber sido explorado, no hay otra manera de realizar un diagnóstico. Pero también resulta de utilidad en aquellos casos en los que la enfermedad se manifestó con síntomas extraños, con cuadros poco habituales o bien en aquellos en que, pese a la exploración clínica y a los correspondientes análisis, no se llegó a un diagnóstico, o en aquellos casos en que fallaron los tratamientos médicos o quirúrgicos. De manera que, en todos los supuestos anteriores, la necropsia es asimismo imprescindible.

La técnica de la necropsia podemos encontrarla en muchos libros y páginas de Internet, pero es especialmente didáctica la página de la Universidad de Cornell. Para acceder a ella es preciso registrarse, es un paso gratuito y automático.
<http://w3.vet.cornell.edu/virtualvet/bovine/>

Como último consejo, remarcar nuevamente el interés de fotografiar todos los pasos de la necropsia y después archivar convenientemente esas fotografías, ya que será algo de lo que nunca nos arrepintamos, al contrario de cuando no lo hacemos.

La importancia de realizar una Necropsia en los diferentes campos de la medicina veterinaria radica en la adecuada elección, clasificación y toma de una muestra, evidentemente con el conocimiento de los agentes Sugestivos o Diferenciales que puedan estar involucrados en la muerte del animal; así mismo el saber clasificar la muestra y saberla conservar para su posterior estudio es el eslabón para poder estructurar un diagnóstico integral Confiable.

La necropsia no es la única forma de llegar a un diagnóstico definitivo, por lo que se hace necesario tomar muestras al realizar exámenes de diversas índoles: histopatológico, microbiológico, virológico, parasitológico, toxicológico, etc. recurso interesante de acuerdo a la revolución tecnológica y avances gigantescos de las nuevas técnicas de diagnóstico es la Biología molecular, de aquí la gran importancia de poder realizar una inspección *post mortem* adecuada.

Por lo hasta aquí dicho debe comprenderse que la veterinaria legal (Medicina Forense) es la veterinaria integral para resolver las cuestiones médico legales, por lo que se necesita especialización y mucha dedicación con precisión para cumplir sus objetivos). No menos importante resulta la creación de los medios especiales con los que el especialista pueda ejercer su trabajo.



Fotografías: Ned Iván de la Cruz Hernández



Lista de referencias

- Aluja, A. (2002). *Técnicas de necropsia en animales domésticos*. 2a ed. Ed. El manual moderno. México.
- Bayer-Garner, IB. Fink, LM. Lamps, LW. (Apr 2002) Pathologist in a teaching institution asses the value of the autopsy. *Arch Pathol Lab Med*. Vol. 126
- Diccionario de la Real Academia Española. (23^a ed.). Recuperado el 01 de febrero de 2013 de [http:// buscon.rae.es/draeI/](http://buscon.rae.es/draeI/).
- Finkbeiner, WE. Ursell, PC., Davis, RL. (2009). *Autopsy Pathology* (2^a ed.). Philadelphia, EUA. Saunders, Elsevier
- Ibargoyen, G., Med. Vet., FRCVCs., MSc. Pathol., Prof. Adjunto “a cargo de Cátedra”. Cátedra de Patología General, Anatomía y Fisiología Patológicas, FCV, U.N.R. 2010
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA - Área de Producción Animal, Ruta Nacional 226 km 73,5, C.C. N° 276, (7620) BALCARCE, Buenos Aires. Teléfono: (02266) 439120 Fax: (02266) 439101
- Jones T.C., Hunt R.D. & King N.W. 2000. *Patología veterinária*. 6. ed. Manole, São Paulo.
- McGavin, M. D.; Zachary, James F. *Bases da patologia em veterinária*. 5. ed. Rio de Janeiro: Mosby Elsevier, 2013
- M. Law, P. Stromberg, D. Meuten, J.Cullen, Necropsy or Autopsy? It's All About Communication! *Veterinary Pathology*, Vol. 49, Issue 2, pp. 271 – 272, First Published June 13, 2011.
<https://doi.org/10.1177/030098581141072>
- Nogales, A., (2004) Aproximación a la historia de las autopsias I. Revista *Electrónica de Autopsias*. Madrid, España. Volumen 2. Número 1.
- Shojania, KG. Burton, EC. McDonald, KM. Goldman, L. (2003) Changes in rates of autopsy-detected diagnostic errors over time: a systematic review. *JAMA* 289:2849-2856.
- Tokarnia, C.H.; Brito, M.F.; Barbosa, J.D.; Peixoto, P.V.; Döbereiner, J. *Plantas Tóxicas do Brasil*. 2^a Ed. Rio de Janeiro: Editora Helianthus, 2012.566p.
- Vargas-Alvarado, E. (1999). *Medicina Legal*. (2^a ed). Distrito Federal, México: Editorial Trillas.
- Vargas, M., Evolución histórica de las autopsias y situación actual en Costa Rica. *Med. leg. Costa Rica* [online]. 2014, vol.31, n.2, pp. 42-54. ISSN 1409-0015.
- Wagner, SA. (2005). *Color Atlas of the Autopsy*. Boca Raton, Florida, EUA. CRC Press.
- Werner, P.R. *Patologia general veterinária aplicada*. São Paulo, SP: Roca, 2011.



UAT



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TAMAULIPAS
 FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
 Y ZOOTECNIA
 "Dr. Norberto Treviño Zapata"
 PROTOCOLO DE NECROPSIA O ESTUDIO FORENSE

[Seleccionar fecha]

No. de Rec. No. de Hist.

Persona que recibió: _____

Pagó: Sí ____ No ____ Fecha y hora de recepción _____

Dirección, calle	Colonia	C.P.	Teléfono
------------------	---------	------	----------

Nombre del rancho o granja

Ubicación

Especie(s)	Raza	Sexo	Edad	Color
------------	------	------	------	-------

Peso	Marca (arete, fierro)	Nombre
------	-----------------------	--------

Animal	Vivo () Muerto ()	Fecha y hora de muerte	Método de eutanasia
--------	---------------------	------------------------	---------------------

Función zootécnica _____
 No. de animales totales _____ Machos _____ Hembras _____
 No. de animales muertos _____ No. de animales enfermos _____

Historial clínico (signos) anexos

Condición general del cadáver: Buena ____ Regular ____ Mala ____
 Estado de carnes: Buena ____ Regular ____ Malo ____
 Orificios corporales (sangre, moco, contenido) _____
 Tumores superficiales _____

El que suscribe la presente constata la recepción y evaluación de cadáver de _____ con las características antes descritas y que en el estudio *post mortem* forense presentó: Como lesiones relevantes y causales de muerte.

Nombre y firma de Médico Forense asistente /Inspector/evaluador/Testigo

- Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin previa autorización, así mismo, el presente documento carece de validez o respaldo legal ante cualquier instancia particular, estatal o federal sin la previa Firma original y sello del laboratorio.



IUAT



Descripción en forma detallada los hallazgos en la necropsia

1. INSPECCIÓN INTERNA (Incisión Primaria):

- Tejido subcutáneo:
- Ganglios Linfáticos explorables:
- Músculos:
- Posición de las vísceras:
- Peritoneo y pleura:

2. APARATO RESPIRATORIO:

- Cavidad nasal y senos:
- Laringe:
- Tráquea:
- Bronquios, Nódulos Linfáticos:
- Pulmón y pleura:

3. APARATO CIRCULATORIO

- Pericardio:
- Epicardio:
- Miocardio:
- Endocardio:
- Válvulas:
- Vasos coronarios:

4. SANGRE Y VASOS SANGUÍNEOS

- Vasos linfáticos:

5. BAZO:

6. HÍGADO:

- Vesícula biliar y conductos biliares:

7. APARATO DIGESTIVO:

- Boca, lengua, faringe:
- Esófago:
- Estómago:
- Intestino delgado:
- Intestino grueso:

8. PÁNCREAS:

9. APARATO URINARIO:

- Riñones:
- Uréteres:
- Vejiga:
- Uretra:

10. APARATO GENTAL:

- Ovarios, testículos:
- Trompas, Epidídimo, Cordón Espermiático:
- Útero, Vesículas seminales:
- Cuello, Próstata:
- Vejiga, Glándulas bulbouretrales:
- Vulva, Pene:

11. SISTEMA NERVIOSO:

- Encéfalo:
- Médula espinal:
- Nervios periféricos:

- Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin previa autorización, así mismo, el presente documento carece de validez o respaldo legal ante cualquier instancia particular, estatal o federal sin la previa Firma original y sello del laboratorio.



UAT



12. SISTEMA ENDOCRINO:

- Tiroides:
- Paratiroides:
- Timo:
- Hipófisis:
- Pineal:
- Suprarrenal:

13. SISTEMA ÓSEO:

- Cráneo:
- Huesos:

14. MÉDULA ÓSEA:

15. ARTICULACIONES:

Exámenes enviados a otros Laboratorios

16. EXÁMENES BACTERIOLÓGICOS:

17. EXÁMENES SEROLÓGICOS y/o INMUNOFLUORESCENCIA:

18. EXÁMENES HISTOLÓGICOS:

19. EXÁMENES HEMATOLÓGICOS:

20. EXÁMENES TOXICOLÓGICOS:

21. EXÁMENES PARASITOLÓGICOS:

22. OTROS:

23. DIAGNÓSTICO POST MORTEM:

24. FOTOGRAFÍA:

25. MUSEO:

26. NOTAS:

Tipo de muestras/ tejidos/liquidos. Para analizar. Enviados.

Nombre y firma de Médico o Asistente inspector

Nombre _____ Firma _____

Nombre _____ Firma _____

- Prohibida la reproducción total o parcial del presente documento sin previa autorización, así mismo, el presente documento carece de validez o respaldo legal ante cualquier instancia particular, estatal o federal sin la previa Firma original y sello del laboratorio.

CAPÍTULO 3

Tendencias actuales en el desarrollo de vacunas contra garrapatas en bovinos

Verónica Carvajal de la Fuente^{5*}
Octavio Merino Charrez⁶
Fernando Alberto Muñoz Tenería⁷
Jorge Loredo Osti⁸

Introducción

Las garrapatas, son artrópodos hematófagos obligados ampliamente distribuidos en zonas templadas, subtropicales y tropicales del mundo que se alimentan exclusivamente de vertebrados incluyendo mamíferos, aves y reptiles (Castro et al. 2007). Taxonómicamente las garrapatas pertenecen al *Phylum artrópoda* y a la clase arácnida donde se han reconocido tres familias entre las cuales existen significativas diferencias morfológicas y biológicas: *Ixodidae*, *Argasidae* y *Nuttalliellidae*. Las dos primeras agrupan a la mayoría de los géneros y especies de importancia médica y veterinaria, pues se ha reportado que ocupan un importante lugar como transmisores y reservorios de una gran variedad enfermedades tanto en humanos como animales (de la Fuente et al., 2008). *Ixodes ricinus* por ejemplo, es capaz de transmitir el virus de encefalitis transmitido por garrapatas (flavivirus), enfermedad de Lyme (*Borrelia burgdorferi*), la fiebre producida por garrapatas en rumiantes y la anaplasmosis granulocítica humana (ambas producidas por *A. Phagocytophilum*) entre otros (de la Fuente et al. 2008). En la industria ganadera, estos ectoparásitos

⁵ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas, km 5, Carretera Victoria-Mante, Ciudad Victoria, Tamaulipas, CP 87000, México.

⁶ *Ibidem*.

⁷ Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Km. 14.5 Carretera San Luis Potosí-Matehuala, Ejido Palma de la Cruz, Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, S.L.P. CP. 78321, México.

⁸ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas, km 5, Carretera Victoria-Mante, Ciudad Victoria, Tamaulipas, CP 87000, México.

* Autor para correspondencia E-mail: vcarvajal@docentes.uat.edu.mx

han provocado cuantiosas pérdidas económicas que se traducen en una menor disponibilidad de productos de origen animal para consumo humano. El problema se agrava en países en vías de desarrollo, incluyendo a México.

La familia Ixodidae, la de mayor importancia en México, comprende aproximadamente unas 700 especies con 12 géneros. Específicamente, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* es la que mayor impacto negativo provoca en la ganadería nacional. Esto, debido a su amplia distribución donde no sólo induce un deterioro directo en el animal, sino que también, como ya se mencionó, es un gran factor de riesgo al ser vector importante de enfermedades (de la Fuente et al. 2008, Merino et al. 2013).

El control de las garrapatas y de las enfermedades que éstas transmiten es considerablemente difícil. Durante las últimas décadas, la aplicación de insecticidas acaricidas ha sido la medida de uso más habitual para su control preventivo. No obstante, ésta técnica ha sido parcialmente exitosa debido a que el uso continuo y la sobre exposición de los parásitos a estos compuestos, han inducido la selección de cepas resistentes, la aparición de residuos químicos en la carne y leche, así como la contaminación del medio ambiente ocasionado graves amenazas para la salud pública (Fragoso et al. 2011). Ante esta problemática, científicos de diferentes partes del mundo buscan contribuir con nuevas alternativas como el uso de vacunas, que ofrezcan una opción prometedora para el control de estos ectoparásitos. En este capítulo se hace una revisión sobre los avances recientes en el desarrollo de vacunas contra garrapatas, enfocándose en el descubrimiento y la caracterización de antígenos protectores de garrapatas que tienen un impacto en la infección y transmisión de patógenos.

Respuesta inmunológica contra garrapatas

Cuando un animal se expone repetidas ocasiones a una infestación natural de garrapatas, ciertos bovinos pueden llegar a desarrollar una resistencia adquirida en donde se observa una menor cantidad de éstos parásitos sobre el animal. Esta selección natural ha permitido que las poblaciones de ganado que han estado en contacto por largos periodos de tiempo con garrapatas, desarrollen cierta resistencia o capacidad para inducir una respuesta inmune, ya sea en contra del vector, como de los agentes infecciosos que transmiten. Ejemplo claro de esto se ha observado en las razas *Bos indicus*, que son mucho más resistentes a las garrapatas comparadas con razas *B. taurus* (Sutherst et al. 1983; Jonsson 2006).

Durante la infestación con garrapatas se establece una relación muy estrecha con el hospedero dando como resultado la estimulación del sistema inmune del animal. En general, al iniciarse la alimentación de la garrapata sobre un animal que nunca antes estuvo expuesto a infestaciones, la interacción inicia

con la exposición a un gran número de antígenos salivales como: moléculas antihemostáticas, que permiten a la garrapata mantener la hemorragia, moléculas antiinflamatorias, que entre otras acciones, evitan el prurito y el dolor de la picadura, y moléculas inmunomoduladoras, que permiten a las garrapatas alimentarse sobre hospedadores sensibilizados en contactos previos y que además, facilitan la transmisión de patógenos (Stibraniova et al. 2013). Todas estas moléculas son capaces de inducir en el hospedero respuestas inmunitarias, algunas de las cuales no generan protección frente a la garrapata, al tiempo que otras proporcionan cierto grado de resistencia frente al parásito. Esta resistencia consiste en el bloqueo de la alimentación, la reducción de la fertilidad y a veces en la muerte de la garrapata (Wikel, 2013). Debido a esto, es importante distinguir los mecanismos inmunológicos que no generan protección de aquellos que sí lo hacen, sobre todo si se desea desarrollar vacunas más eficientes para el control de garrapata. Esta distinción no es fácil debido a que no existe un modelo universal de una respuesta inmunitaria anti-garrapata, sino que ésta depende de diferentes factores como la especie de garrapata, hospedador implicado, la edad del hospedador y su historia de exposición previa (Ribeiro et al. 2013). Debido a lo anterior, a continuación se describirá de manera genérica la respuesta inmunitaria contra las garrapatas:

En un primer contacto, las moléculas antigénicas de la saliva son capturadas por las células presentadoras de antígenos (células dendríticas de la piel principalmente), que las procesan y expresan en su superficie asociados a moléculas del complejo mayor de histocompatibilidad clase II (MHC-II por sus siglas en inglés). Estas células migran hacia los linfonodos regionales donde ocurrió la picadura y allí presentan los antígenos a los linfocitos T CD4+ vírgenes (Th0). Los linfocitos reconocen específicamente al complejo MHC-II/antígeno a través de su receptor de antígenos (el complejo TCR-CD4) y, tras recibir las señales adecuadas, se activan y expanden clonalmente diferenciándose ya sea en linfocitos Th1 o bien en linfocitos Th2. Esta diferenciación depende en gran medida de las señales proporcionadas por las citocinas presentes en el microambiente en el momento de la presentación del antígeno. Por ejemplo, la IL-4 e IL-10 inducen respuestas Th2 (inmunidad humoral o mediada por anticuerpos), mientras que el IFN γ y la IL-12 producen respuestas Th1 (inmunidad celular). Una vez activos, los linfocitos Th1 y Th2 segregan nuevas citocinas, diferentes en cada caso, y éstas ponen en marcha distintos mecanismos inmunitarios. En las respuestas Th2 los linfocitos segregan citocinas como IL-4, IL-5, e IL-13, que estimulan a los linfocitos B a producir anticuerpos específicos, principalmente IgG e IgE. Además, se puede inducir a una fuerte movilización de mastocitos y eosinófilos, provocando el desarrollo de reacciones de hipersensibilidad inmediata, que potencialmente pueden proteger frente a parásitos hematófagos de

alimentación rápida. Por el contrario, en las respuestas Th1, las citocinas secretadas por los linfocitos, principalmente IFN γ e TNF- α , estimulan respuestas mediadas esencialmente por macrófagos y basófilos, que conducen al desarrollo de reacciones de hipersensibilidad retardada, potencialmente protectoras frente a hematófagos de alimentación lenta (Fontaine et al. 2011). Es importante tomar en cuenta que en la mayoría de las ocasiones, los animales no serán capaces de combatir la infestación a través de la inmunidad adquirida, lo cual se debe, en gran parte, a que los compuestos salivales de varias especies de garrapatas, tienen la capacidad de eludir o suprimir los mecanismos de defensa del animal (Jan et al. 2015).

Vacunas para el control de garrapatas

El desarrollo de una vacuna comienza con la identificación, de aquellos componentes o estructuras únicas que sean capaces de generar una respuesta inmune protectora. El uso de la inmunización para el control de garrapatas fue demostrado por primera vez por Allen y Humphreys en 1979, quienes demostraron con éxito que se podía inmunizar a cobayos con extractos crudos de intestino de *Dermacentor andersoni*. Sin embargo, no fue hasta la década de los 90, que varios antígenos seleccionados fueron aislados como candidatos vacunales; entre ellos destacaron los extraídos a partir de las células intestinales de *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* como el Bm95, Bm91, y el más conocido, Bm86. El principal mecanismo de acción de estos inmunógenos es que al ser inoculados en el animal, se producen anticuerpos que al unirse a su antígeno correspondiente, inducen la destrucción de las células intestinales provocando que el contenido intestinal se introduzca a la hemolinfa y como consecuencia se produzca la muerte de la garrapata (Rodríguez et al. 1995). Bm86 fue la primera glicoproteína que fue clonada y utilizada en vacunas comerciales denominadas TickGARDPLUSTM en Australia y GavacTM en América Latina. En 1997, esta última fue evaluada por primera vez en México por Revetmex S.A. de C.V. donde se utilizaron diversas pruebas de campo para el control de infestaciones de *R. microplus* y *R. annulatus*. Los principales efectos que estas vacunas provocan en las garrapatas son: una reducción de la capacidad reproductiva, disminución del número de garrapatas repletas, disminución del peso tanto de las garrapatas como de los huevos (Jonsson et al. 2000). No obstante, desde su introducción, la vacuna tuvo usos limitados en México y Latino América debido a factores asociados con su comercialización, falta de eficacia en contra de varias especies de garrapatas, así como, la persistente presencia de distintos patógenos que transmiten (de la Fuente, 2006). Estudios posteriores demostraron que entre una cepa y otra de *R. microplus*, existen diferencias significativas en la susceptibilidad a la vacunación con Bm86 (Almazán et al. 2010). Dicha susceptibilidad se debe en gran parte, al polimorfismo de los genes utilizados

para el desarrollo de las vacunas, lo cual implica que existen variaciones considerables en la secuencia de aminoácidos que componen el inmunógeno (Sossai et al. 2005).

Estrategias actuales para la identificación de nuevos antígenos protectores

Uno de los principales objetivos al momento de diseñar una vacuna anti-garrapata es utilizar múltiples antígenos para lograr una mejor protección ante un mayor número de especies de garrapatas; además, se busca reducir la capacidad que poseen estos parásitos para transmitir distintos patógenos (de la Fuente et al. 2017). No obstante, identificar cuáles son las moléculas que sean esenciales para la sobrevivencia, infección y transmisión de patógenos, son uno de los factores limitantes para crear vacunas con este nuevo enfoque. Afortunadamente, gracias a los últimos avances en Bioinformática, genómica funcional y proteómica, es posible seleccionar, clonar y expresar aquellos genes de interés de distintas especies de garrapatas que se encuentran en la base de datos de acceso público (Vector Base, The Gene Index Project, Cattle Tick Base), para posteriormente purificar las proteínas recombinantes y finalmente, identificar *in vitro* e *in vivo* los posibles candidatos vacunales (Capecchi et al. 2004). La identificación de estas moléculas necesarias tanto para la sobrevivencia de las garrapatas y la transmisión e infección de patógenos, facilitará la selección de blancos que contribuirán al descubrimiento de nuevas estrategias de vacunas para el control simultáneo de infestaciones de garrapatas y patógenos transmitidos.

Proteínas salivales como antígenos vacunales

Durante la infestación con garrapatas se establece una estrecha relación con el hospedero en el sitio donde se introduce su aparato bucal. Para evitar cualquier respuesta defensiva por parte del hospedero, las garrapatas han evolucionado produciendo en su saliva, moléculas farmacológicamente activas que regulan las relaciones garrapata-hospedador-patógeno, mejorando su alimentación y facilitando la infección del hospedador por los patógenos que transmiten (Betancur et al. 2015). Debido a sus variadas actividades biológicas, estas moléculas salivales han despertado un gran interés como blancos antigénicos para el desarrollo de vacunas anti-garrapata que no sólo bloqueen sus infestaciones sino también la transmisión de patógenos (Betancur et al. 2015; de la Fuente et al. 2017).

Antígeno salp15

Salp 15 es una proteína secretada en la saliva de *I. scapularis* e *I. ricinus* que tiene propiedades inmunosupresoras en el huésped donde inhibe la activación de las

células T CD4, el complemento y la función de las células dendríticas. Osp C es una proteína de superficie exterior de *B. burgdorferi* (agente causal de la enfermedad de Lyme) que se expresa de forma diferencial para ayudar a la espiroqueta a que se adapte, sobreviva y persista en el artrópodo. Cuando la garrapata empieza a alimentarse con sangre del huésped, la espiroqueta inicia la síntesis de Osp C en el intestino de la garrapata infectada. La proteína Salp 15 físicamente se une a Osp C de la superficie de *B. Burgdorferi*, durante la salida de la glándula salival facilitando la sobrevivencia de la bacteria, su transmisión e infección del huésped. La interacción Salp15-Osp C oculta la proteína Osp C de la respuesta inmune del huésped, protegiendo a la espiroqueta (Ramamoorthi et al. 2005).

Factor liberador de histamina de garrapata

El factor liberador de histamina de *I scapulais* fue caracterizado por Dai et al. (2010). Es una proteína secretada en la saliva y es sobre-expresada en garrapatas infectadas con *B. burgdorferi*. El silenciamiento de esta proteína usando ARN de interferencia significativamente afectó la alimentación de la garrapata y disminuyó considerablemente los niveles de infección de *B. burgdorferi* en ratones. El bloqueo de esta proteína podría ser una opción viable para desarrollar vacunas que dificulten la alimentación y por lo tanto la transmisión de patógenos.

Antígeno silk

La proteína flageliforme SILK fue previamente descubierta en las glándulas salivales de garrapatas. Se ha sugerido que juegan un importante papel en la infección y/o multiplicación de *Anaplasma marginale*. Además, se ha demostrado que los niveles de mRNA incrementaron en respuesta a la infección de *A. marginale* en las glándulas salivales de *R. microplus*. Algunos experimentos con ARN de interferencia mostraron un 74% de mortalidad de garrapatas y una reducción del 63% de los niveles de DNA después del bloqueo del gen. Adicionalmente, se demostró que esta proteína puede participar en la adhesión de las garrapatas a su huésped. (Zivkovic et al. 2010).

Tslpi (inhibidor de la vía de las lectinas de la glándula salival)

TSLPI es una proteína identificada por Schuijt et al. (2011) que protege a la bacteria *Borrelia burgdorferi* de ser destruida por el sistema del complemento (vía de las lectinas) del huésped. En este estudio se silenció el gen que codifica para esta proteína mediante RNA de interferencia donde se demostró que se redujo significativamente el porcentaje de infección en ninfas y además se impidió su transmisión en ratones.

p64TPR

El antígeno p64TPR, es una proteína recombinante de 15 kDa que fue identificada en la garrapata de tres hospedadores *Rhipicephalus appendiculatus*. Esta es una proteína de tejido que es producida por ciertas especies de ectoparásitos que se alimentan de sangre con el fin de poder adherirse y alimentarse con mayor facilidad. El efecto de la inmunización con esta proteína en cobayos infestados con ninfas y adultos fue la disminución de la infestación de 48 y 70 % respectivamente (de la Fuente y Kocan, 2003).

Otras proteínas candidatas a antígenos vacunales

A la vista de la variabilidad de los resultados obtenidos con los antígenos vacunales salivales durante los primeros estudios, algunos investigadores comenzaron a trabajar con los denominados antígenos ocultos, esto es, con antígenos que en condiciones naturales los parásitos no exponen al sistema inmune de los hospedadores pero que pueden ser alcanzados por los efectores de la inmunidad si artificialmente se induce una respuesta frente a ellos.

Subolesina

Gracias a los estudios de la interacción entre las garrapatas del género *Ixodes*, transmisor de *Anaplasma phagocytophilum* (agente causal de la anaplasmosis humana y animal) y de la fiebre transmitida por garrapatas en rumiantes, se condujo al descubrimiento de la proteína 4D8 que posteriormente se nombró como subolesina. La subolesina fue descubierta en la garrapata *Ixodes scapularis* como un antígeno protector y, es estructural y funcionalmente ortóloga a las akirinas (AKR) en insectos y vertebrados (Almazan et al. 2003). Actualmente, se sabe que es un gen conservado a nivel de nucleótidos y proteínas entre varias especies de garrapatas Ixodidae. Al ser utilizada como vacuna produce cambios severos en las garrapatas como alteraciones en la función de la alimentación, y reproducción (de la Fuente et al. 2008). Además, se ha demostrado que en otros organismos ortólogos, está implicada en el control de procesos de desarrollo, y de la expresión de genes lo cual es primordial para la supervivencia de las garrapatas. Por lo tanto, la subolesina es considerada como un candidato potencial para el desarrollo de una vacuna de amplio espectro para el control no sólo de garrapatas, sino también de otros artrópodos que fungen como vectores de enfermedades tanto en los humanos como en animales ((Zivkovic et al. 2010).

Ferritinas

Las ferritinas son proteínas almacenadoras de hierro que juegan un papel primordial en la homeostasis del hierro durante la alimentación de la garrapata. Un tipo

común de ferritina 2 compuesta por una cadena pesada, ha sido recientemente caracterizada como una proteína secretada específica del intestino hacia la hemolinfa de la garrapata donde actúa como transportador de hierro. Para evaluar la eficacia de Ferritina 2, Hajdusek et al. (2010) inmunizaron conejos y bovinos con proteínas obtenidas de *Ixodes ricinus* (IrfER2) y *R. microplus* (RmFER2) respectivamente. En este estudio se logró demostrar que la IrfER2 redujo significativamente el número de garrapatas, el peso y porcentaje de fertilidad de *I. ricinus* en conejos con una eficacia general de 98%. La eficacia general para RmFER2 para el control de infestaciones de *R. microplus* en bovinos fue del 64%.

Serpinas (Inhibidores de la serina proteasa)

Las serpinas son un grupo de proteínas con estructuras similares capaces de inhibir otras enzimas del grupo de las proteasas encontradas en una gran variedad de organismos incluyendo los artrópodos hematófagos. Estas proteínas regulan importantes funciones como la coagulación de la sangre, digestión del alimento y respuestas inflamatorias e inmunes por los que son consideradas como posibles blancos de antígenos para el uso de vacunas (Mulenga et al. 2001).

Conclusiones

El desarrollo de una vacuna para el control de garrapatas y patógenos transmitidos en bovinos, constituye hoy en día, una de las opciones más viables para sustituir el uso de acaricidas. La aplicación del conocimiento básico del genoma y el proteoma de la garrapata y de la regulación temporal de los genes involucrados en la transmisión de enfermedades, constituyen un generador importantísimo de información para alcanzar dichos objetivos. Asimismo, la lista creciente de nuevos antígenos descubiertos a partir de cepas locales de garrapatas, constituye una herramienta esencial para obtener los candidatos idóneos para un mejor control integrado regionalmente. No obstante, a nivel de campo esto aún representa un verdadero reto para la comunidad científica de México y el mundo.

Lista de referencias

- Allen, J.R., and Humphreys, S.J. (1979). Immunisation of guinea pigs and cattle against ticks. *Nature*, 280, 491-493.
- Almazán, C., Kocan, K.M., Bergman, D.K., Garcia-Garcia, J.C., Blouin, E.F., de la Fuente, J. (2003). Identification of protective antigens for the control of *Ixodes scapularis* infestations using cDNA expression library immunization. *Vaccine*, 21, 1492-501.
- Almazán, C., Lagunes, R., Villar, M., Canales, M., Rosario-Cruz, R., Jongejan, F., et al. (2010). Identification and characterization of *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* candidate protective antigens for the control of cattle tick infestations. *Parasitol Res*, 106, 471-9.
- Antunes, S., Galindo, R.C., Almazán, C., Rudenko, N., Golovchenko, M., Grubhoffer, L., et al. (2012). Functional genomics studies of *Rhipicephalus (Boophilus) annulatus* ticks in response to infection with the cattle protozoan parasite *Babesia bigemina*. *Int. J. Parasitol*, 42, 187-195.
- Betancur, H.O., Betancourt E.A., Giraldo, R.C. (2015). Importance of ticks in the transmission of zoonotic agents. *Rev. MVZ Córdoba*, 20, 5053-5067.
- Capecchi, B., Serruto, D., Adu-Bobie, J., Rappuoli, R., Pizza, M. (2004). The Genome revolution in vaccine research. *Curr Issues Mol Biol*, 6, 17-28.
- Castro, M.B., Wright, S.A. (2007). Vertebrate hosts of *Ixodes pacificus* (Acari: Ixodidae) in California. *Journal of Vector Ecology*, 32, 140-9.
- Dai, J., Narasimhan, S., Zhang, L., Liu, L., Wang, P., and Fikrig, E. (2010). Tick histamine release factor is critical for *Ixodes scapularis* engorgement and transmission of the Lyme disease agent. *PLoS Pathog* 6:e1001205.
- de la Fuente, J., Kocan, K.M. (2006). Strategies for development of vaccines for control of ixodid tick species. *Parasite Immunol*, 28, 275-83
- de la Fuente, J., Estrada-Pena, A., Venzal, J.M., Kocan, K.M., Sonenshine, D.E. (2008). Overview: Ticks as vectors of pathogens that cause disease in humans and animals. *Front Biosci*, 13, 6938-46.
- de la Fuente, J., Antunes, S., Bonnet, S., Cabezas-Cruz, A., Domingos, A.G., Estrada-Peña, A., Jonsson, N., Kocan, K.M., Mansfield, K.L., Nijhof, A.M., Papa, A., Rudenko N., Villar, M., Alberdi, P., Torina, A., Ayllón, N., Vancova, M., Golovchenko, M., Grubhoffer, L., Caracappa, S., Fooks, A.R., Gortazar, C., Ryan, O., Rego, M. (2017). Tick-Pathogen Interactions and Vector Competence: Identification of Molecular Drivers for Tick-Borne Diseases. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 7, 14.
- Fontaine, A., Diouf, I., Bakkali, N., Misse, D., Pages, F., Fusai, T., Rogier, C., Almeras, L., (2011). Implication of haematophagous arthropod salivary proteins in host-vector interactions. *Parasite and Vectors*, 4, 187.

- Fragoso-Sánchez, H., García-Vázquez, Z., Tapia-Pérez, G., Ortiz-Najera, A., Rosario-Cruz, R., Rodríguez-Vivas, I. (2011). Response of Mexican *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* ticks to selection by amitraz and genetic analysis of attained resistance. *J Entomol*, 8, 218-28.
- Hajdusek, O., Almazán, O., Loosova, G., Villar, M., Canales, M., Grubhoffer, L., Kopacek, P., de la Fuente, J. (2010). Characterization of ferritin 2 for the control of tick infestations. *Vaccine*, 28, 2993-2998.
- Jan, Kotál., Helena, Langhansová., Jaroslava, Lieskovská., John, F. Andersen., Ivo, M.B. Francischetti., Triantafyllos, Chavakis., Jan, Kopecký, Joao, H.F. Pedra., MichailKotsyfakis. (2015). Modulation of host immunity by tick saliva. *Journal of Proteomics*, 128, 58-68.
- Jonsson, N.N., Matschoss, A.L., Pepeer, P., Green, P.E., Albrecht, M.S., Hungerford, J. and Ansell, J. (2000). Evaluation of Tick GARD plus, a novel vaccine against *Boophilus microplus*, in lactating Holstein-Friesian cows. *Veterinary Parasitology*, 88, 275-285.
- Jonsson, N. (2006). The productivity effects of cattle tick (*Boophilus microplus*) infestation on cattle, with particular reference to *Bos indicus* cattle and their crosses. *Veterinary Parasitology*, 137, 1-10.
- Merino, O., Alberdi, P., Pérez de la Lastra, J.M., de la Fuente, J. (2013). Tick vaccines and the control of tick-borne pathogens. *Front in Cell and Inf Micro*, 3, 30.
- Mulenga, A., Sugino, M., Nakajima, M., Sugimoto, C., and Onuma, M. (2001). Tick-encoded serine proteinase inhibitors (serpins); potential target antigens for tick vaccine development. *J. Vet. Med.Sci*, 63, 1063-1069.
- Ramamoorthi, N., Narasimhan, S., Pal, U., Bao, F., Yang, X.F., Fish, D., Anguita, J., Norgard, M.V., Kantor, F.S., Anderson, J.F., Koski, R.A., Fikrig, E. (2005). The Lyme disease agent exploits a tick protein to infect the mammalian host. *Nature*, 436 (7050), 573-7.
- Ribeiro, J.M., Labruna, M.B., Mans, B.J., Maruyama, S.R., Francischetti, I.M., Barizon, G.C., de Miranda Santos, I.K., (2012). The sialotranscriptome of *Antricola delacruzi* female ticks is compatible with non-hematophagous behavior and an alternative source of food. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 42, 332-342.
- Rodríguez, M., Massard, C.R., Fonseca, D.A., Ramos, N.F., Machado, H., Labarta, V. and de la Fuente, J. (1995). Effect of vaccination with a recombinant Bm86 antigen preparation on natural infestations of *Boophilus microplus* in grazing dairy and beef pure and cross-bred cattle in Brazil. *Vaccine*, 13, 1804-1808.
- Schuijt, T.J., Coumou, J., Narasimhan, S., Dai, J., Deponte, K., Wouters, D., Brouwer, M., Oei, A., Roelofs, J.J., Van Dam, A.P., Van der Poll, T., Van't Veer,

- C., Hovius, J.W., Fikrig, E. (2011). A tick mannose-binding lectin inhibitor interferes with the vertebrate complement cascade to enhance transmission of the Lyme disease agent. *Cell Host Microbes*, 10, 136-146.
- Sossai, S., Peconick, P., Sales-Junior, P., Marcelino, F., Vargas, M., Neves, E., Patarroyo, J. (2005). Polymorphism of the bm86 gene in South American strains of the cattle tick *Boophilus microplus*. *Experimental and Applied Acarology*, 37, 199-214.
- Stibraniova, I., Lahova, M., and Bartikova, P. (2013). Immunomodulators in tick saliva and their benefits. *Acta Virologica*, 57 (2), 200-216.
- Sutherst, R.W., Maywald, G.F., Kerr J.D., Stegeman, D.A. (1983). The effect of cattle tick (*Boophilus microplus*) on the growth of *Bos indicus* x *Bos taurus* steers. *Australian Journal of Agricultural Research*, 34, 317-27.
- Wikel, S. (2013). Ticks and tick-borne pathogens at the cutaneous interface: host defenses, tick countermeasures, and a suitable environment for pathogen establishment. *Front Microbiol*, 4, 337.
- Zivkovic, Z., Esteves, E., Almazán, C., Daffre, S., Nijhof, A.M., Kocan, K.M., Jongejan, F., de la Fuente, J. (2010). Differential expression of genes in salivary glands of male *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* in response to infection with *Anaplasma marginale*. *BMC Genomics*, 11, 186.

CAPÍTULO 4

Mecanismos de defensa del sistema respiratorio y factores predisponentes para el desarrollo de neumonías en bovinos

Julio Martínez Burnes^{9*}
Alfonso López Mayagoitia¹⁰
Rafael Ramírez Romero¹¹
Luis Jorge García Márquez¹²

Resumen

Las neumonías son una de las causas más importantes de morbilidad y mortalidad en el ganado bovino y tienen un fuerte impacto económico en la ganadería de todo el mundo. El complejo respiratorio de los bovinos ha sido y sigue siendo un paradigma de la interacción entre agentes infecciosos y los mecanismos de defensa, sobre todo por lo que se refiere a factores predisponentes a las neumonías. Para un mejor entendimiento se abordan temas relevantes como la estructura morfológica del aparato respiratorio, sus mecanismos de defensa y la gran susceptibilidad de los bovinos a padecer neumonías. Se discuten también los mecanismos por los cuales se produce una falla en las defensas del pulmón predisponiendo al bovino a infecciones respiratorias secundarias las cuales con frecuencia culminan con la

⁹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, “Dr. Norberto Treviño Zapata”. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Km. 5 Carretera Victoria-Mante, Ciudad Victoria, Tamaulipas México. CP 87000

*Autor para correspondencia Email: jmburnes@docentes.uat.edu.mx

¹⁰ Department of Pathology and Microbiology, Atlantic Veterinary College. University of Prince Edward Island. Charlottetown, Prince Edward Island, Canada. C1A 4P3. Email: lopez@upe.ca

¹¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Nuevo León. Francisco Villa S/N, Col: Ex Hacienda el Canadá, Escobedo, Nuevo León, México CP 66050. Email: raramirez@prodigy.net.mx

¹² Centro Universitario de Investigación y Desarrollo Agropecuario (CUIDA). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Colima. Carretera Colima-Manzanillo Km 40. Colonia: La Estación, Tecomán, Colima, México CP 28100. Email: ljgm_cmv@hotmail.com

muerte del animal. El conocimiento de la patogénesis de las neumonías permite tomar medidas para la prevención y tratamiento de enfermedades respiratorias en los bovinos.

Palabras clave: Mecanismos de defensa, factores predisponentes, bovinos, neumonías.

Estructura o morfofisiología del sistema respiratorio

Existen diferentes nomenclaturas para describir la anatomía e histología del aparato respiratorio. Para facilitar el entendimiento de los mecanismos de defensa, dividiremos el sistema respiratorio en tres segmentos continuos pero independientes, llamados sistemas de conducción, transición e intercambio gaseoso.

1. El sistema de conducción abarca desde la cavidad nasal hasta los bronquios e incluye la faringe, laringe y tráquea. La mucosa del sistema de conducción es un epitelio mucociliar formado por células pseudoestratificadas ciliares, células secretoras de moco (goblet) y células serosas (Figura 1).

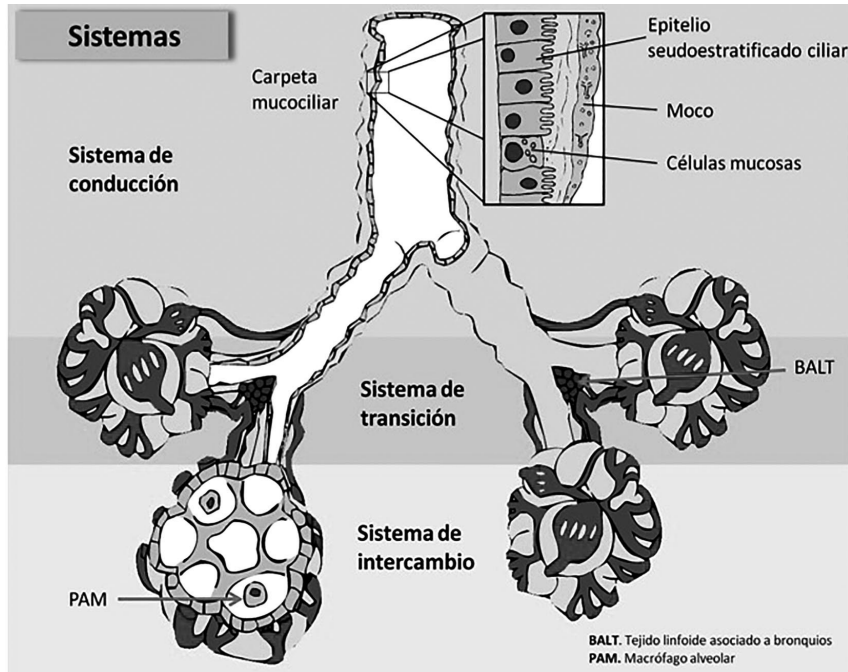
2. El sistema de transición lo forman exclusivamente los bronquiolos los cuales forman una zona de transición entre el sistema conductivo (ciliar) y el sistema de intercambio (alveolar). En la región bronquiolar proximal, las células ciliadas se vuelven progresivamente más escasas y atenuadas hasta su desaparición completa en las partes terminales de los bronquiolos. Las células mucosas (goblets) están ausentes en los bronquiolos, pero en su lugar existen células secretoras importantes como las células Club y las células neuroendocrinas. Las células Club, antes denominadas células Clara, son metabólicamente muy activas y juegan un papel importante en la detoxificación de sustancias nocivas y también participan en la inmunidad innata secretando proteínas protectoras (colectinas) y surfactante pulmonar (J. L. Caswell & Williams, 2016).

3. El sistema de intercambio lo forman los ductos alveolares y los alvéolos, sitio donde se lleva a cabo el intercambio gaseoso durante la respiración. La superficie de los alvéolos está recubierta por dos tipos de células epiteliales. El neumocito tipo I (membranoso) el cual forma la interfase entre el aire y la sangre, y el neumocito tipo II (granular) productor de surfactante (J. L. Caswell & Williams, 2016).

Estas tres regiones del aparato respiratorio son vulnerables al daño debido a su constante exposición al aire inspirado (vía aerógena) el cual contiene partículas, agentes biológicos, fibras y gases tóxicos. El daño pulmonar también puede originarse a partir de la sangre (daño hematógeno) puesto que todo el volumen de sangre que sale del corazón derecho llega a los pulmones. Esta vulnerabilidad

del sistema respiratorio al daño se debe además a la extensa superficie de interfase entre la sangre y capilares alveolares, y al gran volumen de aire y sangre que llega continuamente a los pulmones (Lopez & Martinson, 2017).

Figura 1. Estructura y función del sistema respiratorio



Elaboración: Dr. Julio Martínez Burnes

La cantidad de aire inspirado a los pulmones es sorprendente y se calcula que un humano respira diariamente un volumen de aire aproximado de 8 000 a 9 000 litros. Por otro lado, la superficie del tejido respiratorio es la interfase más grande del cuerpo humano con el medio ambiente. Se calcula que la superficie del tejido respiratorio en contacto con el aire inspirado es de aproximadamente 200m² (Cuadro 1) (Martínez-Burnes, López-Mayagoitia, & Merino-Moncada, 1986a). La extensa superficie pulmonar junto con el enorme volumen de aire inhalado hacen al pulmón particularmente vulnerable al daño por partículas potencialmente patógenas (Lopez & Martinson, 2017).

La relación entre el volumen de aire inspirado y la superficie del tejido respiratorio es diferente entre las especies animales y el hombre como lo muestra en el Cuadro 1. Esta diferencia entre especies explica el por qué el bovino es

particularmente susceptible a las enfermedades respiratorias. En comparación con otras especies, los bovinos tienen un volumen pulmonar relativamente menor por kg de peso corporal. Los bovinos y otros rumiantes también tienen un volumen grande de árbol traqueo-bronquial, lo que resulta en una menor eficiencia de oxigenación alveolar en cada respiración. La mayor parte del volumen tidal de cada respiración ventila al sistema de transición, pero no a los alvéolos funcionales, lo que representa un mayor “espacio muerto” de ventilación aunado al bajo volumen de pulmón por kg de peso. Todo esto genera una menor capacidad ventilatoria y cuando una porción de pulmón se consolida con neumonía, el bovino está en desventaja pues tiene una capacidad de reserva limitada (Weekley & Veit, 1995).

Otro factor anatómico que aumenta la susceptibilidad a neumonías en el bovino es el abundante tejido conectivo que separa a los lobulillos pulmonares de esta especie animal lo que reduce marcadamente la ventilación colateral entre las unidades alveolares y bronquiolares. Aunado a esto, en el pulmón bovino los poros de Kohn que comunican alveolo con alveolo son escasos y muy pequeños comparado con otras especies animales. La excesiva lobulillación y la falta de poros de Kohn afectan negativamente el movimiento de exudados y ventilación en los bovinos. Una vez bloqueado el bronquiolo con exudado, el pulmón es incapaz de participar en el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono y es más susceptible al colapso alveolar. Por si esto fuera poco, el pulmón bovino posee también una menor densidad de capilares sanguíneos por unidad de alvéolo lo que se traduce comparativamente a una pobre oxigenación sanguínea (Lopez & Martinson, 2017; Weekley & Veit, 1995). En pocas palabras, por su anatomía el pulmón bovino está en gran desventaja comparado con otras especies.

Cuadro 1. Comparación de pesos, frecuencias, volúmenes respiratorios y superficie alveolar en algunas especies animales

Especie	Peso Corporal (Kg)	Frecuencia Respiratoria (resp/min)	Volumen Aire en 24 hrs (litros)	Superficie alveolar total (m²)
Hombre	70	12	7 776	200
Bovino	514	30	164 160	316
Caprino	40	15	6 696	96
Canino	10	12	3 508	46.5

Modificada de Martínez-Burnes J, *et al.* Vet. Mex. 17: 1986

Flora normal del sistema respiratorio

La flora bacteriana o microbiota es una población heterogénea de bacterias que habita normalmente las mucosas que están en contacto con el medio ambiente. El sistema respiratorio del bovino tiene su propia flora normal y está constituida por un gran número de especies bacterianas, incluyendo a la *Mannheimia haemolytica* y *Pasteurella multocida*. Como sucede en otras especies animales, la flora del aparato respiratorio en los bovinos está restringida a la región más proximal del sistema de conducción, o sea la cavidad nasal, faringe y laringe. La región distal o torácica de la tráquea, los bronquios, bronquiolos y alveolos se consideran en el animal sano como zonas esencialmente estériles. Estudios experimentales demostraron que los microorganismos de la flora nasal son continuamente acarreados a los pulmones a través del aire inspirado. A pesar de este acarreo continuo de bacterias al pulmón, este tejido permanece estéril gracias a sus eficientes mecanismos de defensa. Los tipos de bacterias presentes en la flora nasal varían en las diferentes regiones geográficas o a través del tiempo, es por eso que algunos autores describen la flora basal, como la más común y la flora transiente o autóctona como aquella que está presente en ciertas regiones geográficas. Algunas bacterias de la flora normal pueden en ciertas condiciones convertirse en patógenos, tal es el caso de la *Mannheimia haemolytica* responsable de la Mannheimiosis o Pasteurelosis neumónica (Fiebre de Embarque), enfermedad de gran importancia económica en la ganadería bovina (J. L. Caswell & Williams, 2016; Lopez & Martinson, 2017).

Mecanismos de defensa del sistema respiratorio (mecanismos innatos e inmunodefensas)

Los pulmones no solo participan en el intercambio gaseoso y el metabolismo, sino que también constituyen una barrera biológica entre el animal y su medio ambiente. Es de vital importancia para el animal prevenir la entrada, neutralizar y eliminar los agentes nocivos que llegan al pulmón. Los agentes patógenos pueden alcanzar el tejido respiratorio tanto por la sangre (vía hematológica) como por el aire inspirado (vía aerológica) a través del aire inhalado. En casos más raros, la infección puede llegar al pulmón por extensión directa cuando agentes patógenos penetran a través de heridas o de perforaciones de diafragma o rupturas esofágicas (Lopez & Martinson, 2017).

La vía de entrada hematológica ocurre cuando la circulación sanguínea lleva partículas infecciosas al pulmón, como es el caso con las viremias, bacteriemias, septicemias y embolias sépticas o parasitarias. Sin embargo, la vía aerológica es la ruta más común de infección pulmonar y ocurre cuando el animal inhala aerosoles conteniendo agentes infecciosos como bacterias, virus y micoplasmas.

Cuando agentes infecciosos, toxinas y otras partículas presentes en el aire llegan al pulmón, encuentran una variedad de mecanismos de defensa que previenen su contacto con los tejidos. El grado en que estos mecanismos de defensa son alterados determina en gran medida el curso de las enfermedades respiratorias. En las infecciones transmitidas por vía aerógena, la diseminación depende de la formación de partículas suspendidas en el aire denominadas “aerosoles” y que contienen agentes infecciosos. A través de la tos y estornudo los animales enfermos o portadores sanos generan aerosoles con partículas infecciosas, sobre todo cuando el reflejo tusígeno está aumentado. Se estima que un estornudo produce más de 20 000 gotas de diferentes tamaños y a través de estas gotas el animal enfermo transmite la infección a un animal susceptible (Martínez-Burnes et al., 1986a).

Las partículas inspiradas se depositan en el sistema respiratorio mediante “fuerzas aerodinámicas” o “mecanismos físicos” que dependen en gran medida del tamaño, forma, longitud, carga eléctrica y humedad de la partícula inhalada. Todos estos factores físicos juegan un importante papel en el depósito, eliminación, retención y la patogenicidad de las partículas inhaladas (Martínez-Burnes et al., 1986a).

El depósito es el proceso mediante el cual partículas de diferentes tamaños y formas son atrapadas dentro de zonas específicas del aparato respiratorio. Los mecanismos físicos que propician el depósito incluyen impacto o choque por fuerza centrífuga, sedimentación y movimiento browniano. La eliminación bacteriana se define como el proceso por el cual las bacterias depositadas son destruidas, neutralizadas o eliminadas del pulmón. La retención pulmonar es la diferencia entre el número de partículas depositadas y el número de partículas eliminadas del tracto respiratorio. Trabajos de Green y col. desde 1977, describieron la relación entre zonas anatómicas y mecanismos asociados al depósito de partículas y su eliminación en el tracto respiratorio (Martínez-Burnes, López-Mayagoitia, & Merino-Moncada, 1986b).

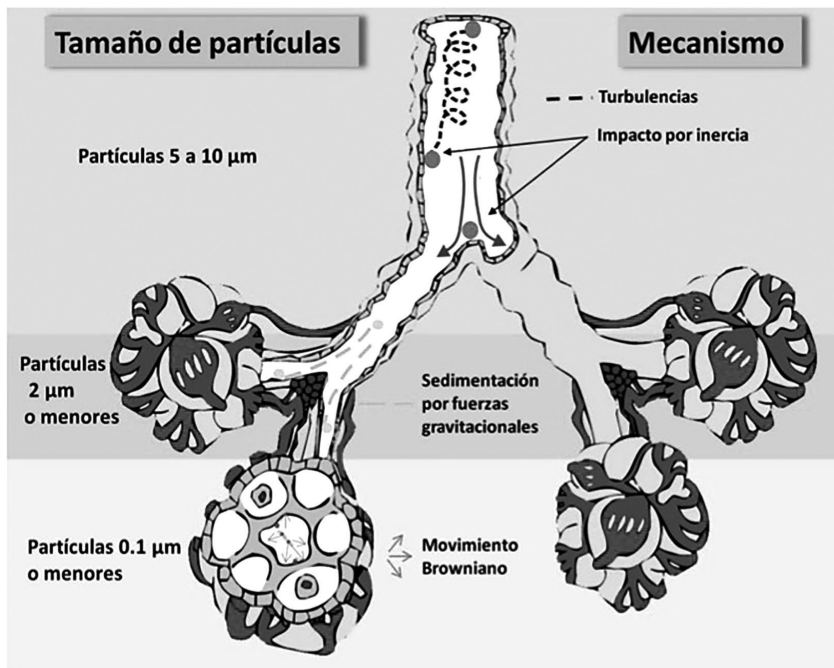
La configuración anatómica de algunos segmentos del sistema de conducción, específicamente cavidad nasal y bronquios, sirve como un filtro para prevenir o reducir la penetración de material nocivo a los alvéolos. El estrecho espacio de los meatos nasales y las turbulencias del aire (fuerza centrífuga) generadas por el arreglo en espiral de los cornetes nasales (conchas), hace que las partículas suspendidas en el aire se impacten sobre la mucosa. Mediante este mecanismo de impacto o choque, las partículas de 10µm o mayores son atrapadas en la mucosa nasal y faríngea. El impacto de partículas es el principal mecanismo por el que se deposita el mayor número de partículas independientemente de su tamaño (Figura 2) (Martínez-Burnes et al., 1986a).

En la tráquea y los bronquios, las bifurcaciones traqueo-bronquiales hacen que el aire cambie de dirección repentinamente y por inercia las partículas de 5 a 10

μm de diámetro chocan contra la superficie de la mucosa (Figura 2). En los bronquios más pequeños, bronquiolos y alvéolos, la sedimentación por fuerzas gravitacionales permite el depósito de partículas de $0.2 \mu\text{m}$ o menores (Martínez-Burnes et al., 1986a).

En los alveolos la velocidad de aire es casi inexistente, por lo que las partículas más pequeñas suspendidas en el aire sufren movimiento browniano, imprimiéndoles un movimiento corto y rápido que pone a las partículas de $0.1 \mu\text{m}$, o menores, en contacto con el epitelio alveolar. Los aerosoles con virus y bacterias que van del rango de 0.01 a $2 \mu\text{m}$ tienen el tamaño que típicamente les permite alcanzar la región bronquiolo-alveolar (Figura 2).

Figura 2. Mecanismo de depósito de partículas en el sistema respiratorio



Elaboración: Dr. Julio Martínez Burnes

Mediante estos mecanismos de depósito, agentes virales y bacterianos se depositan en zonas anatómicas específicas del sistema respiratorio y cada una de estas zonas posee mecanismos propios de defensa, pero siempre actuando en forma coordinada. Cuando los mecanismos de defensa son rebasados, las bacterias inhaladas colonizan, se multiplican y causan una neumonía. En forma similar, cuando un gas tóxico o radicales libres sobrepasan los mecanismos de defensa, las células respiratorias

sufren daño irreversible, tal es el caso de la peroxidación celular o neumotoxicidad presente en algunas enfermedades respiratorias (Lopez & Martinson, 2017).

Eliminación o remoción bacteriana pulmonar

La capacidad del pulmón para eliminar materiales extraños incluyendo bacterias ha sido reconocida desde hace muchos años. La eliminación bacteriana ha sido estudiada en los pulmones de diferentes especies animales utilizando diferentes bacterias. Para estudiar la remoción bacteriana pulmonar se utilizan modelos experimentales en los cuales se expone al animal en una cámara a un aerosol bacteriano y posteriormente se evalúa en el pulmón la eliminación de las bacterias a través del tiempo (Martínez-Burnes et al., 1986b).

Desde 1972 se iniciaron los estudios de eliminación bacteriana de becerros sanos expuestos a un aerosol de *Pasteurella* (*Mannheimia haemolytica*) o de *Staphylococcus aureus*. Los valores de eliminación para *M. haemolytica* fueron de 75% en dos horas, 90% a las cuatro horas y de 92% a las ocho horas después de inoculadas. En el caso de *S. aureus* un patrón similar de eliminación del 70%, 90% y 95% fue obtenido a las dos, cuatro y ocho horas respectivamente. Estos estudios demostraron por primera vez que el pulmón bovino tiene la capacidad para eliminar las bacterias inhaladas, incluyendo *Mannheimia haemolytica* (Lillie & Thomson, 1972).

A partir de estos modelos experimentales de eliminación bacteriana pulmonar, se concluyó que, bajo condiciones normales, tanto animales de laboratorio como domésticos incluyendo al bovino, tienen la capacidad de eliminar del pulmón bacterias de una manera rápida y predecible. También se concluyó que cada especie animal y cada cepa de la misma bacteria es eliminada con patrones y velocidades diferentes (Martínez-Burnes et al., 1986b).

Se estudió el efecto de diferentes factores sobre los mecanismos de defensa mediante las curvas de eliminación bacteriana en el animal sano. La infección viral fue uno de los factores más estudiados, pues por muchos años se había documentado la alta prevalencia de neumonías bacterianas durante los brotes de infecciones virales, como en el caso de la influenza en humanos y parainfluenza-3 en bovinos. A partir de estos estudios se concluyó que las infecciones virales deprimen notablemente la capacidad del pulmón para eliminar bacterias inhaladas. Esto generó un neologismo ahora muy popularizado conocido como “efecto sinérgico virus-bacteria.” Un hallazgo importante en el sinérgico virus-bacteria es que la infección viral debe preceder a la infección bacteriana por 5-7 días (Lopez & Martinson, 2017; Weekley, Veit, & Eyre, 1998).

A través de los años se postularon diferentes teorías de cómo un virus afecta los mecanismos de defensa. Entre estas teorías figuraba la idea de que la lesión viral en la mucosa actúa como un nido para la colonización por bacterias, una disminución

de la eliminación mucociliar, o una disminución de los niveles de surfactante. Uno de los posibles mecanismos del sinergismo virus-bacteria era la supresión de la actividad fagocítica de los macrófagos alveolares causada por el virus, sea ésta por defectos en la quimiotaxis, captura de partículas, ingestión, fusión de fagolisosomas y actividad lítica y degradación intracelular (Taylor, Fulton, Lehenbauer, Step, & Confer, 2010a). También se pensó en una disminución de los niveles de enzimas lisosómicas en los macrófagos y en la apoptosis de macrófagos alveolares inducida por virus (J. Caswell, 2014).

Estos modelos experimentales también demostraron un sinergismo virus-bacteria en las infecciones causadas por virus como Parainfluenza tipo 3 (PI3), Virus de la Rinotraqueítis Bovina (BHV1, IBR) y Virus Sincicial Respiratorio Bovino (VRSB). Estos virus inducen una falla en la eliminación de *M. haemolytica* la cual culmina con una neumonía bacteriana, la mannheimiosis neumónica o fiebre de embarque (Lopez & Martinson, 2017).

Otros factores importantes que deprimen los mecanismos de defensa y que contribuyen a las neumonías bacterianas en los bovinos son el estrés, la deshidratación, acidosis, la exposición a gases tóxicos como el amoníaco en instalaciones con ventilación deficiente y factores ambientales como exposición al frío (J. L. Caswell & Williams, 2016). El estrés y la deshidratación son factores predisponentes y juegan un rol importante en las infecciones por *Mannhemia haemolytica* y *Histophilus somni* cuando los animales son transportados a los corrales de engorda (J. Caswell, 2014).

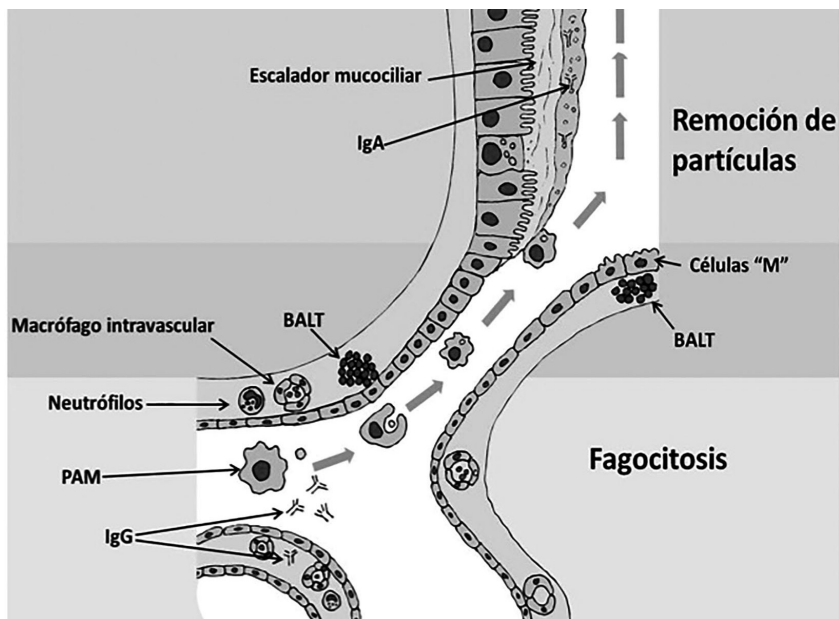
Mecanismo de defensa mucociliar (Sistema conductivo)

La eliminación mucociliar es la remoción física de partículas depositadas o gases disueltos en el moco del sistema respiratorio y esta eliminación es generada por la carpeta o escalador mucociliar. La carpeta es el principal mecanismo de defensa del sistema de conducción, desde la cavidad nasal hasta los bronquios (Figura 3).

El componente mucoso de la carpeta mucociliar se compone de una mezcla de agua, glicoproteínas, inmunoglobulinas, lípidos y electrolitos producidos por las células mucosas y serosas, glándulas submucosas y fluidos transepiteliales. Todos estos componentes se ubican en la superficie de la mucosa respiratoria y forman una capa doble y delgada de moco arriba de las células. La capa externa es una fase viscosa de gel y la capa interna es una fase fluida en contacto con los cilios. Las células ciliadas en el sistema de conducción tienen alrededor de 100 a 200 cilios móviles del 6µm de largo, y que pulsan formando una ola con una frecuencia de 1000 pulsos por minuto generando un movimiento longitudinal de moco a razón de 20mm por minuto. El continuo y sincronizado movimiento ciliar mueve el moco y todas las células exfoliadas y las partículas atrapadas hacia la faringe en donde el moco es deglutido o expulsado por la tos (Waterer, 2012).

Las células M (“microfold”) son células epiteliales modificadas asociadas al epitelio ciliado. Contribuyen a los mecanismos de defensa del sistema de conducción, pues cubren el tejido linfoide asociado a bronquios (BALT). El BALT está estratégicamente situado en las esquinas de las bifurcaciones bronquiales, lugar donde las partículas chocan con la mucosa por la fuerza de la inercia. Las partículas y los antígenos solubles son fagocitados y transportados por macrófagos, células dendríticas y otras células presentadoras de antígenos (APCs) al interior del tejido linfoide. Una vez adentro del BALT los patógenos entran en contacto directo con los linfocitos B y T. Estos linfocitos no permanecen por mucho tiempo en el pulmón, pues están en constante movimiento y pasan a otros órganos como son los nodos linfáticos y bazo, contribuyendo de esta forma a la inmunidad celular (linfocitos citotóxicos, ayudadores y supresores) y a la inmunidad humoral (anticuerpos). Las inmunoglobulinas A(IgA) producidas por las células plasmáticas de la mucosa y en menor grado las IgG e IgM participan en la inmunidad local del sistema de conducción, sobre todo previniendo la agregación de patógenos a los cilios (Figura 3). La inmunidad local juega también un papel importante en la prevención de la infecciones virales y por consiguiente previene en forma indirecta las infecciones bacterianas secundarias (J. L. Caswell & Williams, 2016; Lopez & Martinson, 2017).

Figura 3. Mecanismos de defensa del sistema respiratorio



Elaboración: Dr. Julio Martínez Burnes

Mecanismo de defensa fagocítico (sistema de intercambio)

El principal mecanismo de defensa del sistema de intercambio es la fagocitosis por los macrófagos alveolares ya que los alveolos no poseen ni células ciliadas ni células productoras de moco. Los macrófagos alveolares se derivan de los monocitos sanguíneos y en menor grado de los macrófagos intersticiales, pero constituyen una población diferente a los macrófagos intravasculares los cuales se encuentran en la luz de los capilares alveolares. Los macrófagos alveolares modifican su metabolismo al llegar de la medula ósea al pulmón para funcionar en un medio con condiciones aeróbicas (Waterer, 2012).

Los macrófagos alveolares atrapan y fagocitan bacterias y otras partículas que llegan al alveolo. El número de macrófagos alveolares está proporcionalmente relacionado con el número de partículas inhaladas y esta habilidad de los alveolos de incrementar rápidamente el número de macrófagos es vital para proteger esta región del pulmón.

La fagocitosis alveolar juega un rol importante en los mecanismos de defensa innatos contra bacterias inhaladas sin la necesidad de una reacción inflamatoria. Las bacterias que alcanzan los alveolos son rápidamente fagocitadas y las enzimas bactericidas de los lisosomas se descargan en el fagosoma, destruyendo así a la bacteria fagocitada. Los macrófagos alveolares abandonan el alveolo migrando por movimientos amiboideos propios hacia el escalador mucociliar y de ahí son removidos a través del flujo mucociliar a la faringe, para finalmente ser deglutidos (Figura 3). La eliminación bacteriana por macrófagos alveolares opera en una forma bien coordinada con otras células y secreciones del pulmón. Las interacciones entre células son complejas e involucran numerosas células, incluyendo macrófagos alveolares, linfocitos, células dendríticas, endoteliales y neumocitos tipo II. Además, mensajeros químicos participan en la interacción entre las células (Lopez & Martinson, 2017; Waterer, 2012).

Algunos microorganismos son resistentes a la fagocitosis mediante factores de virulencia que les permiten sobrevivir y multiplicarse dentro del macrófago alveolar. Ejemplos de este tipo de microorganismos son las bacterias de género *Mycobacterium* spp causante de la tuberculosis y los hongos de las micosis sistémicas como el *Coccidioides immitis*, *Blastomyces dermatitides* y el *Histoplasma capsulatum* entre otros. Estos organismos no son destruidos por la fagocitosis y producen una reacción de tipo granulomatosa en el pulmón (neumonía granulomatosa) la cual se caracteriza por áreas focales de tejido conectivo y linfocitos rodeando abundantes macrófagos. Las micobacterias y los hongos se visualizan generalmente en cortes histológicos teñidos con tinciones especiales. Otros organismos como los micoplasmas se adhieren fuertemente a los cilios evadiendo así su expulsión por la carpeta mucociliar (Lopez & Martinson, 2017).

La respuesta inmune de tipo humoral también juega un papel importante en la protección de las vías respiratorias contra patógenos. La IgG y en menor grado IgE e IgM son las inmunoglobulinas protectoras en el alveolo. La IgG es la más abundante y actúa como inmunoglobulina opsonizante para promover la ingestión y destrucción de patógenos inhalados por macrófagos y neutrófilos. Los macrófagos están equipados con un gran número de receptores específicos en su superficie para facilitar la opsonización, fagocitosis y destrucción de bacterias (Waterer, 2012). En el Cuadro 2 se incluye una relación de los diferentes mecanismos de defensa del sistema respiratorio de acuerdo a la zona anatómica.

Cuadro 2. Resumen de los mecanismos de defensa del sistema respiratorio

Célula/productos secretores	Actividad
Sistema de conducción:	
Células epiteliales ciliadas	Remueven moco, partículas inhaladas y patógenos
Moco	Atrapa partículas inhalada, patógenos y gases solubles
Lisosimas	Enzimas antimicrobiales
Anticuerpos	Inmunoglobulinas (IgA, IgM). Inmunidad local
Sistema de transición:	
Células Club (Clara)	Detoxificación de sustancias extrañas
Anticuerpos	Inmunoglobulinas (IgA, IgM)
Lisosimas	Enzimas antimicrobiales
Antioxidantes	Previene daño causado por radicales libres de oxígeno
Sistema de intercambio:	
Macrófago alveolar (MA)	Fagocitosis y remoción de partículas inhaladas
Macrófagos intravasculares	Fagocitosis y remoción de partículas circulantes
Surfactante (Proteínas A y D)	Protege paredes alveolares y promueve fagocitosis
Anticuerpos	Inmunoglobulinas IgG opsonización
Alfa 1- antitripsina	Protege contra efectos nocivos de enzimas proteolíticas liberadas por células fagocíticas, inhibe inflamación
Interferón	Antiviral e inmunomodulador, activación de PAM
Complemento	Quimiotaxis y promueve fagocitosis por opsonización

Célula/productos secretores	Actividad
Antioxidantes	Previene daño causado por radicales libres de oxígeno generados durante fagocitosis, inflamación o inhalación de gases oxidantes
Linfocinas	Incrementan la actividad fagocítica de los Macrófagos pulmonares alveolares (PAM)
Citocinas (IL ₁)	Liberadas por PAM, promueve reclutamiento de linfocitos, señales de maduración a células T para responder a la estimulación de antígenos

Modificado de López and Martinson, *Pathologic Basis of Veterinary Diseases*, Elsevier, 2017

En los últimos años se ha demostrado la importancia de las células epiteliales en los mecanismos de defensa del pulmón contra agentes microbianos, no solo como una simple barrera física, sino también como centinela inmune participando tanto en la inmunidad innata como adaptativa. Uno de los factores protectores más relevantes del epitelio son los llamados “patrones moleculares asociados a patógenos” los cuales establecen comunicación con otras células de defensa cuando entran en contacto con el agente patógeno (Leiva-Juarez, Kolls, & Evans, 2017). También se ha puesto atención a los “péptidos antimicrobianos y a otras moléculas de defensa en el fluido que cubren el epitelio del tracto respiratorio, que son derivadas del propio epitelio, de macrófagos, de otros leucocitos y del plasma sanguíneo (Hiemstra, Amatngalim, van der Does, & Taube, 2016). Estas moléculas funcionan como opsoninas, destruyen o limitan el crecimiento de bacterias, protegen contra oxidantes o daño proteolítico, modulan la respuesta inmuno-inflamatoria y promueven la reparación tisular. Se clasifican dentro de mecanismos de defensa innatos y desempeñan múltiples funciones que contribuyen a la salud del sistema respiratorio. Dentro de estas moléculas antibacteriales más conocidas figuran las defensinas, catelicidinas, lactotransferrinas, hipotiocianito y el ácido hipoidoso (productos del sistema Duox/lactoperoxidasa), péptidos antimicrobiales y las lipocalinas. Dentro de las opsoninas se incluyen IgG, proteínas del complemento, proteínas A y D del surfactante y pentraxinas (Waterer, 2012). A pesar de ser relativamente reciente el descubrimiento de estas moléculas, se ha avanzado en el conocimiento de cómo estos mecanismos de defensa innatos fallan sea por falta de producción, degradación o alteración de su función, o resistencia de los patógenos a sus efectos (J. Caswell, 2014).

Mecanismos de defensa contra patógenos vía hematógena

A pesar de que agentes infecciosos circulantes llegan constantemente al pulmón por medio de la sangre, raramente originan una infección pulmonar. Para establecerse una infección hematógena en el pulmón, el agente infeccioso en la sangre necesita

primero adherirse a la pared de los vasos sanguíneos y luego evadir a los macrófagos intravasculares y neutrófilos. Se considera que sólo el 1% de las bacterias circulantes en la sangre son retenidas en el pulmón, el resto pasa por la circulación a otros órganos, como el bazo, donde son eliminadas por el sistema monocítico-macrofágico. Sin embargo, en los rumiantes las células predominantemente responsables para la eliminación de bacterias, partículas y endotoxinas en la sangre son los macrófagos intravasculares. Estos macrófagos se encuentran normalmente en la luz de los capilares pulmonares y representan una población diferente a los macrófagos alveolares (Figura 3) (Lopez & Martinson, 2017).

En resumen, el sistema respiratorio se encuentra expuesto a patógenos en el aire o en la sangre, pero se mantiene sano por sus eficientes mecanismos de defensa. Estos mecanismos actúan de una manera coordinada y armonizada contra bacterias y partículas mediante la eliminación o remoción mucociliar, inmunidad humoral y celular, fagocitosis por macrófagos alveolares e intravasculares, además de numerosas secreciones antibacterianas y antivirales. Los mecanismos de defensa del pulmón son muy efectivos en atrapar, destruir y eliminar o remover bacterias. Bajo condiciones normales, los animales pueden ser expuestos a aerosoles de numerosas bacterias sin causar efectos dañinos y las bacterias inhaladas son removidas o eliminadas en una forma rápida y predecible. Sin embargo, cuando los mecanismos de defensa fallan, las bacterias inhaladas colonizan, se multiplican y sobrepasan los mecanismos de defensa del pulmón causando neumonías secundarias.

Falla de los mecanismos de defensa del sistema respiratorio

Diferentes factores o efectos adversos predisponen a los bovinos a las neumonías bacterianas secundarias, dentro de ellos están los virus, estrés, edema pulmonar, deshidratación, acidosis y exposición al frío entre otros.

Las infecciones virales

Está bien documentado que los agentes virales predisponen a los bovinos a neumonías bacterianas secundarias, en el llamado “sinergismo virus-bacteria”. Los virus más comúnmente involucrados con las neumonías bacterianas son herpesvirus bovino-1 (BoHV-1), parainfluenza- 3 (PI-3), el virus sincicial respiratorio bovino (BRSV) y el Coronavirus Bovino (BCoV). En el mecanismo de este sinergismo se creía en el pasado que se debía simplemente a la destrucción de la carpeta mucociliar y a la consecuente reducción de la remoción mucociliar. Se sabe que de 5 a 7 días después de una infección viral, la remoción mucociliar y la fagocitosis de los macrófagos alveolares son notablemente afectadas. En la patogénesis de las neumonías, es de mayor importancia el efecto detrimental del virus en la actividad bactericida de los

macrófagos. Se han postulado diferentes mecanismos mediante los cuales los virus deprimen los mecanismos de defensa, pero no son totalmente entendidos. Se sabe también que la inmunización contra agentes virales en los bovinos reduce en gran medida el efecto sinérgico virus-bacteria y por ende la incidencia de neumonías bacterianas secundarias (J. Caswell, 2014; Panciera & Confer, 2010). Sin embargo, los reportes de resultados de la vacunación no son consistentes y se ha sugerido que el mayor beneficio se alcanza cuando se realiza antes del transporte de los animales a corrales, durante el proceso de preacondicionamiento (Taylor, Fulton, Lehenbauer, Step, & Confer, 2010b).

Estudios de laboratorio demostraron que las adhesinas bacterianas se enlazan a las ligas de las células del hospedador y la expresión alterada de estas ligas afecta la colonización del pulmón por patógenos. Por ejemplo, se ha reportado que el BHV1 promueve la adherencia de *M. haemolytica* a células epiteliales del tracto respiratorio. Se ha demostrado en medicina humana que algunos virus inducen la expresión de receptores para adhesinas bacterianas en células epiteliales del tracto respiratorio. Sin embargo, no se conoce hasta el momento si esto mismo sucede en los bovinos (J. Caswell, 2014).

Algunos virus respiratorios bovinos interfieren en la regulación de la expresión de IFN- α e IFN- β . Por ejemplo, el BHV-1 bloquea la inducción de expresión del gene IFN- β . BRSV y también inhibe la respuesta tipo I de Interferón. La manipulación viral de las células del hospedador afecta las defensas pulmonares contra bacterias y tiene un efecto amplio en la regulación de la inflamación e inmunidad del pulmón. Algunos defectos inducidos por virus sobre la respuesta inflamatoria permiten la sobrevivencia y promueven la proliferación de bacterias en el pulmón, sin embargo, esta interacción viral con las células del hospedador también puede exacerbar la respuesta inmuno-inflamatoria a las infecciones bacterianas. Algunos estudios también demostraron el efecto de factores predisponentes como el estrés por destete, transporte, desagregación de grupos sociales y exposición al frío asociados con niveles altos de corticosteroides, sobre la producción de moléculas de defensa innatas (J. Caswell, 2014; Taylor et al., 2010a; Weekley et al., 1998).

Otros factores que predisponen la colonización y neumonías secundarias

Como se describió en la sección de flora normal o microbiota, la *M. haemolytica* es un habitante normal de la mucosa nasal de becerros clínicamente sanos, pero su presencia no es uniforme. Estudios bacteriológicos con hisopados nasales demostraron que la población de esta bacteria se incrementa al mover los becerros de su lugar de origen hacia los sitios de concentración y a corrales de engorda.

Este cambio microbiológico es acompañado también por un cambio en el serotipo predominante, del serotipo A2 más frecuente en bovinos en pastoreo no estresados, hacia el serotipo A1 más patógeno en el ganado estresado después del arribo a corrales de engorda. Las infecciones virales juegan un papel importante predisponiendo a los bovinos a neumonías bacterianas, promoviendo primero la replicación bacteriana de la *M. haemolytica* en la cavidad nasal elevando así el número de bacterias que llegan al pulmón. Se ha sugerido que este efecto viral es único para poblaciones de *M. haemolytica* en cavidad nasal. En forma similar, cuando un becerro es expuesto a temperaturas ambientales frías se incrementa la colonización de *M. haemolytica*. Por lo tanto, las infecciones virales y la exposición al frío favorecen selectivamente la colonización e incremento de grandes números de *M. haemolytica* serotipo A1 en cavidad nasal (J. Caswell, 2014). Los mecanismos responsables de este efecto en bovinos no son claros, sin embargo, se sugiere que la inflamación inducida por virus puede detonar la replicación bacteriana en cavidad nasal. Así mismo, se ha demostrado en este fenómeno que la presencia de esta bacteria en cavidad nasal coincide con los mismos serotipos en el pulmón. El destete, estrés del transporte, las infecciones virales y el aire frío estimulan la colonización de la cavidad nasal de bacterias patógenas y esto desafía también al pulmón debido a la inhalación de aerosoles con dichos agentes (J. Caswell, 2014; Taylor et al., 2010a). En el Cuadro 3 se resumen los diferentes factores asociados a las deficiencias en los mecanismos de defensa y sus efectos.

La deshidratación es otro factor que reduce la capacidad del pulmón para eliminar bacterias inhaladas. En la deshidratación, la pérdida de agua en la fase líquida del moco incrementa su viscosidad y esto interfiere con el movimiento ciliar en la carpeta mucociliar. Aunque no ha sido estudiado apropiadamente, se asume que la pérdida de peso en los becerros recién destetados y transportados se debe en parte a la deshidratación, lo que podría producir el mismo efecto y como consecuencia el desarrollo de neumonías (J. Caswell, 2014).

Cuadro 3. Resumen de los factores asociados a la deficiencia de los mecanismos de defensa del sistema respiratorio

Factor	Efecto
Agentes virales	Sinergismo virus-bacteria (BHV1, PI ₃ , BRSV, Coronavirus) Promueven adherencia bacteriana (adhesinas) Sensibilizan a neutrófilos a daño por leucotoxinas
Gases tóxicos	Inhiben remoción bacteriana, Amoniac (NH ₃)
Deshidratación	Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S), Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)

Factor	Efecto
Hipoxia y edema pulmonar	Incrementa viscosidad del moco e impide movimiento ciliar
Exposición al frío	Disminuye fagocitosis por PAM Altera producción de surfactante
Inanición, hipotermia	Reduce pulsaciones de cilios y remoción de moco y partículas
Corticosteroides y estrés	Reduce respuesta inmune celular y humoral
Inmunodeficiencia	AIDS/PRRS & <i>Pneumocystis carini</i>

Algunos gases también deprimen los mecanismos de defensa del sistema respiratorio, haciendo a los animales más susceptibles a sufrir infecciones bacterianas secundarias. El ejemplo más práctico es el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y el amoníaco (NH_3) comúnmente encontrados en las granjas y explotaciones ganaderas con ventilación inadecuada. En condiciones experimentales se demostró que estos gases deprimen la actividad mucociliar y producen edema pulmonar incrementándose así la susceptibilidad a neumonías bacterianas (Cuadro 3) (J. Caswell, 2014; Lopez & Martinson, 2017).

Otros factores conocidos que deprimen los mecanismos de defensa son la uremia, endotoxemia, inanición, hipoxia, acidosis, el edema pulmonar entre otros. La expresión alterada de adhesinas bacterianas ha sido implicado también como predisponente a las neumonías bacterianas secundarias (Cuadro 3) (J. Caswell, 2014). Los mecanismos involucrados son diversos. En el caso del edema pulmonar se deprime la función fagocítica de los macrófagos alveolares y altera la producción de substancia surfactante por los neumocitos tipo II.

La hipotermia y la inanición pueden también reducir la respuesta inmune humoral y celular. El estrés ambiental (manejo animal) juega un papel importante en las neumonías bacterianas de los becerros durante y después del transporte a corrales de engorda. Otros factores ambientales y de manejo que predisponen a las neumonías son el estrés posdestete, hacinamiento, corrales con fuentes inadecuadas de alimentación y de agua, polvo excesivo en lugares secos y otras condiciones de humedad en corrales (Taylor et al., 2010a) (Cuadro 3).

Los becerros no adaptados al frío, no tienen suficiente protección por pelo o grasa para soportar temperaturas frías, amplificadas por el viento y lluvia, especialmente si no se proporciona protección adecuada en instalaciones y corrales. Se ha demostrado en el laboratorio que el aire frío reduce la frecuencia de pulsaciones ciliares y el transporte de moco (Diesel, Lebel, & Tucker, 1991).

Como se describió en la sección de mecanismos de defensa innatos, las moléculas de defensa tienen gran importancia en la protección del pulmón, por lo que cualquier cofactor que reduzca sus niveles básicos de producción o que

induzca altos niveles, representan mecanismos predisponentes para el desarrollo de neumonías bacterianas (Waterer, 2012).

Los corticosteroides limitan la expresión de péptidos antimicrobiales traqueales en bovinos y los niveles de corticosteroides se elevan en los becerros durante el estrés por desagregación o separación de grupos sociales, por transporte o por exposición al frío. Esto explica porqué el estrés predispone a los becerros a las enfermedades respiratorias cuando son expuestos a factores inusuales. También se ha reportado que el estrés del destete en bovinos se asocia con bajos niveles de lactotransferrina en sangre y que en humanos los glucocorticoides reducen la secreción de lactotransferrina del epitelio bronquial (J. Caswell, 2014). Todo esto explica porqué una alteración en la secreción de factores de defensa innatos del epitelio respiratorio causada por exceso de corticosteroides o de estrés predispone a los animales a las neumonías bacterianas secundarias.

Los virus también pueden causar una falla de expresión de factores de defensa innatos. Por ejemplo, el Virus de la Diarrea Viral Bovina no citopático es un predisponente importante de neumonía bacteriana en ganado a pesar que este virus infecta células del epitelio bronquial in vivo sin causar cambios morfológicos. La infección de células del epitelio traqueal de bovinos no afecta la expresión base de factores de defensa, sin embargo, abroga la expresión de péptidos y transferrinas microbiales estimulada por lipopolisacáridos (Ridpath, 2010).

Como se describió en la sección de mecanismos de defensa, las inmunoglobulinas IgM, IgG y sobre todo IgA participan en la defensa del tracto respiratorio del bovino contra patógenos bacterianos. Esto es a través de la activación del complemento y opsonizando las bacterias para ser fácilmente reconocidas y fagocitadas por macrófagos y neutrófilos, así como también estas inmunoglobulinas neutralizan toxinas bacterianas y bloquean sitios de colonización (Waterer, 2012). Algunos investigadores sugieren que la falta de exposición previa a patógenos y la inducción de dichas inmunoglobulinas es una razón de falla de los mecanismos de defensa. Al tiempo de arribo de becerros a corrales de engorda los títulos de anticuerpos séricos contra *M. haemolytica* y *H. somni* varían considerablemente, pero son generalmente altos por exposición previa o vacunación. Algunos estudios han demostrado que títulos altos de anticuerpos contra patógenos al arribo a corrales están asociados con una baja incidencia de enfermedades respiratorias, sin embargo, dichos resultados no han podido ser reproducidos por otros investigadores. En el caso de *Mycoplasma bovis*, otra causa importante de neumonía, no se sabe realmente si la inmunidad previa protege al animal contra la infección (J. Caswell, 2014).

Los anticuerpos maternos son importantes para la defensa contra enfermedades respiratorias en bovinos en los primeros tres meses de edad y la falla

para adquirir estas inmunoglobulinas calostrales incrementa el riesgo de neumonía en becerros de esta edad. La falla de inmunidad pasiva puede deberse a inadecuados niveles de anticuerpos en el calostro, baja calidad de calostro por almacenamiento inadecuado, inhabilidad del becerro para mamar o por falta de absorción calostrual por los enterocitos del recién nacido. La acidosis originada por una hipoxia *intrapartum* causa en el becerro una deficiente o nula de absorción de inmunoglobulinas en el intestino lo cual se manifiesta por una hipogamaglobulinemia (J. Caswell, 2014).

El efecto del estrés en la función de los macrófagos alveolares ha sido tema de gran interés, pero difícil de estudiar. Se asume que el estrés impide la función de estas células, sin embargo, evidencias numerosas sugieren que los factores de estrés agudo en el ganado recién llegado a corrales, mejoran muchos aspectos de la respuesta inmune innata. Por un lado, el estrés promueve efectos inmunoestimuladores y resistencia a enfermedades y por otro se demuestran efectos inmunosupresores y promover enfermedades respiratorias. El concepto de incremento en inmunidad innata asociada a estrés es revolucionario y contradice la ocurrencia observada de enfermedades respiratorias en ganado estresado. Con base en estas observaciones, algunos autores sugieren que el concepto de inmunosupresión deberá ser manejado de otra manera, abandonarlo o enfocarlo más apropiadamente en los elementos de la respuesta inmune innata que generan (J. Caswell, 2014).

Los efectos adversos del estrés e infecciones virales en la respuesta de neutrófilos incluyen neutropenia, alteración en reclutamiento de neutrófilos, efectos en la sensibilidad a leucotoxinas y respuestas efectoras a infecciones bacterianas. La neutropenia es el efecto más documentado en el pulmón y predispone a neumonías en humanos. En bovinos, la infección con el virus de la Diarrea Viral Bovina nocitopático induce neutropenia sostenida, debida en parte a la reducida producción en la médula ósea. Sin embargo, el efecto con otros virus como BHV-1 no ha sido demostrado (J. Caswell, 2014). Las infecciones virales sensibilizan a los neutrófilos al efecto dañino de la leucotoxina de *M. haemolytica*. Se ha demostrado que células mononucleares de bovinos infectadas con BHV-1 producen IL-1 β y otras citosinas que inducen sobreexpresión de CD18 en neutrófilos, por lo que considerando que éste es el receptor para la leucotoxina de *M. haemolytica*, incrementa el enlace de esta toxina y exacerba el efecto citotóxico en neutrófilos bovinos (Leite, Atapattu, Kuckleburg, Schultz, & Czuprynski, 2005).

En resumen, el sistema respiratorio posee eficientes mecanismos de defensa innatos e inmunes que protegen contra las infecciones bacterianas. El conocimiento de dichos mecanismos ha evolucionado pasando del impacto en la remoción bacteriana mucociliar y el efecto negativo sobre la fagocitosis de macrófagos y neutrófilos hasta el descubrimiento de la expresión de moléculas de defensa. El

concepto integral actual es que los mecanismos de defensa, aunque variados, funcionan de manera organizada y armónica en capas o secuencias. Para que un patógeno infecte el pulmón debe aprovechar la falla de uno o varios de estos mecanismos de defensa.

Conclusión

Se concluye que los bovinos están expuestos continuamente a una multitud de agentes patógenos, pero gracias a los mecanismos de defensa el pulmón permanece sano. Existen numerosos factores que predisponen a los bovinos a las neumonías bacterianas entre los que sobresalen el estrés del destete y transporte, la desagregación de grupos sociales, condiciones climáticas adversas, mala calidad del aire, pobre ventilación, áreas inadecuadas de adaptación, deshidratación e infecciones virales. También están involucrados factores de virulencia mediante los cuales algunas bacterias evaden los mecanismos de defensa para colonizar el pulmón y producir un proceso neumónico. El entendimiento de los mecanismos de defensa y la falla de los mismos, así como las interacciones y factores predisponentes, permitirán establecer estrategias integrales para la prevención y tratamiento de enfermedades respiratorias en bovinos.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo de edición de imágenes al MVZ José Luis Palomares Rangel. FMVZ-UAT.

Lista de referencias

- Caswell, J. (2014). Failure of respiratory defenses in the pathogenesis of bacterial pneumonia of cattle. *Veterinary Pathology*, 51(2), 393-409.
- Caswell, J. L., & Williams, K. J. (2016). Respiratory System. In M. G. Maxie (Ed.), *Jubb, Kennedy, and Palmer's Pathology of Domestic Animals* (Sixth ed. ed., Vol. 2, pp. 465-591). St. Louis, Missouri: Elsevier.
- Diesel, D. A., Lebel, J. L., & Tucker, A. (1991). Pulmonary particle deposition and airway mucociliary clearance in cold-exposed calves. *American Journal of Veterinary Research*, 52(10), 1665-1671.
- Hiemstra, P. S., Amatngalim, G. D., van der Does, A. M., & Taube, C. (2016). Antimicrobial Peptides and Innate Lung Defenses Role in Infectious and Noninfectious Lung Diseases and Therapeutic Applications. *Chest*, 149(2), 545-551. doi:10.1378/chest.15-1353
- Leite, F., Atapattu, D., Kuckleburg, C., Schultz, R., & Czuprynski, C. J. (2005). Incubation of bovine PMNs with conditioned medium from BHV-1 infected peripheral blood mononuclear cells increases their susceptibility to Mannheimia haemolytica leukotoxin. *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 103(3-4), 187-193. doi:10.1016/j.vetimm.2004.08.015
- Leiva-Juarez, M., Kolls, J., & Evans, S. (2017). Lung epithelial cells: therapeutically inducible effectors of antimicrobial. *Mucosal Immunol.* 2017 Aug 16. pii: mi201771. doi: 10.1038/mi.2017.71., T - aheadofprint.
- Lillie, L., & Thomson, R. (1972). The pulmonary clearance of bacteria by calves and mice. *Can J Comp Med.* 1972 Apr;36(2):129-37., 36(2), 129-137.
- Lopez, A., & Martinson, S. (2017). Respiratory System, Mediastinum, and Pleurae. In Zachary-J.F. (Ed.), *Pathologic basis of veterinary disease* (pp. 471- 560): Elsevier.
- Martínez-Burnes, J., López-Mayagoitia, A., & Merino-Moncada, M. (1986a). Biofísica de las infecciones respiratorias. *Vét.Mex.*, 17, 181-189.
- _____ (1986b). Eliminación bacteriana pulmonar. *Vét. Mex.*, 17, 281- 288.
- Pancier, R. J., & Confer, A. W. (2010). Pathogenesis and Pathology of Bovine Pneumonia. *Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice*, 26(2), 191-+. doi:10.1016/j.cvfa.2010.04.001
- Ridpath, J. (2010). The Contribution of Infections with Bovine Viral Diarrhea Viruses to Bovine Respiratory Disease. *Veterinary Clinics of North America-Food Animal Practice*, 26(2), 335-+. doi:10.1016/j.cvfa.2010.04.003
- Taylor, J. D., Fulton, R. W., Lehenbauer, T. W., Step, D. L., & Confer, A. W. (2010a). The epidemiology of bovine respiratory disease: What is the evidence for predisposing factors? *Canadian Veterinary Journal-Revue Veterinaire Canadienne*, 51(10), 1095-1102.

- _____ (2010b). The epidemiology of bovine respiratory disease: What is the evidence for preventive measures? *Canadian Veterinary Journal-Revue Veterinaire Canadienne*, 51(12), 1351-1359.
- Waterer, G. W. (2012). Airway Defense Mechanisms. *Clinics in Chest Medicine*, 33(2), 199-+. doi:10.1016/j.ccm.2012.03.003
- Weekley, L. B., & Veit, H. P. (1995). Potential morphologic and physiological factors that may predispose the bovine lung to respiratory-disease. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian*, 17(7), 974-982.
- Weekley, L. B., Veit, H. P., & Eyre, P. (1998). Bovine pneumonic pasteurellosis. Part I. Pathophysiology. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian*, 20(1), S33-+.

CAPÍTULO 5

Genética aplicada en medicina veterinaria

Luz Yosahandy Peña Avelino^{13*}

Ivonne Ceballos Olvera¹⁴

Jorge Alva Pérez¹⁵

Introducción

Los seres humanos al dedicarse a la agricultura y la ganadería mostraron interés por conocer los fenómenos que influyen en la transmisión de las características. De los cruzamientos que realizaban en los tiempos antiguos observaban diferencias en rasgos de los descendientes con respecto a los progenitores, y debido a esta variación uno de los primeros objetivos fue identificar en los descendientes las diferencias alélicas entre los rasgos observados (fenotipo) como: el color de los ojos, el pelo, la piel y el tamaño. Más tarde, se incluyó los problemas de la transmisión de enfermedades hereditarias, la conformación de las diferentes razas y sus cruces, el desarrollo de líneas puras y las mutaciones que son el fundamento de la genética de hoy.

Durante la implementación de un programa de mejoramiento genético de una especie es importante reconocer que el fenotipo de un animal está determinado por la herencia y por el ambiente donde se desarrolla. Por lo tanto, los esfuerzos por obtener un animal superior en producción, crecimiento y desarrollo serán poco útiles si el genotipo no es el deseado. Por lo tanto, es importante el conocimiento de las razas, de las cruces y recursos genéticos para la obtención de animales adaptados a las diferentes condiciones y exigencias de producción.

Genes y alelos

Joseph Kölreuter (1733-1806) demostró que los híbridos de la primera generación son muy semejantes entre sí, de él surge la idea de la herencia mezcladora. Sin

¹³ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Carretera Cd-Victoria-Mante km 5. CP. 87000

¹⁴ *Ibidem*.

¹⁵ *Ibidem*.

* Autor para correspondencia electrónica: lypena@docentes.uat.edu.mx

embargo, Gregorio Mendel (1822-1884) es considerado la persona responsable del descubrimiento de los procesos de la herencia. En el año de 1860 al estudiar siete características (forma y color de la semilla, forma y color de la vaina, color de la flor, ubicación de la flor y tamaño de la planta) que aparecían en las variedades del guisante, observó que estos caracteres se heredaban en forma independiente y determinó que cada progenitor tiene pares de unidades heredables, pero que sólo aporta una a cada pareja de su descendencia (genes). La selección de los animales en el campo aún se realiza en su mayoría de forma visual combinando algunas razas que según sus rasgos sean más productivos o estéticos. En el contexto científico, los avances están relacionados con la tecnología reproductiva y molecular, como la clonación y el uso de marcadores genéticos del ADN para la selección.

El concepto de gen ha cambiado a lo largo del tiempo, Mendel en sus experimentos propuso la idea original llamándolos factores; responsables de la transmisión de los caracteres de padres a hijos. El gen mendeliano es una unidad de función, estructura, transmisión, mutación y evolución que se distribuye en los cromosomas. Los genes están localizados en los cromosomas dentro del núcleo celular y se disponen en secuencia a lo largo de cada uno de los cromosomas. Cada gen ocupa en el cromosoma una posición determinada llamada *locus* (*loci*, en plural). Al considerar una característica hereditaria, como por ejemplo el color de cabello, todo individuo recibe dos genes para ese rasgo: uno de origen materno y otro de origen paterno. Esta característica se conoce como diploide ($2n$) ya que cada célula contiene dos copias del mismo gen (heredado por el padre y la madre). Las únicas células haploides ($1n$, que contienen un solo gen) son los gametos.

Los genes que codifican para variantes de un mismo rasgo se denominan alelos; ocupan el mismo lugar (*locus*) en el par de cromosomas homólogos. El par de genes no puede aportar diferente información. Entonces, el alelo de un progenitor puede donar la información para el pelo color negro, y el alelo del otro progenitor informar para pelo color rubio. Así, la descendencia recibe un alelo distinto de cada progenitor, pero en general solo se expresa uno de ellos. El gen que se expresa se llama alelo dominante, y se le asigna por convención una letra mayúscula. El gen enmascarado por los efectos del otro se denomina alelo recesivo, y se le asigna la misma letra, en minúscula.

Existen tres teorías diferentes que pueden explicar la heterosis (variación genética): 1) la dominancia, hace referencia a que los individuos homocigotos dominantes (AA) como los individuos heterocigotos (Aa) presentan el mismo fenotipo; 2) la sobredominancia, los individuos heterocigotos presentan un fenotipo diferente al de los homocigotos; y 3) la epistasis, interacción entre genes no alélicos.

Herencia y ambiente

La variación entre los animales en un determinado grupo (hato, rebaño, majada) es debida a la diferencia de la herencia, al ambiente o a la interacción herencia-ambiente. Los parámetros genéticos (la heredabilidad, la repetibilidad y las correlaciones) sirven para evaluar las precisiones de las predicciones del valor genético de los individuos y las respuestas genéticas de un plan de mejoramiento genético.

La heredabilidad es la fracción de la varianza fenotípica que se debe a las diferencias entre los genotipos de los individuos de una población. Esta puede variar de 0 a 1. Cuando el valor es 0 indica que la variación observada en la población es debida a las diferencias del ambiente y no a los individuos. En cambio, el valor de 1 significa que los factores ambientales tienen poco efecto sobre ella. Si la heredabilidad es baja (0-0.25) o media (0.25-0.5) los métodos de selección más adecuados para aumentar la eficiencia del sistema productivo son las pruebas de progenie; y cuando la heredabilidad es alta (0.5-1,0), el método más adecuado es la selección por el desempeño individual.

La correlación genética entre dos caracteres, desde el punto de vista del mejoramiento genético, es conocer si entre ellos existe una correlación alta y positiva, el énfasis en la selección deberá ser en uno de ellos, y reducir el número de caracteres a seleccionar. Si los caracteres no muestran correlación genética, la selección de uno de ellos no aumentará ni disminuirá en el otro; si los caracteres muestran una correlación negativa, la selección de uno de ellos reducirá al otro.

Los factores que influyen sobre las frecuencias alélicas son cuatro: la deriva genética, la migración, la selección y la mutación. La deriva génica es válida en poblaciones grandes, pues en pequeñas el simple azar puede hacer variar la frecuencia génica. El efecto de la migración sobre la frecuencia de un alelo depende de dos aspectos: la tasa de migración y las diferencias entre los migrantes y la población receptora. En cambio, las mutaciones son alteraciones que ocurren en los genes provocando cambios estructurales o funcionales, o ambas. La selección es un proceso útil para alterar la frecuencia de los genes dentro de una determinada población, pues en individuos con cierto genotipo deseable se promueve la conservación de los mismos como reproductores. Por tanto la población sujeta a una selección artificial no tendrá el equilibrio genotípico, pues ciertas combinaciones de genes son favorecidas.

Genética de poblaciones

La genética de poblaciones basa su estudio en aquellos individuos de la misma especie que viven en un área geográfica y tienen la oportunidad de aparearse

libremente. Su objetivo es la búsqueda de los cambios sistemáticos en las frecuencias génicas que resultan en la evolución de características adaptativas. El matemático Hardy y el médico Weinberg desarrollaron la ley que lleva su nombre. Se basa en ocho supuestos de ausencia de variación que pueden afectar esas frecuencias. Supuestos: 1) El organismo en cuestión es diploide. 2) La reproducción es sexual. 3) El apareamiento es aleatorio, 4) El tamaño de la población es grande (cuando los individuos adultos, en edad reproductiva, se cuentan por centenares), 5) La migración es despreciable, 6) La mutación puede ser ignorada, 7) La selección natural no afecta los alelos bajo consideración. 8) Las generaciones no son superpuestas. El mejoramiento genético tiene como objetivo central el aumento de las frecuencias génicas deseables en la población, en contra la ley de Hardy-Weinberg, pues se desean aumentar los caracteres productivos.

Perfeccionamiento de razas, consanguinidad y exocria

Existen algunos factores que influyen sobre la respuesta productiva de los animales de interés zootécnico como: los reproductivos, los nutricionales, los sanitarios, el manejo y el criterio de la selección genética de los individuos. Sólo algunos ejemplares tienen la capacidad de mejorar los parámetros productivos dentro del grupo de animales. La conformación de razas según el sistema de pirámide muestra tres niveles conocidos como: núcleo, nivel multiplicador y nivel comercial. En el primer nivel o núcleo se mantienen poblaciones utilizando sus propios reproductores, pero es conveniente en algunos casos traer machos o hembras de otros núcleos. El segundo nivel recibe los machos y hembras producidos para satisfacer la demanda del mercado (tercer nivel). El sistema cerrado presenta una sola vía de genes, es decir se presenta de manera unidireccional y descendente, desde el núcleo hacia el nivel comercial. Si en el núcleo no hay mejora, tampoco habrá en el resto de la raza. En el sistema abierto el núcleo está conformado por animales con pedigrí inscritos en la sociedad respectiva de cría. El introducir animales de niveles inferiores al núcleo no está totalmente de acuerdo con la filosofía tradicional de la mejora mediante registro genealógico, pero presenta ventaja como aumento en la respuesta de la selección y disminución en la tasa de consanguinidad.

El efecto genético que se persigue en el mejoramiento genético animal, al hacer uso de la consanguinidad, es aumentar la homocigosis del hato fijando caracteres deseables. Sin embargo, la disminución del vigor híbrido observada en bovinos productores de leche en EU a partir de 1980 fue causada por genes recesivos perjudiciales durante el aumento de la homocigosis (Hasten 2000).

Con respecto a la medición de la semejanza genética, ésta se determina mediante el coeficiente de parentesco. Es definido como la probabilidad de que dos in-

individuos presenten genes idénticos por un ascendiente común. El estudio del parentesco permite estimar la heredabilidad al formar grupos de animales emparentados.

Cruzamientos

Se define como apareamiento de animales de razas diferentes (ej. razas europeas con cebuinas) y al producto se le denomina mestizo. En tanto al apareamiento entre individuos de especies diferentes se denomina híbrido (ej. caballo x asna).

Los cruzamientos sistemáticos explotan los efectos génicos no aditivos (a través de la heterosis), y los efectos génicos aditivos a través de la complementariedad. Existen dos tipos: 1) Cruzamiento permanente, animales de una población A, se cruzan en forma regular con animales de una población B. Los machos proceden de una misma población y la hembra de la otra, para obtener el máximo beneficio de la complementariedad; 2) Retrocruzamiento, consiste en aparear individuos heterocigotos con una de las razas parentales.

Los cruzamientos de tres vías permiten utilizar la heterosis, ya que la madre (AB) es heterocigota. A diferencia con el cruzamiento de cuatro vías, en dónde se explota tanto la heterosis paterna como la materna, se suma una heterosis individual en la descendencia del tipo (AB)(CD).

Los cruzamientos rotativos o cíclicos son alternativos a los cruzamientos sistemáticos, usan de forma secuencial a los machos de dos o tres poblaciones distintas. Estos cruzamientos provocarán en pocos años hembras de reemplazo híbridas que contendrán proporciones variables de genes de dos o tres poblaciones obtenidos de los machos. Una alternativa a los cruzamientos sistemáticos es generar una nueva población mediante una mezcla de diversas poblaciones también llamada población sintética (ej. Santa Gertrudis, Belmont red).

La introgresión o cruzamiento absorbente consiste en realizar retrocruzamientos de una población con otra población, cuyo objetivo es introducir un nuevo gen. En el cruzamiento continuo se aparean dos razas diferentes y los mestizos son cubiertos de manera sucesiva por individuos de solo una de las razas iniciales. En la quinta generación los mestizos poseen una composición genética de $31/32$ de la raza que más se utilizó y $1/32$ de la raza inicial y reciben la denominación de puros por cruzamiento. En cambio, del cruzamiento simple o industrial se obtiene la máxima heterosis y los machos obtenidos son destinados al sacrificio, en tanto las hembras son vendidas para la reproducción en otros sistemas de apareamiento.

Biotecnología en el mejoramiento animal

A continuación, se enlistan algunos ejemplos del uso de la biotecnología en el mejoramiento animal. La producción de hormonas sintéticas por ingeniería genética

ha sido de gran utilidad en la industria pecuaria y en la medicina, como ejemplo se tiene la insulina. Otro ejemplo es la producción masiva de proteínas, tales como el interferón (proteína que interviene la defensa contra las infecciones virales y algunos tipos de tumores malignos), el factor de crecimiento epidérmico, el factor de crecimiento endotelial y el factor de crecimiento plaquetario entre otros.

La industria láctea también se ha visto favorecida con el desarrollo de procesos fermentativos utilizando microorganismos manipulados genéticamente, que producen la enzima lactasa. Esto ha permitido que la leche y otros derivados con bajo contenido en lactosa se comercialicen a precio accesible al consumidor. La producción de quesos requiere de la enzima proteolítica llamada quimosina o renina, la cual fue obtenida de terneros, hoy es producida por una levadura manipulada genéticamente.

Ingeniería genética

Se define como la ciencia que se encarga de estudiar la manera de obtener el ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante y de optimizar sus aplicaciones. En 1953, James Watson y Francis Crick, descubrieron la estructura del ADN. Treinta y siete años después, se descubrió que esta hélice contenía los secretos de la vida, el envejecimiento, la muerte, algunas formas de cáncer, los trastornos del corazón, y las malformaciones genéticas, todo esto en los cromosomas localizados en el interior del núcleo de las células.

En la actualidad se pueden diagnosticar enfermedades de carácter hereditario utilizando marcadores genéticos (regiones específicas del ADN donde se ha encontrado variación asociada positiva o negativamente con un rasgo de interés). Esta tecnología permite la identificación de individuos que podrán padecer enfermedades genéticas a lo largo de su vida, o sanos que portan genes defectuosos. Cuando los errores aparecen, se producen trastornos genéticos.

En Bretaña investigadores al usar las llamadas enzimas de restricción (enzimas que cortan el ADN en sitios específicos) describieron el gen que determina el sexo masculino, en una pequeña región del cromosoma sexual "Y". Cuando se activa en el embrión el gen pone en marcha los mecanismos para la formación de los testículos, marcando el sexo definitivo del futuro ser vivo.

Las enzimas de restricción permiten determinar polimorfismo genético, definido como las diferencias genéticas heredadas entre individuos. La técnica del Restriction Fragment Length Polymorphism o RFLP (en español, polimorfismos de longitud en los fragmentos de restricción) explota estas diferencias en series del ADN para estudiar la variación intraspecies e interspecies. Los RFLP determinan el estatus de enfermedades genéticas la como fibrosis quística, se utilizan en pruebas de paternidad, así como para determinar el portador de una mutación. Estas

tecnologías son usadas en conjunción con la técnica de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa).

Terapia génica

La terapia génica es un conjunto de técnicas que permiten transportar secuencias de ADN o ARN al interior de células blanco, con objeto de modular la expresión de proteínas que se encuentran alteradas, revirtiendo así el trastorno biológico que ello produce. En función del tipo celular a tratar existen dos modalidades de terapia génica: 1) terapia génica de células germinales: dirigida a modificar la dotación genética de las células implicadas en la formación de óvulos y espermatozoides para corregir de forma definitiva las enfermedades congénitas y 2) terapia génica somática: dirigida a modificar la dotación genética de células somáticas o constituyentes del organismo. En el primer caso existen limitaciones de la tecnología de manipulación de las células germinales y considerandos éticos, en especial el peligro de la modificación del acervo genético de la especie, y el riesgo de potenciación genética. En contraste en la terapia génica somática, la modificación genética no puede transmitirse a la descendencia. Por consenso general entre los investigadores y con la legislación actual, basada en motivos éticos y de seguridad, solamente se llevan a cabo protocolos clínicos en este tipo de terapia génica.

En función de la estrategia aplicada, la terapia génica también puede clasificarse en: 1) terapia génica *in vivo*: agrupa las técnicas en las que el material genético se introduce directamente en las células del organismo, sin que se produzca su extracción ni manipulación *in vitro*. 2) terapia génica *ex vivo*: comprende todos aquellos protocolos en los que las células a tratar son extraídas del paciente, aisladas, crecidas en cultivo y sometidas al proceso de transferencia *in vitro*. Una vez que se han seleccionado las células que han sido efectivamente transducidas se expanden en cultivo y se introducen de nuevo en el paciente. Esta técnica se basa en la introducción de un gen sano dentro de una célula para corregir el daño en la función de un gen defectuoso. Es útil en el tratamiento de enfermedades como el cáncer, patologías infecciosas (hepatitis, sida), cardiovasculares (hipercolesterolemia y arteriosclerosis), neurodegenerativas (enfermedad de parkinson y alzheimer) o enfermedades crónicas (artritis reumatoide). Los vectores, ya sea virales o no virales, han sido de gran utilidad en el proceso de transferencia de un gen exógeno a la célula, debido a que facilitan la entrada y biodisponibilidad intracelular del mismo.

Terapia génica con uso de Vectores

Los retrovirus, adenovirus, virus adenoasociados y herpesvirus son los vectores virales más utilizados. Aunque los retrovirus presentan ventajas para la transferencia

de genes (debido a que su material genético es ARN) se debe tener precaución al usar estos virus como vector para la terapia génica.

Los adenovirus contienen ADN lineal de cadena doble. En general, las infecciones de adenovirus están asociadas con enfermedades benignas en humanos. Las ventajas de los vectores de adenovirus es su capacidad de transferir el gen episomal de forma eficiente a diferentes células. La desventaja es que la respuesta del hospedador al virus parece limitar la duración de la expresión del gen.

Los virus adenoasociados (AAV) son virus de ADN lineal de cadena sencilla no autónomos que requieren la coinfección con adenovirus u otros para replicarse. El AAV está extendido en la población humana, pero no está asociado con ninguna enfermedad conocida. La organización del genoma es simple y pueden integrar su ADN en el cromosoma del hospedador en ausencia del virus ayudante. Los vectores de AAV son extremadamente simples y deben mantener la longitud del vector, el ADN no puede exceder de 4680 nucleótidos. La ventaja del vector AAV es su expresión a largo plazo en células que no se dividen.

El herpesvirus presenta un material genético compuesto por ADN bicatenario lineal. Como vectores génicos pueden llevar grandes secuencias de ADN extraño y establecer infecciones latentes de larga duración. El genoma del virus existe como un episoma con efectos no aparentes en la célula hospedadora. La principal desventaja de su uso en terapia génica, es que los gamma-herpesvirus están asociados con daños linfoproliferativo. Aunque hasta ahora solo se han utilizado los virus del Herpes simple (HSV) in vivo, estos no pueden mantener una infección latente en células en división.

Los vectores no virales están constituidos por ADN desnudo y liposomas principalmente. En el primer caso el ADN o ARN circular se inyecta dentro del tejido deseado. Este método es simple, económico, y no tóxico comparado con el uso de virus. El potencial para llevar largas construcciones de ADN es ventajoso. Sin embargo, la expresión de genes es demasiado corta (días). Las posibilidades del ADN desnudo se centran en el dominio de las vacunas. Basta una cantidad muy pequeña de proteína para provocar una respuesta inmunitaria protectora.

Los liposomas están constituidos por membranas lipídicas en su exterior y una solución acuosa en el interior. Pueden formarse espontáneamente cuando se suspenden en una solución acuosa. Tal peculiaridad se debe a que presentan un extremo hidrófilo y otro hidrofóbico, su parecido con las células hace posible que estos liposomas “cargados” con alguna sustancia medicinal se fundan con las células y transfieran su contenido en el interior de las mismas. El principal problema con estas estructuras es el tamaño que es de 0.025 y 0.1 micrómetros, mucho menor que la dimensión mayor de un plásmido de ADN. Este problema se ha resuelto

usando liposomas catiónicos que se unen a la superficie de las células en los cultivos de tejidos, con solo mezclar plásmidos y una masa de lípidos catiónicos unas ocho veces mayor, se consiguió capturar todo el ADN presente. El rendimiento es menor comparado con el de los virus.

Recombinación genética

La recombinación genética es un proceso por el cual se obtiene un nuevo genotipo, donde una hebra de material genético (ADN o ARN) se corta y se une entre secuencia homóloga de ADN de dos orígenes diferentes. Por lo tanto, la recombinación genética es otra forma efectiva de aumentar la variabilidad genética de una población. Existen diferentes tipos de recombinación: 1) general u homóloga: emparejamiento entre pares de secuencias que presenten una homología suficientemente extensa. 2) específica legítima (conservativa): requiere cortas secuencias de homología entre el exogen y el endogen (por eso también se llama “específica de sitio”) y 3) específica ilegítima (fenómenos de transposición): el elemento transponible codifica una enzima (denomina transposasa) que reconoce secuencias específicas inversamente repetidas en los extremos del propio elemento, lo cual se requiere para el proceso de transposición.

Transferencia embrionaria

La inseminación artificial se combina y potencia con una técnica conocida como transferencia embrional, asociada a la superovulación de los donantes, donde puede aumentar considerablemente el número de descendencia por donante y de esta forma multiplicar el componente génico. La transferencia embrionaria consiste en administrar preparados hormonales a las hembras seleccionadas por sus cualidades genéticas, que originan en sus organismos una superovulación, generando varios óvulos fecundables. En bovinos, por medio de la inseminación artificial, estos óvulos son fecundados con espermatozoides de sementales con características deseadas. Siete días después de la fecundación artificial los embriones generados por los óvulos son extraídos de la matriz de la vaca por medio de una sonda, posteriormente son implantados en el útero de otra vaca nodriza, que será la que desarrolle la gestación y para el ternero.

Otra técnica es la llamada división de embriones. Consiste en extraer un embrión de una hembra fecundada y dividirlo en dos, tres o cuatro. Estos embriones así «clonados», pueden ser implantados de nuevo en el útero de otro animal, dando a luz mellizos, trillizos o cuatrillizos. Esta técnica resulta atractiva para los que tratan de obtener animales prácticamente idénticos entre sí. En general, para la transferencia embrionaria, se debe garantizar que todas las hembras adultas no

presenten ningún problema de salud; verbigracia: ciclos hormonales regulares y tener un adecuado balance nutricional.

Los pasos a considerar para lograr una transferencia de embriones adecuada: 1) sincronización por medio de progesterona o progestrónos, 2) superovulación a través de dosis continua o decreciente de hormona estimulante del folículo (FSH), en la hembra receptora 3) selección de las hembras receptoras según su aptitud genética y reproductora (el celo de las receptoras deberá tener una sincronización no mayor a 24 horas con el de la donante), 5) recolección de embriones al día séptimo después de la primera inseminación, 6) transferencia quirúrgica (depende de la posición del cuerno uterino) o no quirúrgica.

Transgénesis animal

Los animales transgénicos son aquellos que han sido modificados genéticamente cambiando alguna secuencia de su ADN. La finalidad de generar estos animales es mejorar los caracteres productivos, conferir resistencia a enfermedades y generar modelos animales de enfermedades humanas. Los primeros ratones transgénicos fueron generados por Ruadle y colaboradores en 1980, cuando lograron la integración y transmisión estable de genes obtenidos por fecundación *in vitro*. El siguiente paso fue la generación de ratones transgénicos que incorporaran en su genoma un gen (transgen) de otra especie. Palmiter y colaboradores en 1982 inyectaron el gen de la hormona del crecimiento de rata en el pronúcleo de un cigoto de ratón, con lo cual obtuvieron ratones transgénicos gigantes. Siguiendo estos pasos se intentó introducir el gen que codifica para la hormona de crecimiento humanos en conejos, ovejas y cerdos transgénicos. Sin embargo, este avance científico no tuvo aplicación zootécnica debido a que la presencia del transgen produjo efectos colaterales perjudiciales para su desarrollo.

Las técnicas para la obtención de un animal transgénico son: 1) microinyección de ADN en núcleos de ovocito, 2) microinyección de ADN en pronúcleo o en citoplasma de un cigoto (ovulo fecundado), 3) electroporación de un cigoto, 4) transección de células totipotentes o células madre (*stem cell*), 5) transfección de gametos y 6) transferencia de núcleos (clonación). La introducción de información genética (el transgen) dentro del genoma de un organismo puede presentar algunos problemas como: integración múltiple, integración en posición indeterminado, falta de expresión, expresión específica/ectópica, expresión variable o diferente viabilidad de la expresión. La forma más adecuada de llevar a cabo estos procesos de inserción de genes es determinando la precisión del lugar de integración. Mediante el uso de recombinación homóloga, en 1999 en el Instituto Roslin de Edimburgo, obtuvieron ovejas transgénicas.

Marcadores moleculares

Los marcadores moleculares son definidos como secuencias de ADN de interés que marcan posiciones en el genoma y lo hacen de manera específica. Estos permiten identificar la presencia en un locus específico de forma sencilla. Se conocen varios marcadores de ADN, ejemplo de algunos de ellos son: VNTR, STR, RAPD, RFLP, SSP, AFLP, microsatélites y minisatélites, entre otros. Las características generales a los marcadores moleculares son: 1) ser polimórficos (presenten variaciones conocidas con el nombre de alelos), 2) estar próximos al menos a un gen que determine la expresión de ese carácter, 3) ser codominantes, que se distinga el genotipo heterocigoto de los homocigotos. 4) fácil de genotipificar y 5) estar distribuido por todo el genoma.

Los marcadores moleculares tienen aplicación en la determinación de sexo, identificación individual, diagnóstico de paternidad, detección específica de especie, raza o población para estimar divergencia genética entre razas, estudios filogenéticos, detección de cruzamiento, programas de conservación y control de calidad y construcción de mapas genéticos o de ligamiento donde se muestra la posición relativa y la distancia entre marcadores y genes conocidos. Los marcadores polimórficos pueden ayudar a identificar la posición de cualquier gen que produzca diferencias apreciables entre individuos. La selección asistida por marcadores tiene interés especial para caracteres que se pueden medir sólo en un sexo, caracteres con baja heredabilidad y caracteres que se expresan tarde en la vida del animal. También puede usarse para mover alelos de interés desde una raza o línea hasta otra. Una vez localizado entre marcadores el gen puede ser aislado y caracterizado mediante clonaje posicional, para estudiar su funcionamiento.

Algunos marcadores moleculares se describen a continuación: 1) RFLPs (Restriction Fragments Length Polymorphisms) son polimorfismos de longitud de los fragmentos de restricción antes descritos, 2) RSVs (Restriction Site Variants) variantes del sitio de restricción: son mutaciones que crean o destruyen un sitio de restricción dentro del gen. Pueden ser mutaciones puntuales, inserciones o deleciones. Generalmente son marcadores poco informativos, porque son poco polimórficos. 3) NRSVs (Non Restriction Site Variants) son variantes del sitio de no restricción: la longitud de los fragmentos es polimórfica, porque en el interior del fragmento existe una secuencia repetida que presenta polimorfismo en el número de repeticiones. es un marcador multialélico. 4) VNTR (Variable Tandem Repeat Number) número variable de las repeticiones en tándem. Se utilizan de manera similar a los RFLPs, sin embargo, son más útiles para detectar regiones hipervariables. Dentro de VNTR se incluyen dos tipos de repeticiones los minisatélites y los microsatélites, 5) RAPD (Random Amplification Polymorphic DNA) es la amplificación por PCR

de regiones genómicas al azar, utilizando cebadores cortos de secuencia aleatoria. Son marcadores multiloci, multialélicos y dominante, 5) AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism) se trata de la amplificación selectiva por PCR de fragmentos de resistencia a partir de ADN genómico dirigidos, 6) RDA (Representational Difference Analysis), es un sistema para purificar fragmentos de restricción presentes en una población de fragmentos de ADN, pero ausentes en otra. Las dos muestras de ADN se denominan prueba y conductora. Esta técnica se basa en la hibridación del ADN y no puede aplicarse directamente a ADN genómico. Para reducir la complejidad del DNA genómico se tiene que trabajar con una muestra representativa del genoma, estas muestras se denominan “amplicones”, 7) SNPs (Single Nucleotide Polymorphism), son cambios en el nucleótido, es decir, en regiones puntuales que pueden detectarse mediante múltiples técnicas.

Aplicaciones de los marcadores moleculares en mejoramiento animal y utilización de la técnica de PCR

Le Roy et al. (1990) propusieron la existencia de un gen en la raza de cerdos Hampshire, que denominaron RN, que afecta al rendimiento tecnológico en la producción de jamón cocido. Así mismo, el gen halotano (Hal) presenta influencia sobre la calidad de la carne porcina; la mutación puntual en este gen que codifica para un receptor de rianodina del retículo sarcoplásmico, que provoca en el animal homocigoto mutante una gran frecuencia de carnes de baja calidad (PSE, pálidas, sueltas o blandas y exudativas). Existe evidencia indirecta de la existencia de otros genes que pueden influir sobre éste y la canal, como el gen del doble músculo o gen de la miostatina en ganado.

En un experimento similar con cruces entre razas chinas (Meishan y Minzhu) y americanas (Duroc, Hampshire y Landrace), Rothschild et al. (1995) encontraron marcadores asociados a espesor de grasa dorsal en las cercanías del complejo de histocompatibilidad porcino (ISLA), en el cromosoma 7.

Anderson et al. (1994) realizaron en Suecia un cruce F2 entre Jabalí y Largewhite. El resultado del análisis mediante unos 100 marcadores moleculares de 200 animales (F2), mostró genes con influencia sobre el espesor de grasa y la longitud del intestino en los cromosomas 4 y 13, mientras que no detectaron efecto significativo en el crecimiento. Estudios posteriores con más de 300 marcadores han confirmado estos resultados sin que aparentemente, se hayan localizado más genes.

La técnica de hibridación, se refiere al apareamiento específico que ocurre entre cadenas de ácidos nucleicos con secuencias complementarias llamadas sondas. Estas técnicas se han diseñado para identificar secuencias en los ácidos nucleicos. Las sondas son fragmentos cortos de ADN o ARN sintetizados in vitro y que se

marcan con sustancias radiactivas, fluorescentes o enzimáticas para su detección y por lo tanto la identificación de la secuencia de ADN o ARN de interés.

La electroforesis en gel separa macromoléculas (ADN, ARN y proteínas), que tengan diferente tamaño y densidad de carga (carga por unidad de masa), mediante la aplicación de un campo eléctrico. El tamaño hace que las proteínas o los ácidos nucleicos atraviesen un gel o matriz de agarosa o poliacrilamida de manera diferente. Para calcular el tamaño de las muestras, se deben incluir fragmentos o proteínas de tamaño conocido que sirvan como referencia. Cuando la electroforesis finaliza, las macromoléculas se pueden transferir a una membrana (que puede ser de nylon o PVDF).

En el proceso de transferencia las macromoléculas quedan adheridas a la membrana y pueden ser detectadas específicamente a través de mecanismos fotosensibles (blotting). Dependiendo del tipo de macromolécula a detectar se realizan diferentes técnicas sobre la membrana 1) *Southern blot*, es una técnica usada para reconocer secuencias específicas de ADN utilizando sondas. Primero se aísla el ADN de un tejido, se purifica y se fragmenta utilizando enzimas de restricción específicas. 2) *Northern blot*, es para detectar a la molécula de ARN. Ésta se extrae de la muestra celular apropiada, se somete a electroforesis, transferencia e hibridación con una sonda específica del gen de interés. 3) *Western blot*, consiste en la transferencia electroforética de las proteínas fraccionadas en un gel y la visualización de proteínas específicas mediante el uso de anticuerpos.

PCR (reacción en cadena de la polimerasa), consiste en conseguir 100 000 millones de copias de una secuencia específica de ADN (conocida también como amplicón), mediante la replicación de éste *in vitro*. Se requiere contar con los siguientes componentes: A) el ADN molde es la muestra a analizar que se obtiene a partir de tejidos frescos, incluidos en parafina, esperma, lavados bronquiales, material de mucosas, cabello, sangre, extendidos citológicos, material desecado de momias, hueso, entre otros, B) los cebadores u oligonucleótidos (secuencias cortas de nucleótidos) que proporcionan un punto de partida para la síntesis de ADN, C) La enzima ADN polimerasa (comercialmente conocida como *Taq* polimerasa) responsable de la replicación y D) los nucleótidos trifosfatados (adenina, guanina, timina y citosina) para que la polimerasa sintetice las cadenas de ADN. Los componentes anteriores se colocan en un tubo y se someten a ciclos repetidos de calentamiento y enfriamiento que permiten la síntesis del ADN. Estos ciclos pueden realizarse de 25 a 35 veces y se llevan a cabo en tres pasos: 1) desnaturalización, cuyo objetivo es la separación de las cadenas de ADN. 2) alineación, que se realiza para que los cebadores puedan unirse a sus secuencias complementarias en el molde de ADN de cadena sencilla y 3) extensión, proceso mediante el cual la polimerasa

extienda los cebadores y sintetice así nuevas cadenas de ADN. El equipo que realiza estos ciclos se conoce como termociclador.

La PCR resulta útil en la identificación de una secuencia de ADN específica. Debido a las características únicas e irrepetibles del genoma de las especies, el PCR resulta particularmente útil para diagnóstico de enfermedades, identificación de *loci* específicos en producción animal, mejoramiento genético, selección de poblaciones, detección de mutaciones etc.

Estudios evolutivos

Mediante la PCR se pueden amplificar genes de organismos ya extintos, como del mamut, o restos antiguos humanos. Estos genes se pueden comparar con los genes de organismos actuales y poder reconstruir arboles filogenéticos. El ADN es colocado en un termociclador junto con 16 fluorocromos para *loci* específicos o marcadores en el ADN que ayudan al sistema identificador a encontrar segmentos particulares del ADN. Durante los ciclos del termociclador, el fluorocromo encuentra ciertas zonas dentro del ADN que se repiten y amplifica estas zonas. Una vez que las secuencias de ADN han sido amplificadas se mapean los *loci* y se colecciona su información. El resultado es un perfil detallado de cada individuo.

Lista de referencias

- Cardelino, R., Rovira, J., (1987). *Mejoramiento Genético Animal*. 2nd ed. Montevideo: Hemisferio Sur; 1987. p. 65-91
- Curtis, H.; Barnes, S. (1997). *Biología*, Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana.
- Forero, A. G. (2013). *Mejoramiento Genético Animal-203026*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. p. 206.
- Hansen, L. B. (2000). Consequences of selection for milk yield from a geneticist's viewpoint. *Journal of Dairy Science*, 83(5), 1145-1150.
- Hernández, A., Pulgarón, P. P., Castellanos, M. (1989). *Manual de Genética Animal*. ED. Pueblo y Educación. Habana, Cuba. p. 225.
- Nicholas, F. W. (1990). *Genética Veterinaria*, Editorial Acribia S. A. Zaragoza, España.
- Ossa, G. A. (2003). *Mejoramiento genético aplicado a los sistemas de producción de carne* (No. Doc. 20568) CO-BAC, Santafé de Bogotá).
- Sifuentes, A.M., Parra, G.M. (2011). ¿Cuál es el valor de las Pruebas de ADN para la ganadería de carne en México? *Simmental-Simbrah: Las verdaderas razas de doble propósito*. 21(febrero): 16-18.

CAPÍTULO 6

Biotechnologías reproductivas: su impacto en la rentabilidad de la empresa ganadera

Eric Bernardo Fraga Escamilla¹⁶

Introducción

Según estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2017), se prevé que la población mundial alcanzará la cifra de 9 000 millones de habitantes para el año 2050. Tales cifras imponen un tremendo reto a los actuales sistemas agropecuarios generadores de alimentos. Ya que se requeriría un incremento productivo del 100% del nivel actual, para poder satisfacer las necesidades alimentarias dentro de los próximos 40 años (Dahlen et al., 2013).

La carne de bovino, al ser una fuente de proteína de calidad, además de contener minerales y vitaminas, contribuiría en forma significativa en cubrir los requerimientos en la dieta de la creciente población mundial. Pero para ello, se requeriría incrementar los actuales índices productivos de las empresas ganaderas, lo que sólo se lograría con el empleo masivo de las biotecnologías reproductivas actuales. Donde destacan la Inseminación Artificial (IA), la Sincronización Estral (SE), conjuntamente con la Inseminación a Tiempo Fijo (IATF), la Transferencia Embrionaria (TE) y la Aspiración Folicular (OPU) más Fertilización *in vitro* (IVF) y la Ultrasonografía (US), entre las más importantes.

En los últimos 30 años, los ganaderos en México han podido atestiguar el rápido desarrollo de las biotecnologías reproductivas (SE+IATF; TE; OPU+IVF, US, etc.) antes mencionadas. Las que, además de mejorar el desempeño productivo, pueden mejorar el mérito genético y el manejo integral de un hato. Cuestión que se ha demostrado con los avances recientes en los protocolos de IATF (Baruselli et al., 2014); aunado al hecho de que la actual estructura de mercado, reconoce y recompensa a los productores por la calidad de su ganado. Lo que, en teoría, debería estimular la adopción de ésta y otras biotecnologías reproductivas, en el resto de

¹⁶ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Km. 5, Carretera Victoria-Mante, Ciudad Victoria, Tamaulipas México. CP87000. Autor para correspondencia: efraga@uat.edu.mx

los hatos aún no tecnificados. No obstante, dicha adopción ha sido demasiado lenta tanto en nuestro país, como en otras latitudes (Kinder et al., 2013; Ferraz et al., 2012).

De acuerdo a información reciente, se estima que la población mundial de bovinos asciende a poco más de 1000 millones de cabezas. De las cuales, alrededor del 60%, está concentradas en tres países: India (306 millones), Brasil (211 millones) y China (105 millones).

En México, el inventario bovino nacional no excede los 34 millones de cabezas (SAGARPA, 2016), contribuyendo sólo con el 3% de la población mundial bovina. A pesar de ello, ostenta el sexto lugar a nivel mundial en la producción de carne de bovino y cuarto lugar en la exportación de ganado bovino en pie (Atlas de la Carne, *Adendum* México-2016; FIRA, 2017)

Dentro de las estadísticas de producción de carne, la eficiencia en la cosecha de becerros es la más importante, cuya unidad de medida: toneladas métricas, se estima en 57 millones de toneladas a nivel mundial. De las cuales, México aporta anualmente 1.8 millones de toneladas métricas, lo que equivale al 3.15% de la producción mundial (Consejo Mexicano de la Carne, 2015), superado por los EE.UU. con 12 millones de toneladas métricas (21% de la PM); Brasil con 10 millones toneladas métricas (18% de PM) y Europa con 8 millones de toneladas métricas (14% de la PM). Aunque la India, Brasil y China pueden tener cosechas anuales de becerros más grandes, la eficiencia con la cual los becerros son convertidos en producto cárnico es más bien baja (Pholer et al., 2011).

El empleo de las biotecnologías previamente mencionadas, adquiere una importancia comercial estratégica en la producción mundial de alimentos cárnicos y lácteos. Tal como ha sucedido con Brasil. País que en los últimos 7 años ha incrementado en más de un 15% su inventario bovino (211 millones de cabezas), pasando a ser el mayor exportador mundial de carne, desplazando a Australia y EE.UU. de los primeros puestos. Gracias, en gran medida, a la adopción, investigación y puesta en marcha de la SE+IATF, la TE, OPU+IVF y US en sus programas ganaderos. Lo que ha incrementado su eficiencia productiva gracias, en parte, al mejoramiento genético de sus hatos. Todo lo anterior, les ha reportado un ingreso global de 23 000 millones de dólares, convirtiéndose así en la séptima economía mundial (Ferraz et al., 2012).

Es importante mencionar que en el caso de Brasil, a pesar de ser el principal exportador de carne en el mundo, el valor del precio de venta y calidad de sus canales es fácilmente superado por los EE.UU. y Australia, sus competidores más cercanos. Lo anterior implica que el impacto que tienen las biotecnologías reproductivas, es el mejorar significativamente el mérito genético de los hatos, no olvidando el efecto que ejerce el medio ambiente en la expresión del mismo.

Para un análisis comparativo adecuado de los parámetros reproductivos regionales, es importante considerar el tamaño promedio del hato, puesto que la significancia de la información sería diferente, independientemente de manejar un parámetro reproductivo similar. Para ejemplificar lo anterior, exponemos el caso de Brasil y EE.UU., cuyos hatos productores de carne promedian un número de 2 000 y 60 vientres, respectivamente, según reportes de la Asociación Brasileña de Reproducción Animal (ASBIA, 2016) y la National Animal Health Monitoring System (NAHMS-USDA, 2016). Cuando consideramos el número de hatos que emplean la IA, el número es menor en Brasil (7%) comparado con los EE.UU. (10%). No obstante, cuando consideramos el número de vacas que son inseminadas, Brasil duplica fácilmente al de las inseminadas en EE.UU. (USDA 07-08, ASBIA 2010). Puesto que en el caso de 3 hatos brasileños promedio, estaríamos hablando de 6 000 vacas, lo que para esa misma cantidad, se requerirían 100 hatos promedio de los EE.UU.

El impacto de la infertilidad en el hato bovino

Los ganaderos productores de carne, requieren que sus vacas se preñen y paran becerros sanos, además de que los desteten con un buen peso, para su posterior venta, con el objeto de mantener sus empresas económicamente viables. Por lo que no lograr el que se preñen los vientres del hato, impactará directamente sobre la viabilidad economía del productor, al no haber un retorno oportuno de la inversión en ese período productivo (estación de partos y cosecha anual de becerros).

Los productores de ganado lechero requieren, más que nada, que sus vacas paran para llevar a cabo la lactancia, además de la generación de crías con un alto valor genético, producto de la selección intensa del semental, para generar sus animales de reemplazo.

Los productores ganaderos pueden calcular el impacto de la fertilidad en las vacas de su empresa, simplemente calculando la utilidad generada por cada vaca empadrada. Considerando el precio del kilogramo de becerro destetado, vigente al momento en que se escribe el presente documento (diciembre de 2017), se puede apreciar el impacto de la infertilidad en las vacas con el siguiente ejemplo:

1. Valor del becerro destetado por vaca expuesta si el 100% quedase preñada:
 $\text{Becerro de } 200 \text{ kg} \times 100\% \times \$48.00/\text{kg} = \$9\,600.00$ Ingreso por cada vaca parida
2. Valor del becerro destetado por vaca expuesta si el 80% quedase preñada:
 $\text{Becerro de } 200 \text{ kg} \times 80\% \times \$48.00/\text{kg} = \$7\,680.00$ Ingreso por cada vaca parida
3. Pérdida debida a la falla en quedar preñada en la época de empadre:
 $\$9\,600.00 - \$7\,680.00 = \$1\,920.00$ pérdida por cada vaca que no se preñó

Así, con este ejemplo, es evidente la pérdida económica que representa para el productor, la disminución por punto porcentual en la fertilidad que, para el caso anterior, significaría \$96.00 por cada 1% de disminución en el porcentaje de preñez por vaca empadrada.

Beneficio de aplicar las biotecnologías reproductivas

En la actualidad, las biotecnologías reproductivas han comenzado a reemplazar a las técnicas convencionales, ya que debido a la presión económica que experimentan las explotaciones ganaderas para su sustentabilidad, es indispensable el empleo de aquellas para enfrentar el desafío de incrementar la eficiencia productiva, mejorando los parámetros reproductivos, tanto de las hembras como de los machos. Lo que, a final de cuentas, vendrán siendo indicadores económicos de factibilidad.

Las evaluaciones del impacto económico del manejo reproductivo, difieren de otras evaluaciones donde relacionan el beneficio económico producido por un programa determinado (Ribeiro et al., 2012) y asocian este beneficio con la relación costo/beneficio y/o otros cálculos económicos asociados, tales como el valor actual del beneficio neto de los costos o la tasa interna de retorno a la inversión (Evenson, 2000).

Los factores determinantes para el cálculo de la ganancia económica en la ganadería de carne son: Costos de Producción; Precio de Venta del becerro; Porcentaje de Destete por vacas expuestas a servicio y el Total de Kilos de becerro destetado. En los que, para su cálculo, se consideran el costo del alimento, la maquinaria, mano de obra, sanidad, tratamientos hormonales, etc.; empleados durante el proceso productivo (Cutaia, 2004).

El incremento de la eficiencia reproductiva reduce el costo de producción. Lo que se observa en el siguiente ejemplo:

Si un hato de 300 vacas cosecha 255 crías (85%) / año y se lograra incrementar un 5% más el volumen de su cosecha de becerros (90%), se obtendrían 15 becerros adicionales. Lo que significaría una cosecha de 270 becerros. De mantenerse ese incremento (90%) se podría prescindir de 15 vacas improductivas, lo que reduciría el costo de mantenimiento del hato ya que los gastos se mantienen constantes si hay una cosecha de becerros del 85 al 90% y el beneficio neto es afectado favorablemente. Tal y como se ilustra con el mismo ejemplo anterior:

Si el costo de vaca/año es \$2 000.00, entonces para ese hato, el costo anual sería \$600 000 (300 vacas x \$2 000). Si lo dividimos entre 255 crías, daría un costo por producción de becerro nacido de \$2 353.00 (\$600 000/255). Al incrementarse la producción en un 5% (270 crías), el costo de vaca/año se reduciría a \$2 222.00 (\$600 000/270), además de contar con el ingreso por la venta de 15 vacas improductivas

y el subsecuente ahorro de su costo anual de manutención, sin afectar el nivel de producción de crías: 300 vacas-15 vacas improproductivas = 285 vacas, de las cuales se obtienen 270 crías. Con lo que se tendría un porcentaje de cosecha de becerros del 95% (270/285). Es importante mencionar, además, que con el importe obtenido de la venta de los 15 desechos, sólo podrían adquirirse entre 6 a 7 vaquillas de reemplazo, de acuerdo al precio comercial vigente en ese momento.

Sucesión de las biotecnologías

Inseminación Artificial (I.A.)

Esta técnica, que desde sus inicios prácticos en Dinamarca, en la década de 1930, ha sido por más de 75 años la herramienta empleada por la industria lechera para lograr el progreso del avance genético del ganado bovino, mediante la selección de sementales superiores, que generaron miles de crías mejoradas. Lo que se realizó también con el ganado productor de carne. Extendiéndose a otras especies domésticas e inclusive, décadas después, a su empleo en la preservación de especies salvajes en cautiverio. Ya que gracias a los adelantos científicos que el desarrollo de esta técnica trajo consigo, como el empleo de diluyentes del semen y soluciones crioprotectoras, permitió la preservación del semen por tiempo indefinido en tanques con nitrógeno líquido. Lográndose con ello inseminar a las hembras cuando se considere conveniente.

Transferencia de Embriones (TE)

Sin lugar a duda, a partir de los años 70 y fundamentada en la inseminación artificial, esta biotecnología generó una revolución en el avance genético animal, a través del aumento de la intensidad de selección mediante el aporte genético de hembras productoras sobresalientes (donadoras), aumentando con ello la eficiencia de los núcleos de producción, gracias a la transferencia de los embriones (TE) así producidos, en vacas de menor nivel productivo (receptoras). Además, con la TE se favoreció la introducción y comercialización internacional de razas más productivas, en forma práctica y con una mayor seguridad sanitaria. Esta técnica, que si bien no ha tenido avances significativos en su eficiencia y empleo masivo a lo largo de 40 años, ha dado pie al desarrollo de nuevas tecnologías reproductivas que a nivel *in vitro* permiten la micromanipulación embrionaria a un menor costo. Haciéndolas accesibles a un mayor número de productores.

Producción in vitro de embriones (PIVE)

En esencia, la producción in vitro de embriones, requiere de la consecución de tres pasos:1) la maduración *in-vitro* de los de los ovocitos aspirados de los folículos

ováricos (MIV), 2) la fertilización in-vitro (FIV) de dichos ovocitos y 3) el cultivo *in-vitro* de los embriones para su posterior transferencia o preservación.

El reciente desarrollo de estas biotecnologías, ha posibilitado la disminución en los costos de producción de embriones para su transferencia, el diagnóstico embrionario, la clonación de células embrionarias y somáticas, la producción de animales transgénicos, así como el entendimiento de los mecanismos de la fertilización y la embriogénesis (Hoshi, 2013).

Aspiración folicular (OPU) y Fertilización in vitro (IVF)

La recuperación de ovocitos por vía transvaginal (AF), es una técnica empleada conjuntamente con la Fertilización in vitro (FIV), que permite recuperar los ovocitos de los ovarios de hembras donadoras, para ser fertilizados a nivel laboratorio (*in vitro*), lo que permite producir un gran número de embriones viables, para su transferencia en hembras receptoras. A partir de los trabajos realizados por un grupo científico holandés a finales de los años 80, al desarrollar la técnica de aspiración folicular transvaginal guiada por ultrasonido (Pieterse et al., 1988, citado por Boni, 2012), se expandió su empleo para la producción de embriones, en sustitución de la TE convencional (Boni, 2012), lo que además contribuyó al estudio y la manipulación de la actividad reproductiva del ganado. No obstante lo anterior, los porcentajes de preñez logrados, empleando embriones *in vitro*, aún son bajos, en comparación a los obtenidos *in vivo* por la TE convencional.

Es innegable, además, el beneficio económico potencial que ofrecen las biotecnologías reproductivas, al incrementar los niveles de producción de las explotaciones, tanto en ganado lechero como en el productor de carne. Ya que el desarrollo e implementación de aquellas, es responsable de los cambios significativos en la producción mundial de leche y carne (Ribeiro et al., 2012; Ferraz et al., 2012). Es manifiesto, además, el impacto que ha generado la implementación de los protocolos de sincronización estral (SE), conjuntamente con la inseminación a tiempo fijo (IATF), sobre el volumen de venta de dosis de semen bovino congelado que, para el caso de Brasil, se incrementó de 3.3 a 13.0 millones de unidades entre 1993 y 2010, mientras que en los EE.UU. el incremento fue de 2.9 a 4.4 millones de unidades, en el mismo período (Ferraz et al., 2012; Pohler et al., 2011; Lamb et al., 2016). México, después de Brasil y el Reino Unido, es el tercer país que importa el mayor volumen de dosis de semen procedente de los EE.UU., cuyo monto económico rebasa los 10 millones de dólares (USDA, 2017).

Se ha incrementado también el volumen de producción de embriones, tanto *in vivo* como *in vitro*, que en el caso de Brasil se muestra espectacular. Ya que pasaron de producir 50 000 embriones en el año 1995 a la cantidad de 250 000 en los siguientes

10 años. De los cuales el 50% correspondía a producidos *in vitro*. Sin embargo, en el año 2009 el número de embriones producidos se elevó alrededor de los 300 000, de los cuales el 75% correspondía a producidos *in vitro*. En la actualidad, Brasil supera el 9% de embriones producidos in vivo y el 66% *in vitro* de todos los producidos a nivel mundial. Lo que en conjunto, equivale al 30% del volumen internacional.

Evaluación de la eficiencia reproductiva del hato

Tradicionalmente, los parámetros que evaluaban la eficiencia reproductiva de las hembras, tales como: Días a primer estro posparto; Días a primer servicio; Servicios por concepción; Días abiertos e Intervalo de partos, aunque son útiles para conocer el grado de eficiencia obtenida en el hato, no responden a la necesidad actual de identificar oportunamente a las hembras reproductivamente improductivas, para encaminarlas lo antes posible a una nueva preñez.

Por lo anterior, se requieren nuevas medidas de análisis para la determinación de la eficiencia reproductiva, debido a la urgencia de contar con información más confiable y expedita, para el diagnóstico y toma de decisiones en el manejo integral del hato. Por lo que los parámetros reproductivos tradicionales han perdido vigencia, ya que no se considera en su cálculo, a las vacas descartadas por razones reproductivas. Lo que pone en duda el resultado obtenido del desempeño reproductivo, además de que su análisis toma mucho tiempo para responder a un problema o para ver si alguna intervención reciente ha sido de utilidad y aunque se enfocan en el pasado, no predicen necesariamente el desempeño futuro de la hembra. Dicha circunstancia, propició el que se desarrollaran programas de manejo reproductivo más agresivos. Orientados principalmente a lograr un retorno más temprano a la ciclicidad y con ello un primer servicio alrededor de los 60 días después del parto. Para lograrlo, se requeriría que la involución uterina y el retorno a la actividad ovárica sucediese a los 40 y 60 días posparto, respectivamente. Por lo que la pérdida de un ciclo estral es crítica en cualquier sistema reproductivo, pero especialmente en programas de inseminación artificial (IA) donde la detección de los celos depende en buena parte del personal. Aunque es habitual pensar que el ciclo estral bovino dura 21 días aproximadamente. En realidad tiene una dispersión de 19 a 24 días y la oportunidad de servir a las hembras en celo es de muy pocas horas. Por lo tanto, la detección de celos es una actividad clave del trabajo de IA, que es incluíble, rutinaria y no exenta de errores.

Diagnóstico de gestación (DG)

Ésta es la herramienta de manejo reproductivo disponible para los ganaderos, que por sí sola es más efectiva para incrementar la eficiencia de sus hatos. No obstante,

es de sorprender que menos del 20% de los ganaderos, recurran a esta biotecnología para la evaluación de sus hatos.

El DG es la técnica de mayor relevancia en la evaluación de la eficiencia reproductiva de los hatos, ya que identifica a las hembras no preñadas, proveyendo subsecuentemente la oportunidad de incorporar éstas a un nuevo manejo reproductivo para lograr su preñez. Evitando así que se incrementen los costos financieros de su improductividad.

La palpación rectal es la más común y económica de las técnicas disponibles, aunque el diagnóstico por ultrasonografía transrectal (US recto-uterina), cada vez se hace más popular. Debido en parte, a que el equipo es cada vez menos costoso y a que aporta mayores beneficios al permitir un diagnóstico más temprano de la preñez (28-30 días) y al precisar la edad fetal, a través de la medición longitudinal del mismo (corona-grupa o la amplitud biparietal). Además de poder determinar la viabilidad y/o sexo del feto, así como su posible número (gestaciones gemelares).

Otra técnica disponible para el diagnóstico de gestación, es la determinación en suero de Glicoproteínas Asociadas a la Preñez (PAG's) a partir del día 28 postservicio. Prueba de alta especificidad (98%) en la determinación de las hembras no preñadas, pues es sencilla y no se requiere entrenamiento previo, tiene un costo unitario comercial similar al de la ultrasonografía, pero sin los atributos adicionales descritos líneas arriba para la US.

De acuerdo a información disponible por el NAHMS-USDA, el diagnóstico de preñez por US fue empleado por el 2.2% de las operaciones ganaderas norteamericanas, lo que representa alrededor de 700 000 vacas. En comparación con el caso de Brasil, donde se realiza la misma operación en el 18% de las ganaderías, lo que equivale a 6 millones de vacas.

El anestro, posparto prolongado, es la causa mayor de la baja eficiencia reproductiva en los hatos de carne, atribuible principalmente al balance energético negativo al que están sujetas las vacas pobremente manejadas (Walker and Perry, 2007; Baruselli et al., 2014). Lo que retarda el reinicio de la ciclicidad (Williams and Ray, 1980), cosa que sucede hasta la recuperación de su condición corporal. La condición corporal (CC) al parto es el factor que ejerce mayor influencia para el retorno temprano al estro y la gestación.

No se mejoran los porcentajes acumulativos de vacas en estro y preñadas, si éstas paren en una CC igual o superior a 5 (escala 1-9), a pesar del suministro de altos niveles de nutrición en el periodo posparto. En cambio, en el caso de las vacas que paren con CC igual o menor a 4, sólo se incrementan sus porcentajes acumulativos de estro y preñez, cuando son sometidas a una suplementación energética de moderada a alta, dentro de los primeros 20, 40 y 60 días de la época

de empadre (Richards et al., 1986). Por lo que es fundamental el cuidar que las vacas tengan una buena condición corporal previa al parto.

McGowan et al., (2014) demostraron que las vacas que estuvieron en buena o mejor condición corporal en el momento del diagnóstico de preñez (que normalmente se realiza tres a cuatro meses previos al pico del período de pariciones subsecuente), fue significativamente más probable que quedaran preñadas dentro de los 4 primeros meses de la época de pariciones, que aquellas en condición pobre.

La pobre nutrición y la incapacidad de restringir el amamantamiento en los hatos grandes, conduce a la inhibición de la frecuencia del pulso de GnRH/LH, lo que resulta en el retraso del desarrollo folicular y la reducción del diámetro máximo del folículo dominante (Williams et al., 1996; Bo et al., 2003), lo cual tiende a afectar los programas de SE y IA. Debido a la corta duración del estro, los bajos porcentajes de detección del mismo y el prolongado intervalo de anestro posparto, la IATF ha venido a incrementar la eficiencia de la IA (Baruselli et al., 2014), ya que no sólo elimina la necesidad de detectar el estro, sino que permite programar el momento de inseminación de un grupo grande de animales.

Aunque es evidente que los porcentajes de preñez no han cambiado mucho en los últimos cinco años (SAGARPA, 2012-2017), estas técnicas han contribuido a incorporar características productivas del ganado *Bos taurus* en hatos con fuerte influencia *Bos indicus*. Lo que ha generado la aceptación de dichas técnicas en el sector ganadero.

La mayor parte de los hatos bovinos en México manifiestan un encaste variable entre las razas de origen *Bos taurus*, las que originalmente llegaron con los españoles y en períodos relativamente recientes, las razas de origen cebuino o *Bos indicus*. Además de todas las razas sintéticas provenientes principalmente de los EE.UU, producto de cruzamientos controlados genéticamente entre estas dos especies. Si bien les permitieron adaptarse a los diferentes ambientes imperantes en nuestro territorio, difícilmente cumplen con los parámetros de eficiencia reproductiva impuestos para los bovinos (tanto productores de leche como de carne), calculados y establecidos con base a las capacidades fisiológicas y productivas de la especie *Bos taurus* en latitudes templadas.

Las razas cebuinas, a pesar de soportar las condiciones de humedad y temperatura elevadas y su aparente resistencia a ectoparásitos, que privan en las latitudes tropicales, tienen características en su reproducción que contribuyen a reducir su eficiencia reproductiva, comparada con la de su contraparte *Bos taurus* (Vasconcelos et al., 2014). Así que, han sido desarrolladas algunas alternativas para evitar estas deficiencias reproductivas, como el desarrollo de protocolos hormonales

para la inducción de la pubertad en vaquillas o para inducir la actividad estral posparto en vacas, en la subsecuente época de empadre. Así como los protocolos de sincronización del estro y/o la ovulación, que optimizarían la IA. Además de generar un cambio en los factores genéticos, que contribuyen a una mayor adaptabilidad al medio ambiente, una mayor resistencia a las enfermedades y la modificación de su temperamento.

En la actualidad, la Inseminación Artificial (IA), la Transferencia de Embriones (TE), junto con la Aspiración Folicular (OPU) y Fertilización *in vitro* (IVF), son las tecnologías más efectivas para acelerar y hacer más eficiente el mejoramiento genético de los hatos (Cuadro 1.). Pero en lo que respecta a la Selección Asistida por Marcadores Moleculares (SAMM) a pesar de los crecientes esfuerzos internacionales para identificar y seleccionar al ganado de carne y leche, reproductivamente más eficiente, aún es una estrategia a mediano plazo (Cook et al., 2009; Van Eenennaam, 2016). Por ello, no se reemplazará la necesidad de un alto nivel de eficiencia técnica y de prácticas adecuadas de manejo, aplicables en los diferentes tipos de explotaciones ganaderas, para lograr mejorar los parámetros reproductivos vigentes.

Las biotecnologías de la reproducción

Su futuro impacto potencial sobre la reproducción y producción animal

Los recientes desarrollos mencionados, sobre las biotecnologías reproductivas en los animales domésticos, ofrecen nuevas oportunidades para las empresas ganaderas. Teniendo mayor impacto en las áreas de la reproducción, la genómica y las tecnologías a nivel celular. Lo que permitiría mejorar las estrategias de la crianza o producción animal, además de su aplicación en la salud del hato. (Aoto et al.)

En particular, el empleo de avanzadas tecnologías reproductivas, permitirá seleccionar animales desde su estadio embrionario, conjuntamente con la combinación de tecnología genómica, al predecir su mérito genético. Lo cual conduciría a un notable avance en la ganancia genética (Raadsma y Tammen, 2005).

En un futuro próximo, la modificación genética ofrecerá opciones de mejoramiento animal dirigido, tanto en su control sanitario, como en el productivo. Y el impacto que tendrá a largo plazo, dependerá de la aceptación de los consumidores, su percepción por la sociedad, tanto en los aspectos ambientalistas como de bienestar animal. Pero, indudablemente, las posibilidades que ofrece disponer de reproductores elite, tanto machos como hembras, en forma masiva, para incorporarlos en los sistemas extensivos de producción, son cada vez más cercanas.

Implicaciones del empleo de las biotecnologías reproductivas

Inseminación artificial y congelación de semen:

- Eliminación y disminución de enfermedades sexuales
- Uso intensivo de un macho de alto valor genético
- Aumento de la eficiencia de la estimación del valor genético (test de progenie)

Sincronización e inducción de la ovulación:

- Aumento de la eficiencia de la producción de terneros
- Aumento de la eficiencia del manejo productivo y reproductivo

Superovulación, transferencia y congelación de embriones:

- Uso intensivo de la hembra de alto valor genético
- Recuperación más eficaz de individuos exóticos y razas en peligro de extinción
- Formación de bancos de germoplasma
- Importación y exportación de material genético
- Micromanipulación de embriones para producir mellizos homocigotos y quimeras
- Aumento del número de animales genéticamente mejorados
- Aumento de la eficiencia del valor genético
- Creación de modelos óptimos de experimentación
- Determinación y selección del sexo de embriones y espermatozoides
- Producción de la descendencia con el sexo seleccionado

Producción in vitro de embriones:

- Uso de hembras que no responden a tratamientos superovulatorios
- Producción de embriones con ovarios de matadero

Uso experimental:

- Clonado de animales por medio de transferencia nuclear
- Eliminación de la variabilidad de genotipos individuales
- Producción de animales transgénicos

Lista de referencias

- Aono, F.H., Cooke, R.F., Alfieri, A. A., Vasconcelos, J.L.M., (2013). Effects of vaccination against reproductive diseases on reproductive performance of beef cows submitted to fixed-timed AI. *Theriogenology* 79:242-248
- Baruselli, P.S., Reis, E.L., Marques, M.O., Nasser, L.F., Bó G. A., (2004). The use of hormonal treatments to improve reproductive performance of anestrous beef cattle in tropical climates. *Anim. Reprod. Sci.* 82-83:479-486
- Baruselli, P.S., Marques, M.O., Sá Filho M.F.; Vieira, L.V., Bo, G.A., (2014). Impact of reproductive technologies on cow-calf operation systems. *Proceedings 28th World Buiatrics Congress (WBC)*, Cairns, Australia, pp 1-12
- Boni R., (2012). Ovum pick-up in cattle: a 25 yr retrospective analysis. *Animal Reproduction*, vol.9, n3, p.362-369.
- Cooke, R.F., Arthington, J. D., Araujo, D. B. and Lamb, G. C., (2009). Effects of acclimation to human interaction on performance, temperament, physiological responses, and pregnancy. *J. Anim. Science* 2009, 87:4125-4132
- Cutaia L., (2005). *Programas de inseminación artificial a tiempo fijo: Análisis de costos e implementación*. Asesor Técnico Syntex S.A., Instituto de Reproducción Animal Córdoba (IRAC), Universidad Católica de Córdoba, Argentina.
- Dahlen, C., Larson, J., Lamb, G.C., (2013). Impacts of Reproductive Technologies on Beef Production in the United States. In: *Current and Future Reproductive Technologies and World Food Production* <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-8887-3>
- Evenson, E. R., (2000). *Economic impacts of agricultural research and extension*. Economic Growth Center, Yale University, USA.
- Ferraz J.B.S., Eler J.P., Rezende, F.M., (2012). Impact of using artificial insemination on the multiplication of high genetic merit beef cattle in Brazil. *Animal Reproduction*, 9, n.3, p. 133-138.
- FIRA, Banco de México, 2017. Panorama Agroalimentario: Carne de Bovino. Resumen Ejecutivo. Heinrich Böll Stiftung: Atlas de la Carne, *Adendum México*. 2016
- Hoshi, H., (2003). In vitro production of bovine embryos and the application for embryo transfer. *Theriogenology*, 59: 675-685.
- Kinder, J.E., Osborne, J.M., Davis, M.E., Day, M.L., (2006). *Impact of reproductive technologies on improved genetics in beef cattle*. Australian Beef-the Leader Conference.
- Lamb, G.C., Mercante, R.G., Henry, D.D., Fontes, P.LP., Dahlen, C.R., Larson, J.E., DiLorenzo, N., (2016). Advantages of current and future reproductive technologies for world-wide beef cattle production. *The Professional Animal Scientist*. 32, 2: 162-171

- Mc Gowan, M., McCosker, K., Fordyce, G., Smith, D., Perkins, N., O'Rourke, P., Barnes, T., Marquart, L., Menzies, D., Newsome, T., Joyner, D., Phillips, N., Burns, B., Morton, J., Jephcott, S, 2014. *Factors affecting the efficiency with which beef cows become pregnant after calving in northern Australia*. 28th World Buiatrics Congress, Cairns, Australia.
- Pholer, K.G., Mallory, D.A., Patterson, D.J., Smith, M.F., Lauderdale. J.W., Martins, T., Peres, R.F.G., Vilela, E.R., Vasconcelos, J.L.M., (2011). *Proceedings, Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle*. Joplin, MO., USA.
- Raadsma, H.W. and Tammen A.I., (2005). Biotechnologies and their potential impact on animal breeding and production : a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45(8) 1021-1032
- Ribeiro, E., Galvao, S.,K.N., Thatcher, W.W., and Santos, J.P.E., (2012). Economic aspects of applying reproductive technologies to dairy herds. *Animal Reproduction*, v.9, n.3: p.370-387.
- Richards, M.W., J. C. Spitzer and M. B. Warner.,1983. Effect of Varying Levels of Postpartum Nutrition and Body Condition at Calving on Subsequent Reproductive Performance in Beef Cattle. *Journal Animal Science*, Vol. 62, No. 2, p. 300-306.
- Vasconcelos, J.M.L., Gomes de SáFilho O., Cooke, F.R., 2014. Impacts of Reproductive Technologies on Beef Production in South America, In: *Current and Future Reproductive Technologies and World Food Production*.
- Van Eenennaam, A., (2016). *Marker-assisted selection in beef cattle*. *Cooperative Extension Specialist*, University of California Department of Animal Science, Davis, CA.USA.
- Walker, J. and Perry G., (2007). Cow Condition and Reproductive Performance. University of Nebraska-Lincoln. Digital Commons@University of Nebraska-Lincoln. USA.
- Williams, G.L., and Ray, D.E., (1980). Hormonal and reproductive profiles of early post partum beef heifers after prolactin suppression or steroid induced luteal function. *J. Anim. Sci.* 50, 906-918

CAPÍTULO 7

Prioridades para el manejo integral y sustentable de empresas ganaderas de bovinos de carne en pastoreo

Eduardo Arcadio González Valenzuela^{17*}

Rigoberto López Zavala¹⁸

Jaime Salinas Chavira¹⁹

Jorge Zertuche Rodríguez²⁰

Introducción

La producción de bovinos de carne es la actividad más importante dentro del subsector pecuario en México; se producen alrededor de 1.8 millones de toneladas de carne de res. La producción de bovinos de carne se realiza sin excepción en todas las regiones ecológicas, se estima que la ganadería se desarrolla en 110 millones de hectáreas, que corresponden aproximadamente a un 55% de todo el territorio nacional (CNSPBC, 2014).

La mayoría de las explotaciones se sustentan en el pastoreo tanto de agostaderos nativos como en praderas cultivadas bajo condiciones de temporal, en sistemas extensivos y semi extensivos. El sistema comercial dominante de producción es conocido como vaca/cría, cuyo objetivo es la producción de becerros al destete.

Estos animales pueden comercializarse en nuestro país para engordarse y abastecer la demanda nacional. Por otra parte, la ganadería bovina productora de carne en México se liga al comercio internacional, el principal rubro es mediante la exportación de becerros para engorda a Estados Unidos de América (EE.UU.), y cortes de carne a Japón y Corea principalmente (Callejas et al., 2014). Aunque el

¹⁷ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT). Carretera Victoria-Mante Km 5. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. CP 87000. *Autor para correspondencia: eagonzalez@uat.edu.mx

¹⁸ *Ibidem*

¹⁹ *Ibidem*

²⁰ Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Delegación Tamaulipas. Calzada Gral. Luis Caballero Núm. 925. Col. Tamatán. C.P. 87068 Cd. Victoria, Tamaulipas.

mercado pareciera alentador, los reportes sobre la ganadería de bovinos de carne en México muestran que la productividad está por debajo de su potencial, con porcentajes de destete del 50%, e incluso inferiores.

Pese a su importancia, el inventario de ganado bovino para carne en el México se redujo un 3.5% en 2012 a causa de la sequía (Financiera Rural, 2014). Este fenómeno es repetitivo ya que la producción forrajera de los pastizales está directamente relacionada con las fluctuaciones climáticas, tan solo en Tamaulipas más del 40% de los años tienen lluvias por debajo del promedio anual, misma situación que impera en todas las zonas áridas y semi áridas del norte y centro del país. Lo anterior plantea la necesidad de desarrollar programas integrales de manejo para mejorar la producción y la productividad pecuaria.

Las empresas agropecuarias exitosas deben considerar todas las partes involucradas en el proceso productivo. Un rancho ganadero no sólo está formado por ganado y tierras de pastoreo. Existen ecosistemas complejos que deben ser considerados en programas de manejo para un mejor desarrollo de hábitat. Ecosistemas saludables y sustentables son la base de una ganadería productiva.

Desafortunadamente, algunos productores consideran como importantes sólo algunas de las partes del manejo integral de su empresa. Es común encontrar personas que piensan que con adecuados programas de manejo reproductivo y sanitario tendrán ranchos productivos. Otros consideran que la alimentación adecuada es la base del éxito. Otros más, que el éxito radica en reducir al mínimo los gastos. Sin embargo, los programas exitosos deben considerar un manejo integral tanto de los recursos naturales, infraestructura, animales, financieros, administración y de personal. Los cuales actúan como una maquinaria compleja, en la que cada una de las partes debe funcionar adecuadamente para el buen desarrollo de la ganadería (González y Hanselka, 2002).

El presente documento enlista recomendaciones prácticas que al implementarse en ranchos, permiten aumentar los ingresos, incrementando la producción y productividad, en empresas ganaderas sustentables. Debe señalarse que éstas recomendaciones no son las únicas para un programa integral de manejo de ranchos, pero sí se identifican como prioritarias. Por otra parte, se trata de enlistarlas por orden de importancia; aunque dependiendo del nivel de desarrollo y uso de tecnologías en cada una de las empresas, su nivel de importancia o prioridad puede ser variable.

1. Contar con un inventario confiable

Todo empresario que se precie de serlo, conoce la situación de su empresa, sus planes financieros, inventario de recursos, hoja de balance, sus requerimientos

tecnológicos, requerimientos de personal, requerimientos de recursos (mercadeo, financieros, promoción y distribución) y su plan de control de riesgos. Todo esto, para conocer la trayectoria del negocio. Por lo tanto, el conocimiento preciso de los recursos en los ranchos es importante y necesario; factores como infraestructura, recursos financieros y humanos, son aspectos prioritarios para poder trazar cualquier plan de trabajo de acuerdo a los recursos existentes. Debe también contarse con el inventario de la extensión del terreno, ubicación, topografía, suelos y clima. La disponibilidad de agua en presas, pozos y/o ríos, así como su distribución en el terreno, son cruciales en el diseño de divisiones de potreros y manejo del pastoreo (Hinojosa, 2000).

2. Definir de manera clara la visión, objetivo y metas del predio

Una vez definidos los recursos con que se cuenta, es importante conocer la concordancia que existe entre los objetivos y la disponibilidad del financiamiento.

El punto de partida de una empresa exitosa es comenzar con una idea clara de donde se está ahora y a dónde se quiere llegar. Esto es en esencia la visión. El establecimiento claro de la visión debe guiar al rancho a través de los retos y oportunidades que se presenten y que sirva como marco de referencia en el cual se basen las decisiones (Dunn et al., 2006). Un ejemplo de *visión* puede ser: “Mantener una empresa ganadera rentable en el presente y para generaciones futuras de la familia, conservando los recursos naturales y siendo ejemplo de una buena administración para la sociedad”.

Aunque resulte extraño, existen muchos ranchos en los que dueños y administradores no tienen definidos los objetivos y metas de sus operaciones. Es poco común la claridad al respecto en los ranchos. Sin importar el tamaño del predio, deben manejarse como empresas, por lo que los objetivos y metas deben ser prioritarios en el análisis y evaluación ganadera. Debe considerarse que la definición del objetivo y metas deben basarse no sólo en el gusto o preferencias del dueño, sino considerar también el potencial de recursos tanto naturales como financieros y de mercado.

Objetivos generales: Deben estar relacionados con el tipo de operación u operaciones principales, como pueden ser: producción de bovinos, ovinos, cabras, cacería, combinaciones de algunas de estas operaciones. Deben también plantearse objetivos específicos, para lo cual debe contarse con una evaluación de los recursos e inventario. Por ejemplo, después de evaluar la capacidad de manejo, limitaciones de capital, predicciones económicas y de mercado, entre otras; el dueño y manejadores de la empresa pueden decidir tener una operación comercial de bovinos de carne, en lugar de producir sementales y vaquillas de reemplazo.

En resumen, las metas y objetivos deben ser a corto y largo plazo, alcanzables, medibles, personales, familiares y del negocio (Hinojosa, 2000). Los ganaderos en general cuentan en su administración con metas a corto plazo, esto trae como consecuencia que problemáticas con alta probabilidad de ocurrencia en el largo plazo, como las sequías, no sean consideradas con su real importancia (Hernández y Mireles, 1998).

3. Administración y análisis financieros

La única manera de tener un rancho productivo es que sea considerado como una empresa. Sin importar que sea una pequeña, mediana o grande empresa; debe contar con un sistema contable que permita tener un análisis real de la economía y rentabilidad del rancho.

Los ganaderos en el siglo XXI enfrentan un ambiente más competitivo y más difícil que nunca antes. El manejo de los riesgos climáticos, biológicos, financieros y políticos, probablemente será mucho más importante para el éxito, que su capacidad de incrementar su producción de ganado y otros productos. La inadecuada administración tanto de los recursos materiales como humanos, con frecuencia es la causa del fracaso en la rentabilidad de las explotaciones. Personal capacitado y comprometido, trabajando bajo condiciones de armonía de justicia salarial y de trato personal, son necesarios para lograr los objetivos y metas trazados.

El éxito generalmente depende de la capacidad de interpretar la información en forma exacta. El enfoque sistemático de un programa de administración total de los recursos ayuda a que los productores aprendan a hacer esto de una mejor forma. Los ganaderos deben estar dispuestos a dedicar suficiente tiempo semanal y mensual para revisar, proyectar y evaluar lo que ha sucedido y lo que probablemente puede suceder. Hasta entonces se pueden desarrollar planes alternativos cuando es necesario y aprovechar las oportunidades que surgen.

Sin metas bien definidas es probable que un administrador diluya los recursos tratando de hacer un poco de todo. El proceso de administración total de los recursos, aunque no puede asegurar el éxito, ayuda a que el ganadero mantenga mejor control del rancho y de su futuro (Hanselka et al., 2005).

4. Recursos forrajeros y capacidad de carga animal

Es el primer paso a considerar en la alimentación animal. Debe existir un balance entre la disponibilidad de forraje y demanda del ganado. El uso de una carga animal adecuada a la disponibilidad de forraje, permite obtener ganancias acordes al potencial de las explotaciones y garantiza la conservación del recurso forrajero (Ortega y González, 1992), por lo que la selección de una carga animal adecuada

es la decisión más importante en manejo de pastizales, y debe considerar tanto la vegetación, el ganado, fauna silvestre, disponibilidad de agua e ingresos económicos (Holechek et al., 2011).

El ajuste de carga animal debe permitir dejar un porcentaje de forraje remanente para facilitar un rápido y eficiente rebrote del pasto, de lo contrario el sobrepastoreo impedirá una pronta recuperación del pastizal, debido a que se reduce la superficie foliar y disminuye la captura de energía solar (Briske y Heitschmidt, 1991).

Una carga animal alta por un periodo prolongado producirá becerros con baja ganancia de peso, en comparación de un carga moderada (Holechek, 2011). En el corto plazo, la ganancia por hectárea suele ser más elevada con cargas altas; sin embargo en el mediano y largo plazo esto cambia debido a la reducción en la producción forrajera, erosión del suelo y el reemplazo de plantas deseables por menos deseables e indeseables (Vallentine 2000).

El monitoreo de la disponibilidad de forraje debe ser constante año con año y dentro de cada año. Este ajuste constante permite tener forraje disponible, pastizales saludables y una buena condición corporal del ganado; condiciones que tendrán como resultado una producción óptima de becerros por vaca y por unidad de superficie (Ortega et al., 2013).

5. Suplementación animal

Los animales en pastoreo tienen diferentes dietas, algunos consumen gramíneas, otros son ramoneadores o consumen herbáceas diferentes a los zacates y en muchos casos, comen una combinación de los tres tipos de plantas. Estas diferencias en la dieta permiten coexistir en el mismo pastizal, o agostadero, a diversos animales. Los bovinos consumen todo tipo de plantas (gramíneas, herbáceas y arbustivas o arbóreas), aunque por naturaleza es una especie consumidora principalmente de gramíneas (1979; Lyons et al., 1996; Vallentine, 2000). Por lo tanto, la calidad del forraje y de la dieta del ganado es variable durante el año, lo que hace necesario implementar un programa de suplementación (proteico/energética, minerales y vitaminas) que aseguren una buena condición corporal y por lo tanto animales productivos.

Durante el invierno y temporada de sequía, las praderas y agostaderos son deficientes en proteína (6-8 meses al año) y disminuyen su digestibilidad, por lo que es necesario suplementarla para asegurar el requerimiento diario de proteína y una adecuada población de bacterias del rumen, necesarias para la adecuada digestión del forraje fibroso, mantener la condición corporal y capacidad reproductiva del hato (Ávila et al., 2009), y en consecuencia asegurar buenas ganancias de peso en animales de reemplazo y en repasto.

Los requerimientos vitamínicos muchas veces se cubren con el pastoreo. Cuando las temperaturas son muy bajas y las sequías prolongadas, se recomienda suplementar (inyectar) vitamina A. Los bovinos manufacturan vitamina D de la luz solar y sintetizan el complejo B con los microorganismos del rumen. La suplementación mineral debe proporcionarse a todo el hato, todo el año (Hanselka y Paschal, 2000). La suplementación mineral, pese a que puede ser aparentemente cara, se pagará por sí misma, ya que incrementa la ganancia de peso y los índices reproductivos.

6. Manejo del pastoreo, maleza y prácticas de captura de agua

Debe planearse un programa de utilización o pastoreo, así como de control de plantas indeseables que permitan una producción sustentable de forraje. De igual manera es necesario tener un programa de captura de agua (pozos, presas, equipamiento) y conservación del suelo.

- *Pastoreo Continuo.* Bajo un sistema continuo, existe un uso constante en una superficie dada, por lo que la carga animal es la única variable que puede manipularse. En general, este sistema no permite hacer un uso uniforme del pastizal y favorece el uso repetido y pastoreo excesivo de las especies más deseables y/o partes de una misma especie. Esto se debe a que el ganado es selectivo, por lo que siempre consume primero las plantas y partes de plantas con mayor gustocidad. En pastizales en buena condición, el pastoreo continuo con una carga animal moderada, generalmente no afecta la producción animal ni vegetal (Hanselka et al., 1995).

- *Pastoreo Rotacional.* La selección de alguna alternativa de pastoreo rotacional permite hacer un uso más uniforme y eficiente del forraje, con efectos favorables tanto en el ganado como en la fauna silvestre (Bryant et al., 1998).

Existen muchas variaciones en este sistema, conocidas con nombres como: Alta intensidad baja frecuencia, pastoreo del mejor potrero, pastoreo corta duración, pastoreo intensivo tecnificado, entre otros. También existen estrategias de pastoreos estacionales, para utilizar algunos pastizales que debido a sus características, como una alta lignificación, sólo pueden pastorearse en determinadas épocas del año. Los sistemas de pastoreo y la selección correcta de ellos es un tema de constante interés para los ganaderos, por lo que se recomienda la consulta de publicaciones como: Hanselka et al., (1995), Savory (1988) Vallentine (2000) y Holechek et al., (2011); quienes tratan estos temas con detenimiento.

Hasta la fecha, ningún sistema de pastoreo ha mostrado ser universalmente superior a los demás, en términos de su capacidad para aumentar la producción (Heitschmidt y Taylor, 1991). Un sistema planeado de pastoreo no es un “cúralo

todo” para los problemas de los ranchos, es sólo una herramienta para controlar cuándo, dónde y cuánta vegetación es pastoreada. Si el sistema se adapta a la operación y objetivos del rancho, puede incrementar la producción animal y proveer de un pastizal saludable al ganado y fauna silvestre. Un sistema de pastoreo puede beneficiar a las plantas, ganado y al hombre, sólo cuando se usa una adecuada carga animal (Hanselka et al., 1995).

7. Manejo reproductivo

Enfocado principalmente a la evaluación de sementales y palpación de hembras que permitan identificar problemas para desecho de animales improductivos.

El producto final es obtener un becerro por vaca cada 12 a 13 meses, para lo cual es necesario contar con vacas y toros fértiles.

Un vientre bovino es aquella hembra capaz de quedar gestante cuando manifiesta estro y es servida por un semental o es inseminada artificialmente, y por lo tanto es considerada como una hembra fértil.

Para incrementar los porcentajes de preñez, pariciones y destetes es importante la palpación tanto de vientres como de las becerras de reemplazos, realizar pruebas de diagnóstico de gestación. Sólo así es posible conocer el estado reproductivo de las hembras para la toma de decisiones de desechos y reemplazos del hato (Parish 2006).

En México, pocos ganaderos dedicados a la producción de carne de bovino sirven a sus vacas por inseminación artificial y la mayoría lo hace con monta natural. Debido a esto el 50% de la responsabilidad de la gestación depende de los toros. Por lo tanto la evaluación de la capacidad reproductiva de los sementales es de suma importancia y consistente en: historial del comportamiento reproductivo del semental, examen clínico general, examen de los órganos genitales externos, examen de los órganos sexuales internos, circunferencia escrotal y evaluación de muestra de semen (Palacios y de los Santos 1998).

En la medida de lo posible es recomendable contar con programas de empare que permitan una mejor organización de: programas de palpación, evaluación de sementales, destetes y vacunaciones; así como suplementación más precisa y selectiva.

8. Salud animal

Uno de los problemas que afectan seriamente la producción ganadera en México, es la presencia de enfermedades infecciosas causadas por bacterias, virus y parásitos. La presencia de estos padecimientos se incrementa en zonas donde no se cuenta con programas sanitarios definidos a través del año, basados en características de presencia y distribución de las enfermedades. Contar con un calendario acorde a la

presencia y frecuencia de los padecimientos es de mucha importancia para prevenir y reducir al máximo las pérdidas (Cantú, 2000).

Para el Noreste de México, la primera actividad es la vacuna para prevención de carbón-edema (clostridiasis), seguida de bacterina contra Pasteurellosis neumónica. También es recomendable vacunar contra Rinotraqueitis infecciosa bovina (IBR), Diarrea viral bovina (BVD), Parainfluenza 3 (PI3) y virus sincital respiratorio en hatos donde ya se realizó un diagnóstico previo.

Suplementación mineral durante todo el año, así como la vitamina ADE son consideradas medidas preventivas en salud animal.

Las garrapatas *Boophilus* representan los ectoparásitos de mayor importancia en México. El principal medio de control ha sido el uso de ixodicidas, sin embargo, desde la década de los 80, se ha detectado resistencia a los diferentes productos utilizados. Las recomendaciones de manejo serían: 1) Usar los ixodicidas apropiadamente siguiendo las recomendaciones de uso, 2) Conocer las condiciones de resistencia de garrapata y mosca del cuerno (*Haematobia irritans*) en cada rancho, 3) Realizar el diagnóstico de resistencia una vez al año, 4) Elegir el producto con base en los resultados y establecer un plan integral incluyendo tratamientos alternos (vacuna, inhibidor del desarrollo e ivermectinas), 5) establecer la frecuencia de baños en base a umbrales de población de garrapatas, 6) Rotar productos para baño con base en resultados de resistencia, y 8) cuando se use baño por aspersión se debe utilizar la cantidad adecuada de la mezcla y evitar distracciones, 5-6 litros por animal adulto (Cantú 2015).

9. Mejoramiento genético

Tener un objetivo y metas claras, permite hacer una mejor selección de los propios animales del rancho así como de los reemplazos y/o sementales a utilizar, de acuerdo a características heredables de importancia económica.

Al seleccionar una raza o cruza se deben considerar las características de producción y mercado, que incluya animales “funcionales”, respecto al medio ambiente, buscando siempre individuos superiores dentro de la raza seleccionada.

10. Estudios de mercado y comercialización

Es común que el ganadero no analice las distintas alternativas que pueda tener para la venta de animales y que sus operaciones de compra/venta marquen la diferencia entre ganar o perder. De inicio, debe considerarse que el acto de comprar y vender es un mercado.

En años recientes en México se han adoptado algunas estrategias de comercialización, más allá del trato directo, como las subastas de razas puras, sino

también de ganado comercial (UGRT). Así mismo existen marcas de carne mexicana que le han dado valor agregado al producto y han ampliado los mercados.

También es de gran relevancia considerar los mercados internacionales y en consecuencia las características de la carne demandada. Al estar México dentro en un mercado globalizado, debe considerar las nuevas tendencias internacionales y preferencias de los consumidores, como la producción de carne orgánica con menos grasa y rastreabilidad; que le den certeza de la calidad al consumidor, quien al final decide qué comprar y consumir.

Lista de referencias

- Ávila C, J.M.; A. Cantú C. y E.A., González V. (2009). *Crecimiento y desarrollo de becerros con suplementación en Tamaulipas*. Folleto para productores MX-0-310402-06-03-14-10-14. INIFAP-CIRNE-CE Las Huastecas. Cuauthémoc, Tam. México. 14 p.
- Briske, D.D. y R. K. Heitschmidt. (1991). An Ecological Perspective. P 11 – 26. En: R. K. Heitschmidt y J.W. Stuth (Ed) *Grazing Management, an Ecological Perspective*. Timber Press, Portland, Oregon.
- Bryant, F.C., J.A. Ortega y H. González. (1998). Planned Grazing Strategies En: Proceedings of the Management of Grazinglands in Northern Mexico and South Texas. Texas A&M Univ., UAT, UANL, UAAAN, INIFAP, ITESM, FIRA, *Unión Ganadera de Nuevo León, Tamaulipas and Coahuila. Laredo, TX. p 69-83.*
- Callejas-Juárez, N., H. Aranda-Gutiérrez, S. Rebollar-Rebollar y M.L. de la Fuente-Martínez. (2014). Situación económica de la producción de bovinos de carne en el estado de Chihuahua, México. *Agronomía Mesoamericana 25(1):133-139.*
- Cantú, A. (2000). Calendario Sanitario para el Noreste de México. En: *Recomendaciones prácticas, XXX Aniversario del CE Aldama. CE Aldama-INIFAP-SAGAR. Publicación especial No 11.* Aldama, Tam. 85 p.
- Cantú, A. (2015). Situación, Resistencia, Métodos Integrados y Alternativas en el Control de Garrapata *Boophilus* spp. En: *II Congreso Mundial de Ganadería Tropical*. Tampico, Tam., México. P 137-155.
- Comité Nacional Sistema Producto Bovinos Carne-SAGARPA. (2014). *Plan Rector del Comité Nacional del Sistema Producto Bovinos Carne 2014-2024*. México, D.F. 57 p.
- Dunn, B.H., Gates, R.N. y Davis, J. (2006). *Using the Balanced Scorecard for Ranch Planning and Management: Setting Strategy and Measuring Performance*. South Dakota State University and Texas A&M University–Kingsville. 32 p.
- Financiera Nacional de Desarrollo. (2014). *Panorama de la Carne y Leche de Bovino. SHCP3p.* [http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Bovino%20\(may%202014\).pdf](http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Panoramas/Panorama%20Bovino%20(may%202014).pdf)
- Gasque, R. (2008). Mejoramiento Genético en Bovinos. En: *Enciclopedia Bovina. FMVZ-UNAM.* p 267-302. México, D.F.
- González V. E.A y C. W. Hanselka. (2002). *Ecología y Manejo de Matorrales*. INIFAP-Texas A&M University. Cd. Victoria, Tamps. 151 p.
- Hanselka, C.W., W. Fox III y L.D. White. (2005). *Administración Total de Recursos*. Texas Cooperative Extension, Texas A&M University System. 4 p.
- Hanselka, C.W. y J.C. Paschal. (2000). Nutrición y Productividad de Ganado de Carne en Pastizales. En: Seminario de Ganadería Empresarial. SAGAR-INIFAP, UGRT, TEXAS A&M Univ. System. Cd. Victoria, Tamps. México. p 47-53.

- Hanselka, C.W., B.J. Ragsdale y B. Rector. (1995). Grazing Systems for Profitable Ranching. *Texas Agricultural Extension Service*. L 2211.
- Heitschmidt, R.K. y C.A. Taylor Jr. (1991). Livestock Production. p 161-178. *En: R.K. Heitschmidt y J.W. Stuth (Ed) Grazing Management, an Ecological Perspective*. Timber Press, Portland, Oregon.
- Hernández, H. y M. Mireles. (1998). El Proceso Administrativo en Ranchos Ganaderos. *En: Workshop Proceedings of Beef Cattle Production Systems in Northeastern Mexico and South Texas*. Texas A&M Univ., UAT, UANL, UAAAN, INIFAP, ITESM, FIRA, Unión Ganadera de Nuevo León, Tamaulipas and Coahuila. Cd. Victoria, Tamps. Méx. p 208-214.
- Hinojosa, J.A. (2000). Características de la Empresa Agropecuaria del Futuro y Herramientas Básicas de Planeación y Operación. *En: Memorias del Seminario Internacional sobre Diversificación Productiva y Sostenible de la Ganadería en Chihuahua*. SAGAR, INIFAP, Texas A&M Univ. System, UGRCH, Fundación Produce Chihuahua. Chihuahua, Méx. p 6-8.
- Holechek, J.L., R.D. Pieper y C.H. Herbel. (2011). Range Management, *Principles and Practices*. Prentice Hall, Inc. New Jersey, USA. Fourth Edition. 542 p.
- Lyons, R.K., T.D.A. Forbes y R. Machen. (1996). *What Range Herbivores Eat and Why*. Texas Agricultural Extension Service. B 6037. 9 p.
- Palacios R. y S. de los Santos (1998). Evaluación de la capacidad reproductiva de sementales bovinos productores de carne en el sur de Tamaulipas. *Memoria del XVI Día del Ganadero*. CE Aldama-INIFAP-SAGAR. Aldama, Tam. p. 10-12.
- Parish J. (2006). Cow culling decisions. Cattle business in Mississippi. http://msucare.com/livestock/beef/mca_apr2006.pdf
- Ortega-S, J.A., S.D. Lukefahr y F.C. Bryant. (2013Y). Optimum stocking rate, monitoring and flexibility “key components of successful grazing management programs. *Rangelands* 35(5): 22-27.
- Savory, A. (1988Y). *Holistic Resources Management*. Island Press, Washington, D.C p 11-26.
- Vallentine, J.F. (2000). *Grazing Management*. 2nd Edition. Academic Press, Inc. San Diego, CA. 659 p.

CAPÍTULO 8

Principales plantas forrajeras utilizadas en la alimentación de rumiantes en Tamaulipas

Eduardo Arcadio González Valenzuela^{21*}

Jaime Salinas Chavira²²

Ignacio Raúl Delgado Morales²³

Introducción

Se puede definir forraje como todas aquellas plantas o partes de plantas que son útiles para alimentar a los herbívoros. Los pastos constituyen la fuente de alimentación más barata de la que dispone un productor para mantener a sus animales. Sin embargo, obtener el máximo potencial del pasto en cuanto a crecimiento, desarrollo, producción y reproducción en los animales depende de un manejo adecuado. El productor debe entonces conocer las características del mismo y de los animales que está criando para poder implementar un manejo adecuado de potreros, pastos y forrajes.

El estado de Tamaulipas, México; cuenta con una superficie de 7 982 900 hectáreas, de las cuales el 62 % (4 977 699) se consideran tierras de uso pecuario. De esta superficie dedicada a la ganadería, el 75% son agostaderos (3 737 192 hectáreas) y el 25% son praderas cultivadas (1 240 507) principalmente de temporal (Secretaría de Desarrollo Rural Tamaulipas, 2017).

En Tamaulipas existen importantes extensiones de terreno agrícola que deben reconvertirse a uso pecuario, debido a diferentes factores que limitan el desarrollo de cultivos. Entre estos factores pueden mencionarse la baja y errática precipitación para cultivos de temporal, así como la casi nula disponibilidad de agua de riego; suelos delgados, salitrosos, pedregosos y/o con altos índices de erosión.

La población de bovinos es de 1 137 056 cabezas, equivalentes a 973 716 unidades animales (UA); los caprinos son 262 494 (44 558 UA); los ovinos 210

²¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT). Carretera Victoria-Mante Km 5. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. CP 87000.

* Autor para correspondencia: eagonzalez@uat.edu.mx

²² *Ibidem*

²³ *Ibidem*

499 (39 184 UA); y 67 120 equinos equivalentes a 70 476 UA (Zertuche y Salazar 2017).

Considerando que herbívoros domésticos pastorean más del 60% de la superficie estatal, es importante contar con un documento que describa las principales plantas forrajeras de la entidad, en cuanto a las características morfológicas, productivas, valor forrajero, así como su forma de propagación, siembra y manejo.

En muchos de los casos, la siembra de forrajes perennes es considerada como una obra de mejoramiento (resiembra) de agostaderos degradados, que por diversas razones han disminuido su producción forrajera, acompañada de una gran densidad de plantas arbustivas indeseables, así como extensas áreas de suelo desnudo con serios problemas de erosión y pérdida de suelo.

El establecimiento de praderas cultivadas ha contribuido de manera significativa al desarrollo ganadero durante las últimas cuatro o cinco décadas, al aumentar los coeficientes de agostadero con el consecuente incremento en el número de animales, mayor producción de becerros y kilos de carne por unidad de superficie. De igual manera, al cubrir tierra desnuda frenan la pérdida de suelo e incrementan la cosecha de agua de lluvia.

La siembra de plantas introducidas o exóticas se ha cuestionado (el pasto buffel es un ejemplo), ya que el establecimiento de grandes extensiones de agostaderos o pastizales nativos dan como resultado inmensos monocultivos que atentan contra la biodiversidad nativa, tan importante para la estabilidad de los ecosistemas y del hábitat para la fauna silvestre y de los mismos animales domésticos. Aunque esto puede ser cierto, no es recomendable tomar decisiones radicales, tales como no utilizar alguna especie introducida en programas de resiembras, así como tampoco establecer indiscriminadamente praderas con cualquier tipo de plantas y en cualquier sitio (González y Hanselka, 2002).

Aunque al sembrar praderas con gramíneas el principal objetivo es la utilización de forraje por medio del pastoreo con animales domésticos, es importante considerar objetivos colaterales como la utilización de fauna con valor cinegético, actividades de recreo al aire libre, entre otras, para planear adecuado diseño en el manejo del hábitat. Ibarra y Martín (1995) indican que el dejar plantas leñosas en las praderas tiene las siguientes ventajas:

- Sirven como alimento y brindan sombra y abrigo al ganado y fauna silvestre.
- Protegen el suelo contra la erosión.
- Los animales tienen una dieta más rica y balanceada en praderas con arbustos.
- Son la fuente de nutrientes más rica y barata para animales y suelo.

- Se protegen especies de valor ecológico, nutricional, estético y comercial.
- El objetivo del presente escrito es describir las plantas relevantes, ya sea de pastoreo o corte, en la alimentación del ganado doméstico. Queda claro que existen muchas otras especies valiosas tanto para el ganado doméstico como para la fauna silvestre.

Zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris*)

Es una especie que se desarrolla en pastizales semiáridos de zonas tropicales y subtropicales alrededor del mundo debido a su tolerancia a la sequía y pastoreos intensos. Es una gramínea perenne de origen africano que se introdujo a inicios del siglo XX en varios países del mundo para mejorar las industrias de rumiantes bajo pastoreo, por ser considerado como un “pasto sobresaliente” (Hanselka 1988).

Se introdujo a los Estados Unidos en 1946, donde se establecieron praderas con éxito en el sur de Texas; poco después el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura liberó esta especie. El buffel denominado T-4464 fue liberado informalmente para Estados Unidos en 1949 (Holt 1985). En 1954 la semilla se transportó a México por vez primera, desde entonces se estableció en extensas superficies a lo largo de las costas este y oeste del país.

En el norte de México se ha utilizado para intensificar la producción principalmente de bovinos bajo pastoreo, aunque se le ha considerado como una especie para atenuar la erosión del suelo en agostaderos degradados, así como en tierras agrícolas no aptas para cultivos, aunque no está cuantificado se reconoce que miles de hectáreas frenaron la pérdida de suelo gracias a su establecimiento.

El buffel crece en verano y, según la variedad, alcanza alturas superiores al metro (máximo 1.5 m). Su sistema radicular es profundo y fuerte. Esta gramínea puede dispersarse mediante rizomas cortos y se reproduce por semillas. Sus rizomas son tallos subterráneos que dan lugar a nuevos vástagos. A través de ellos va aumentando el área de macollo, con un crecimiento vigoroso en su circunferencia.

El zacate buffel es considerado como una muy buena especie forrajera. Esta categoría tan importante se le reconoce por cuatro características claves: su relativa facilidad de establecimiento; su habilidad para sobrevivir a períodos prolongados de sequía; su buena respuesta al pastoreo; y su producción y calidad forrajera. Estas cuatro cualidades lo colocan arriba del promedio entre los zacates de climas cálidos (Alcalá 1995).

El buffel se adapta mejor en agostaderos planos y lomeríos suaves. También lo hace en suelos profundos, con buen drenaje, y con texturas entre arenosas y francas. En México, las regiones donde el buffel se establece, persiste y coloniza

áreas vecinas no sembradas, tienen las siguientes características: la lluvia total varía de 300 a 600 mm (11.8 a 23.6 pulgadas); la lluvia de verano fluctúa de 250 a 550 mm (9.8 a 21.6 pulgadas); la lluvia de invierno es inferior a los 200 mm (7.9 pulgadas) (Ibarra y Martín 1995).

El zacate buffel tiene baja tolerancia a las heladas; su adaptación se limita a agostaderos con inviernos no muy fríos, con heladas de baja intensidad y poca duración. En áreas con inviernos severos la sobrevivencia es errática y la producción muy pobre.

Sembrar “al voleo” es la forma más común para dispersar la semilla de buffel. La siembra con maquinaria puede hacerse con una sembradora de algodón o con una fertilizadora. Una sembradora de granos pequeños también puede utilizarse. La fecha de siembra del buffel varía de región a región. Depende principalmente de la cantidad y distribución de las precipitaciones y la temperatura. Generalmente, la época de siembra más segura es al inicio de las lluvias de verano.

La densidad de siembra del buffel en camas de siembra bien preparadas es de 3 kg de semilla pura viable por hectárea. En camas de siembra pobre o difícil y en áreas con lluvia limitada, se recomiendan 4 a 5 kg de semilla pura viable por hectárea.

La producción de forraje total varía de 4 a 6 Ton M.S./ha. En años con precipitaciones abajo de lo normal, la producción es de 1.5 a 3 Ton M.S./ha. En consecuencia la capacidad de carga es variable, pudiendo ser de 3 a 5 ha/unidad animal (UA).

La calidad forrajera del zacate buffel es afectada por el medio ambiente (precipitación pluvial y temperatura). También la afectan los factores de manejo. El contenido de proteína cruda (PC) es de aproximadamente 10% durante el rebrote; 11% antes de la formación de espigas; 8% durante la madurez; y una fluctuación de 2 a 4% durante la época de secas o latencia.

Durante el pastoreo, debe evitarse que la planta sea consumida a menos de 15 cm de altura. Las plantas que han sido utilizadas a una altura menor que ésta tardan más tiempo en recuperarse. Utilizar la pradera frecuentemente con intervalos de descanso cortos no permite su recuperación y debilita las plantas. Esto provoca una defoliación y reducción del forraje y puede conducir a la muerte de las plantas.

Zacate Ángleton (*Dichanthium aristatum*)

Es originario de la India. En América este zacate se introdujo y fue cultivado en la estación experimental de Angleton en Texas en 1915, lugar de donde proviene su nombre (Gould y Shaw, 1983). Es una especie estolonífera, semiprostrada, este zacate varía considerablemente en su morfología, debido a sus hábitos de crecimiento, ya que en lugares húmedos crece a una altura de 110 cm y produce inflorescencias

de más de cinco racimos, bajo condiciones desfavorables (sequías) crece solamente hasta 15 centímetros con inflorescencias de un solo racimo (Bisset y Sillar 1984).

Se adapta desde al nivel del mar hasta los 1000 metros sobre el nivel del mar (msnm), con precipitación superior a los 800 mm de lluvia anual. Responde bien a la fertilización. Se desarrolla mejor en suelos arcillosos y su propagación es por medio de semillas y estolones (material vegetativo). La producción forrajera es de aproximadamente 4.3 ton de MS/ha bajo condiciones de temporal sin fertilización, aumentando hasta 7.3 ton de MS/ha. con fertilización nitrogenada.

Cuando se siembra con semilla, alcanza en los primeros cinco o seis meses un 70 a 80 % de cobertura del suelo, en cambio cuando se siembra por material vegetativo o guías, habrá que esperar hasta el siguiente año para lograr la misma cobertura. Lo anterior significa que es posible iniciar su pastoreo más rápido al sembrar con semilla.

Este zacate comparado con otros pastos tropicales en el sur de Tamaulipas, ha sido el que produce más materia seca por hectárea durante la temporada de lluvias (junio a diciembre); sin embargo, en la época de sequía (enero–mayo) es uno de los zacates menos productivos, además de reducir considerablemente la digestibilidad, lo que limita su consumo y baja la productividad del ganado. Por lo tanto es recomendable utilizarlo en las lluvias hasta mediados de septiembre con pastoreo intensivo. A partir del 15 de septiembre puede descansarse y fertilizarlo principalmente con nitrógeno para que con las lluvias de otoño produzca abundante forraje que puede ser utilizado como heno a finales de octubre. Cabe mencionar que esta recomendación se basa en el alto rendimiento y buen valor forrajero del heno de pasto Ángleton (Ávila, datos sin publicar).

Otra opción de su uso es la cosecha de semilla durante los primeros días de diciembre, que puede ser una opción rentable debido a que no es fácil encontrarla en el mercado. Para obtener una producción óptima de semilla se recomienda fertilizar con la fórmula 150-70-00 (N-P-K) al inicio de las lluvias (julio) y no pastorear ni henificar a partir del mes de octubre para promover el desarrollo de tallos florales y obtener el mejor rendimiento de semilla y facilidad de cosecha a finales de noviembre o principios de diciembre.

Debido a su rápido establecimiento y cobertura del suelo, así como por su alta producción de forraje, es una buena opción para la resiembra y rehabilitación de praderas fuertemente invadidas por el zacate carretero (*Botriochloa pertusa*) (Galván, 1989).

Zacate Guinea (*Panicum maximum*)

Es nativo de África tropical y subtropical, y fue introducido a América en el siglo XVII por los esclavos africanos quienes lo utilizaban como camas en los barcos

que los transportaban. Se encuentra ampliamente naturalizado en México, donde alcanza alturas de más de 2 m. Sus hojas tienen forma de lanza, sus tallos son erectos, glabros o con alta pilosidad. Su inflorescencia es una panícula de 15 a 60 cm de longitud, de semilla fértil de forma elíptica de aproximadamente 2 mm de longitud (Enríquez et al., 2011).

Es una gramínea perenne de gruesos macollos que se ha cultivado por mucho tiempo en el Golfo de México donde ha permitido el establecimiento de prósperas ganaderías, ya que es resistente al pisoteo y bien aceptada por los animales; se adaptan bien a diversas condiciones de suelos, puede encontrarse en regiones con precipitación menor a 800 mm y mayor de 1800 mm anuales; su siembra es principalmente por medio de semilla, pero puede propagarse por macollos, cepas o coronas.

Este zacate produce un forraje de buena calidad durante todo el año si la pradera es manejada con carga animal de acuerdo a su capacidad de carga. Si no se pastorea baja considerablemente la calidad ya que el forraje al no ser consumido aumenta mucho su contenido de fibra y reduce la digestibilidad.

Es una planta que tiene buena producción de semilla iniciando su floración en septiembre y está lista para ser cosechada en octubre. Es muy importante el manejo adecuado de la semilla desde el momento de la cosecha, debiendo cortar las panículas completas y apilarlas por un periodo no mayor de cuatro días (periodo de “sudado”) ya que pueden desarrollarse hongos que dañen la semilla. La semilla debe sacudirse con suavidad para que se desprenda sólo la semilla madura y de buena calidad.

En años recientes se han introducido cultivares de Australia y Brazil, entre ellos destacan el Tanzania y Mombaza con diferentes características morfológicas, rendimiento y calidad; destacan su calidad forrajera y producción de semilla (Enríquez et al., 2011).

Zacate Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*)

Es nativo de Kenya y Tanganica, África, se encuentra distribuido a través de las regiones tropicales del mundo, fue introducido a nuestro país entre los años 1962-1967, causando mucho furor en la costa del golfo. Es un pasto perenne de clima tropical, de crecimiento bajo, se extiende por estolones que de sus nudos enraízan directamente al suelo y de los cuales salen sus tallos erectos y numerosos, con hojas finas y largas, presenta espigas que miden 8 cm de largo aproximadamente; se adapta desde el nivel del mar hasta los 1300 m con precipitaciones de 900 a 3500 mm anuales y a gran variedad de suelos desde los arenosos hasta los arcillosos (Enríquez et al., 2011), no resiste inundaciones prolongadas ni la sequía, responde rápidamente a la fertilización nitrogenada y fosforada.

Se establece con material vegetativo ya que no produce semilla fértil. Se deben sembrar de una hasta dos toneladas de “guía” (material vegetativo), con tractor a vuelta de arado o a espeque cuando haya suficiente humedad en el suelo que permita la formación de raíces; se recomienda hacerlo en el mes de julio, una vez iniciada la temporada de lluvias. Se caracteriza por una gran agresividad, rápido establecimiento, altos rendimientos de materia seca y una composición química aceptable.

Esta gramínea es importante para la ganadería nacional por la amplitud de terreno que ha colonizado, sus características de rusticidad y resistencia al pastoreo, con bajo nivel tecnológico y baja utilización de insumos, condiciones frecuentes en la ganadería tropical mexicana (Meléndez et al., 2006).

En una evaluación de pastoreo rotacional y continuo con vaquillas de 250 kg de peso inicial, se observaron ganancias diarias de peso de 524 y 567 gr/animal/día respectivamente (Ortega y González, 1998). Respecto a la producción de forraje, durante el primer año de evaluación no se encontró diferencia al utilizar el pastoreo continuo o rotacional; sin embargo, para el segundo año sí se incrementó la carga en un 30%, lo que indica que responde favorablemente al buen manejo.

Bermuda Cruza 1 híbrido entre (*Cynodon dactylon* x *C. nlemfuensis*)

El Bermuda común llegó a América con los españoles, siendo la primera especie tropical introducida y cultivada. El bermuda cruza 1 es un pasto producto del mejoramiento genético mediante la cruce de Bermuda de la Costa y Kenya 56#14, derivada de una planta registrada como PI 255445, *C. nlemfuensis* var. *Robustus* (Burton, 1972).

Es una planta perenne de crecimiento rastroso que cubre el suelo densamente con estolones delgados, rara vez produce rizoma, lo que lo diferencia de los Bermudas. Se reproduce por material vegetativo debido a que su semilla no es fértil. Tiene hojas anchas, más suaves que el Bermuda común, con muy poca pubescencia, lo que le da mayor gustocidad. Es resistente a enfermedades y nematodos.

Una de sus principales ventajas es la alta digestibilidad, un 12% superior al Bermuda común, lo que permite mayor ganancia de peso de los animales, hasta un 30% superior (Enríquez et al., 2011).

Prefiere suelos fértiles bien drenados, con textura mediana a pesada, aunque también se adapta a suelos arenosos y ligeramente ácidos. No es tolerante a la sequía y es de baja agresividad, por lo que no compite mucho con la maleza, característica que limita su desarrollo.

Es una especie de muy buen valor forrajero y excelente aceptación por el ganado. Una característica importante es que durante la sequía conserva más la digestibilidad y contenido de nutrientes que otras especies tropicales, responde muy bien al riego y fertilización (Villegas et al., 1998). También se han desarrollado otros cultivares similares como el Tifton 44, Tifton 68, Tifton 78 y Tifton 85, utilizados principalmente en áreas de riego del trópico seco mexicano.

Pasto Taiwán (*Pennisetum purpureum*)

Pasto originario de África. El Taiwán, es un pasto tropical de aspecto similar al King grass pero con un color púrpura particularmente acentuado y de talla un poco menor. La planta es perenne, robusta, amacollada con más de 50 hijos por macolla. Los tallos en general alcanzan hasta 4 m de altura (Villegas et al., 1998). Introducido por el Golfo de México al estado de Veracruz, de donde los propios ganaderos se encargaron de multiplicarlo a otros estados de la República.

Se establece por medio de material vegetativo y puede sembrarse en una gran variedad de suelos; su mayor potencial se da en suelos de alta fertilidad, profundos y permeables (Enríquez et al., 2011). Se adapta bajo temporal a zonas con más de 800 mm de lluvia anual, de lo contrario el riego es necesario. Es exigente en nutrientes nitrogenados y otros minerales debido a que tiene tasas de extracción altas, por lo que requiere dosis altas de fertilización para mantenerlo productivo.

Valor forrajero de regular a bueno, con contenido de proteína cruda del 8%, que puede disminuir a 6% al henificarse y un 38 a 43% de digestibilidad. Produce de 25 a 40 t/ha de materia seca. El primer corte puede darse 90 días después de la siembra con una altura de corte de 15-20 cm sobre el nivel del suelo lo que permite contrarrestar la invasión de malas hierbas y acelerar su rebrote. Se puede cortar y picar para dar al ganado en época de estiaje o ensilarse.

También se puede aprovechar mediante pastoreo cuando tiene 1 a 1.5 m de altura (Villegas et al., 1998), el pastoreo a mayor altura de la planta disminuye el valor nutritivo, dificulta el pastoreo y hay mucho desperdicio por pisoteo y acame.

Maíz Forrajero (*Zea mays*)

El maíz es el cultivo más importante de México por su presencia diaria en la mesa de las familias. Es una planta originaria de nuestro país y América central, la cual ha sido utilizada como forraje para la alimentación de ganado en diferentes formas, tales como rastrojo, grano y ensilaje (Jurado et al., 2016), especialmente para las vacas lecheras y los animales de tiro. Se aprovecha como alimento ganadero en varias etapas del crecimiento de la planta en especial a partir del momento en que aparece la panoja.

El maíz es anual, de aspecto robusto, recuerda al de una caña. Tiene un solo tallo de gran longitud, sin ramificaciones, que puede alcanzar hasta cuatro metros de altura, es decir, poco más de la altura de dos hombres. Al hacerle un corte presenta una médula esponjosa. La planta tiene flores tanto masculinas como femeninas.

Este cultivo requiere una temperatura cálida, entre 25 y 30 °C, y mucho sol para desarrollarse bien. Sufre después de los 30 °C o con temperaturas frías menores a 8 °C. Además necesita mucha agua, alrededor de cinco milímetros de lluvia o riego diarios, en promedio. El maíz se adapta muy bien a todo tipo de suelos, especialmente los ligeramente ácidos, profundos, ricos en materia orgánica, con buen drenaje para no permitir encharcamientos que asfixiarían las raíces. La semilla del maíz es adaptable y puede sembrarse tanto en suelos bien preparados como en terrenos con mínima labranza o siembra directa; todo depende de los recursos con que cuente el agricultor. La producción forrajera depende de las condiciones climáticas, de humedad, suelo y fertilización, por lo que varía desde 25 ton de forraje verde/ha hasta 70 ton, bajo condiciones óptimas. Es una especie de mucha gustocidad para los rumiantes, de alto valor nutritivo y alto valor energético (Bates 1998).

Cuando se destina para consumo animal, la cosecha del maíz forrajero incluye toda la planta. Puede cosecharse verde o deshidratarse para conservarlo como heno y almacenarlo en pacas; también puede ensilarse lo que significa conservarlo mediante un proceso de fermentación parcial anaeróbica. El proceso de ensilado se realiza aproximadamente tres meses después de la siembra para lograr el momento óptimo de rendimiento y calidad nutritiva; una prueba de campo para determinar el momento adecuado de cosecha es cuando el grano se encuentra en estado lechoso-masoso y el contenido de humedad de la planta oscila entre el 65 y 70%. En cualquiera de los casos, puede utilizarse como suplemento, complemento o en raciones integrales.

Sorgo Forrajero (*Sorghum bicolor*)

Originario de África Central (Etiopía o Sudán), pues es allí donde se encuentra la mayor diversidad, pero también existe información que se desarrolló en la India desde el año 700 A.C. (Balole y Legwaila 2006). Es una gramínea de crecimiento erecto, alta que puede superar los 3 m de altura. La inflorescencia es una panícula de aproximadamente 60 cm. de largo. Los tallos pueden ser muy variables, de delgados a gruesos con una gran diferencia entre genotipos (Rattunde et al., 2001).

El sorgo forrajero es una especie que se adapta bien en zonas donde el maíz se ve limitado en su producción y calidad debido a problemas edáficos y/o climáticos. Su morfología y fisiología hacen que tenga una alta resistencia a la desecación (capacidad de transpiración relativamente pequeña en relación a la gran capacidad

de absorción de las raíces, capacidad de enrollar las hojas y cerrar los estomas de manera que disminuye la evaporación durante períodos de estrés hídrico), lo que permite que esta especie sea resistente a la sequía (FAO 2011). También se adapta a suelos con menor fertilidad, aunque requiere una buena preparación de cama de siembra y mantener el cultivo libre de malezas.

Esta especie puede pastorearse. El pastoreo rotacional es la mejor manera de hacer un uso óptimo del sorgo. No debe pastorearse a menos de 15 cm de altura para tener un buen rebrote. Debido a que el rebrote tierno puede ser tóxico por la presencia de ácido cianídrico, no debe pastorearse hasta que el crecimiento sea superior a los 45 cm (Undersander et al., 2003), algunos autores recomiendan esperar hasta que alcance los 80 cm (Vignau-Loustau et al., 2008).

La altura óptima al pastoreo es de 1-1.5 m, donde se alcanza el óptimo valor nutritivo y palatabilidad, plantas más altas reducen la calidad forrajera y puede haber mucho desperdicio de forraje por pisoteo y acame.

Además del pastoreo, el sorgo forrajero se utiliza como forraje de corte, ya sea verde picado, en heno o ensilado. De éstos, el ensilaje es el método de conservación más utilizado para el sorgo; una manera práctica de saber el momento adecuado para su corte y conservación es cuando el grano se encuentra en estado lechoso-masoso y la humedad de la planta presenta entre un 65-70%. El rendimiento o producción forrajera depende en gran medida de la variedad, tipo de suelo, fertilización y posible riego, por lo que puede variar de 20 T de material verde/ha, hasta 70 bajo condiciones óptimas.

Leucaena o Guaje (*Leucaena leucocephala*)

Planta nativa del trópico de México y Centroamérica, cuenta con un gran potencial forrajero, es una leguminosa perenne, arbustiva o arbórea que llega a crecer más de 10 metros de altura en forma silvestre (Villegas et al., 1998). Es ampliamente utilizada para el diseño de sistemas agroforestales; esta especie puede enriquecer la dieta de los animales y reducir el consumo de los alimentos concentrados que generalmente son de alto costo. Además de proporcionar leña, sombra y mejorar la fertilidad del suelo al fijar nitrógeno atmosférico por medio de nódulos de bacterias del género *Rizobium* presentes en las raíces (Zavaleta et al., 2009).

Se adapta a diferentes tipos de suelos y a lugares con precipitación de 400 a 1500 mm anuales. Es capaz de producir anualmente hasta 14 ton/ha de materia seca de forraje de hojas y tallos delgados con una proteína cruda de 25 % y digestibilidad de 51 % o más (Martínez et al., 1990).

Su establecimiento y propagación en los matorrales nativos y praderas cultivadas ayuda al enriquecimiento de la dieta del ganado y fauna silvestre,

principalmente por su alto contenido de proteína cruda. En el caso de praderas puede sembrarse sola, como bancos de proteína o asociada con pastos. En ambos casos es necesario podarla para permitir rebrotes accesibles para el ramoneo de los animales.

Se establece por medio de la siembra de semilla, se recomienda sembrarla en surcos para facilitar el cultivo y control de maleza. Es muy importante considerar la escarificación de la semilla, tratamiento previo a la siembra. Existen diferentes alternativas, pero la más sencilla consiste en depositar la semilla en agua caliente a 80 °C durante tres minutos, se retira del agua y se seca al sol. Con este tratamiento es posible incrementar la germinación de un 15% al 70%, lo cual aumenta el éxito de la siembra y reduce el costo.

Clitoria o campanita morada (*Clitoria ternatea*)

Es una leguminosa de áreas tropicales y subtropicales originaria de Asia (Córdoba et al., 1987), aunque otros atribuyen su origen a Centro, Sudamérica y el Caribe (Cook et al., 2005).

Crece de manera natural en pastizales y matorrales nativos tropicales y subtropicales. Para su establecimiento requiere suelos moderadamente livianos a pesados, de mediana a alta fertilidad, buen drenaje interno y pH desde alcalino a medianamente ácido, con precipitación anual de 800 a 4 000 mm y temperaturas de 19 a 32 °C.

Planta bianual o perenne de vida corta, herbácea y trepadora, alcanza una altura de 60 a 70 cm (Barro y Ribeiro, 1983). Sus tallos son finos, flores simples o pareadas, con pedicelos gemelos con forma de embudo invertido, blanca o azulada de 2.5 a 5 cm de longitud.

La semilla recién cosechada tiene baja germinación, después de almacenarla por seis meses aumenta en un 20%; además es recomendable escarificarla para optimizar la germinación (Espinoza, 1993); al igual que con la semilla de leucaena puede hacerse por medio de inmersión en agua caliente (80 °C) durante tres minutos, se retira del agua y se seca al sol. Es resistente a la sequía y responde a la irrigación. Permite hasta ocho cortes por año (cada 45 días) y se recupera rápidamente después del corte. Aunque muestra persistencia y resistencia al pastoreo durante períodos cortos, a largo plazo tiende a desaparecer, siendo más conveniente su utilización como forraje de corte (Garza et al., 1072).

En cultivos de temporal, la primera cosecha se realiza a los 80 días después de la siembra, posteriormente, se puede utilizar a partir de los 45 días bajo un manejo adecuado y al inicio de la floración (Villanueva 2015). La producción de forraje estimada es de 6 TM/ha/año. Bajo condiciones de riego y después del

primer corte, es factible utilizar el forraje cada 42 a 45 días, obteniendo hasta 30 T/ha/año de forraje seco. En todos los casos, el corte de la planta no deberá exceder los 10 cm de altura (Villanueva y Mena, 1996), siendo recomendable permitir la producción y maduración de la semilla de manera eventual para favorecer la propagación y reemplazo natural de las plantas que desaparecen. Cuando el forraje es para heno, el corte se realiza al inicio de la floración, exponiendo el forraje al sol por tres días en capas delgadas y evitando al máximo la pérdida de hojas por un exceso de secado.

Es una planta con buena gustocidad y de alto valor forrajero. En cuanto al contenido de nutrientes, la planta completa tiene de 19 a 23% de PC, mientras que la energía metabolizable y el total de nutrimentos digestibles (TND) es de 2.58 Mcal/ kg MS y 71%, respectivamente (McDowell et al., 1974).

Reproducción y evaluación de la semilla

Las plantas pueden reproducirse de manera asexual, mediante material vegetativo o de manera sexual, por la producción de semilla fértil. Su conocimiento y dosis de siembra son muy importantes en el éxito del establecimiento y en los costos de producción.

Plantas como el zacate estrella de África, no producen semilla fértil, o el porcentaje de germinación es muy bajo. En esos casos, se establecen nuevas praderas sembrando tallos, ya que los entrenudos al estar en contacto con el suelo húmedo tienen la capacidad de desarrollar raíces que darán origen a nuevas plantas. En estos casos, para establecer una pradera es necesario cortar todo el material vegetal una vez que hayan desarrollado suficientes tallos, que se utilizarán como “semilla” y deben quedar parcialmente tapados.

Puede sembrarse en surcos o en terrenos rastreados y libres de maleza, con una densidad de 4 a 5 tallos por metro cuadrado, para lograr esta dosis, se siembra de 1 a 1.5 toneladas de material vegetativo fresco. Las guías o tallos se insertan en el suelo a espeque. Cuando es posible se siembra en surcos a vuelta de arado.

En el caso de siembras con semilla es sumamente importante conocer el porcentaje de semilla pura viable (SPV), en especial cuando la semilla se compra sin un certificado de pureza y viabilidad. Esto ocurre con frecuencia con especies de pasto como el buffel y guinea cuando se compra semilla de rancho a rancho.

Es fundamental diferenciar el concepto de SPV con la semilla comercial, para poder sembrar con una dosis que asegure un buen establecimiento. La semilla pura viable se determina con los porcentajes de germinación y pureza (Ibarra et al., 1989). La SPV representa los granos de semilla llenos, vivos y listos para germinar. Se determina multiplicando el porcentaje de germinación por el porcentaje de pureza y dividiendo el resultado entre 100.

Un ejemplo de una muestra de semilla con un 75% de germinación y 80% de pureza tiene el siguiente porcentaje de SPV:

$$\text{SPV} = \frac{75 \times 80}{100} = 60\%$$

Lo anterior significa que de un kilogramo de semilla comercial, 600 gramos son de semilla pura y lista para germinar. Los restantes 400 gramos son semillas inmaduras, vanas e impurezas o basura. El cálculo para estimar la cantidad de semilla comercial para sembrar que contenga los 3 Kg de SPV/ha recomendados, se hace de la siguiente manera: Se multiplica por 100 la densidad de siembra recomendada de SPV y se divide entre el porcentaje de SPV:

$$\text{Cantidad de semilla comercial} = \frac{100 \times 3}{60} = 5.0 \text{ kg/ha}$$

Lista de referencias

- Balole, T. V. y G.M. Legwaila. 2006. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Record from Protabase. Brink, M. & Belay, G. (Editors). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, Netherlands.
- Bates, G. 1998. *Corn Silage*. Agricultural Extension Service-University of Tennessee. SP 434-D
- Bisset, W.J. y D. Sillar. 1984. Angleton grass (*Dichanthium aristatum*) in *Queensland Trop. Grass*. Virginia. E.U.A pp 52.
- Burton, W.G. 1972. Registration of Coast Cross 1 Bermudagrass. *Crop Science*, 12:125.
- Cook, B.G, B. Pengelly, S. Brown, J. Donnelly, D.A. Eagles, M.A. Franco, J. Hanson, B. Mullen, I. Partridge, M. Peters y R. Schultze-Kraft. 2005. *Tropical Forages: an interactive selection tool*. [CD- ROM], CSIRO, DPI&F (Qld), CIAT and ILRI, Brisbane, Australia.
- Córdoba A, A. Peralta y A. Ramos. 1987. Producción estacional de la asociación Digitaria decumbens/*Clitoria ternatea* con tres cargas animales y dos sistemas de utilización. *Pasturas Tropicales*. CIAT. Cali, Colombia. 9(1):27-31.
- Enríquez, J.F., F. Meléndez, E.D. Bolaños y V.A. Esqueda. 2011. *Producción y Manejo de Forrajes Tropicales*. Libro técnico No. 28. Campo Experimental la Posta, INIFAP-SAGARPA. Medellín de Bravo, Veracruz, Méx. 405 p.
- Espinosa, A.J. 1993. La Clitoria. Forraje de excelente calidad para el Valle de Apatzingán, Michoacán. *Folleto para productores. Núm. 8. INIFAP-SAGAR. p. 11.*
- Faria, MG, García AL y González B. 1996. Métodos de escarificación. FAO, 2011. *Grassland Index. A searchable catalogue of grass and forage legumes*. FAO. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/Default.htm>
- Galván, C. R. 1989. Prácticas culturales como perspectivas para el control de zacate Carretero (*Botriochloa pertusa*) con resiembra de Angleton (*Dichanthium aristatum*), Pangola (*Digitaria decumbens*) y Santo Domingo (*Cynodon nlemfuensis*) en el trópico seco (Sur de Tamaulipas). Tesis licenciatura, Facultad de Agronomía-UANL, Méx. 48 p.
- Garza, TR, G.A. Portugal y W.H. Ballesteros. 1972. Evaluación en pastoreo de asociaciones de zacates y leguminosas utilizando vaquillas de razas europeas en clima tropical. *Téc Pecu Méx.* 23:7-11.
- González V. E.A y C. W. Hanselka. 2002. Ecología y Manejo de Matorrales. INIFAP-Texas A&M University. Cd. Victoria, Tamps. 151 p.
- Gould, F W, and R B Shaw, 1983. *Grass Systematics*. 2ª Ed. Texas A & M University Press College Station, Texas. USA.

- Hanselka, C.W., 1988. Buffelgrass: South Texas wonder grass. *Rangelands* 10, 279-281.
- Ibarra, F. y M. Martín. 1995. establecimiento del Zacate Buffel. p. 15-30. *En: PATROCIPES (Ed.). Guía Práctica para el Establecimiento, Manejo y Utilización del Zacate Buffel*. PATROCIPES-SAGAR. Hermosillo, Son. México.
- Ibarra, F., M. Martín y M. Silva. 1989. ¡No Tire más Semilla de Buffel de la Debida! Fomento Ganadero. *Secretaría de Fomento Ganadero del Gobierno del Estado de Sonora*. 19:2-4.
- Jurado, P., C.R. Lara y R.A. Saucedo. 2016. Paquete tecnológico para la producción de maíz forrajero en Chihuahua. SAGARPA-INIFAP-Sitio Exp. La Campana-Madera. *Folleto Técnico 53*. Ciudad de México, México. 48 p.
- Martínez, M., L.E., Tergas y A.V. Méndez. 1990. Producción de forraje y valor nutritivo de *Leucaena leucocephala* en la región semiárida del sur de Puerto Rico. *Pasturas Tropicales*. Vol. 12. No. 3. p 25-28.
- McDowell, L, J. Conrad, J. Thomas y L. Harris. 1974. *Latin American tables of feed composition*. University of Florida. Gainesville, Florida.
- Meléndez, F., J.A. González y J. Pérez. 2006. *Manejo tecnológico del pasto Estrella Africana en el trópico*. Gobierno del Estado de Tabasco. Instituto para el Desarrollo de Sistemas de Producción del trópico húmedo de Tabasco. Villahermosa, Tab., México. 79 p.
- Ortega, J.A., E.A. González. 1998. Sistemas de pastoreo en Guinea y Estrella para producción de carne en el trópico subhúmedo. *En: Seminario internacional de ganadería rentable y diversificada. Publicación Especial No. 5*. pp 24-31.
- Rattunde, H. F. W., Zerbini, S. Chandra, y D.J., Flower. 2001. Stover quality of dual-purpose sorghums: genetic and environmental sources of variation. *Field Crops Res.*, 71 (1): 1-8
- Secretaría de Desarrollo Rural Tamaulipas. 2017. <http://www.tamaulipas.gob.mx/desarrollorural/temas-del-sector/ganaderia/>
- Undersander, D. J., L.H., Smith, A.R. Kaminski, K.A. Kelling y J.D. Doll. 2003. Sorghum forage. In: *Alternative Field Crop Manual*, University of Wisconsin-Extension, Cooperative Extension
- Vignau-Loustau, L. y C. Huyghe. 2008. *Stratégies fourragères*. France Agricole Editions, 2008
- Villanueva, J.F. 2016. *Clitoria ternatea* L.: Leguminosa forrajera para producción de carne y leche en áreas tropicales. *En: III Congreso Mundial de Ganadería Tropical 2016*. Tampico, México. p 197-212.
- Villanueva, J.F. y H.L. Mena. 1996. Establecimiento y utilización de *Clitoria ternatea* L. en zonas tropicales. *Publicación Técnica Núm. 1*. INIFAP-SAGAR.

- Villegas, G., A., Bolaños, J.A., Miranda, E.O., Guzmán, B. Tah y O.M. Galván. 1998. *Principales especies forrajeras en Tamaulipas*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural de Tamaulipas, COTECOCA-SAGAR. México, D.F. 124 p.
- Zavaleta, M.A., J.A. Rivera y E. Sosa. 2009. Establecimiento de un sistema silvopastoril en praderas de pasto estrella (*Cynodon nlefluensis*) en el estado de Yucatán. En: Praderas y producción de forrajes como estrategias de conservación del pastizal, *VI Simposio Internacional de Pastizales*. UANL-ITESM. 73 p.
- Zertuche R., J y J.M. Salazar H. 2017. *Análisis del Inventario Ganadero, Producción Ganadera y Capacidad de Carga Animal del Estado de Tamaulipas*. SAGARPA, Delegación Tamaulipas, SIAP, COTECOCA. 14 p.

CAPÍTULO 9

Uso estratégico de forrajes en dietas para bovinos engordados en corral

Jaime Salinas Chavira^{24*}

Eduardo Arcadio González Valenzuela²⁵

Julio Hinojosa-Hinojosa²⁶

Introducción

Para optimizar la producción del ganado de carne en engorda intensiva las dietas se formulan incluyendo algún forraje. Los nutrientes aportan energía, proteína, minerales y vitaminas. Los forrajes en pequeñas cantidades en dietas de finalizado contribuyen mejorando la producción de los bovinos engordados en corral. Esto se debe a que el forraje estimula la rumiación, proceso durante el cual el alimento regresa a la boca, para ser triturado y mezclado con saliva y nuevamente ser deglutido hacia el rumen. La saliva contiene sales de bicarbonato y fosfato que amortiguan el pH del rumen para que no se torne ácido. Las sales de la saliva actúan como amortiguadores o buffers contra los ácidos generados durante la fermentación microbiana en rumen, lo cual ayuda a mantener adecuado el medioambiente ruminal. Los animales dedican menor tiempo a la rumia cuando consumen dietas con bajo contenido de forraje y consecuentemente pueden presentar acidosis ruminal, la que es ocasionada por disminución en el periodo de tiempo dedicado a la rumia con lo cual se reduce la producción de saliva. Chibisa et al., (2016) reportaron pH ruminal más bajo y mayor producción de ácidos grasos volátiles en ganado de engorda alimentado con dietas bajas en forraje, con menor producción de saliva en comparación con dietas altas.

Existe amplia diversidad de forrajes que se pueden incluir en las dietas de bovinos en engorda. Los forrajes cultivados usualmente tienen alto contenido de

²⁴ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT). Carretera Victoria-Mante Km 5. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. CP 87000

*Autor para correspondencia: jsalinas@uat.edu.mx

²⁵ *Ibíd*

²⁶ *Ibíd*

nutrientes digestibles; entre estos forrajes se encuentran gramíneas forrajeras (maíz, sorgo, avena, trigo, algunos pastos) y leguminosas (alfalfa, trébol, etc.). Otros forrajes que se pueden usar son pastos de potreros del pastoreo, por ejemplo pasto Buffel. Otras importantes fuentes de forrajes son los esquilmos agrícolas, los remanentes de la planta después de la cosecha; en este grupo se incluyen los rastrosos, pajas, socas o tazoles. Estos forrajes tienen bajo contenido de nutrientes y son de baja disponibilidad para el animal; pero usados adecuadamente pueden formar parte de las dietas para el ganado de engorda.

Todos los forrajes mencionados se pueden incluir en las dietas del ganado de engorda. Por lo general el forraje seleccionado debe proporcionar la mayor cantidad de nutrientes digestibles a menor costo. En épocas actuales también se considera el criterio de funcionalidad del forraje, incluido en las dietas de engorda de ganado por su capacidad para estimular y mantener la rumia con adecuada producción de saliva que sirve para amortiguar el pH en rumen y mantener el equilibrio ruminal. La funcionalidad de forraje está dada por su composición química y principalmente por su composición en pared celular o fibra detergente neutro (FDN). Otras características como tipo de forraje, estado de madurez y procesamiento de forraje también influyen en la funcionalidad del forraje. El objetivo de este trabajo es ilustrar algunas características de digestión de dietas de finalizado que permitan el manejo estratégico de forrajes en dietas para bovinos engordados en corral.

Características de Fisiología digestiva de rumiantes

El estómago de los rumiantes se considera dividido en cuatro compartimientos. El rumen es el primero de ellos; en el rumiante adulto es el de mayor tamaño. En el rumen el alimento ingerido es fermentado por microorganismos. El segundo compartimiento es el retículo o reddecilla, el cual contribuye para que se realice la rumia, característica de los rumiantes, donde el alimento consumido es regresado del rumen-retículo a la boca por segunda vez, para ser masticado en mayor extensión, mezclado con saliva y regresado al rumen nuevamente. El tiempo que el animal ocupa para la rumia es mayor que para la deglución de alimento. El tercer compartimiento es el omaso, el cual por sus múltiples pliegues también se le llama libro; su principal función es absorber agua y ácidos grasos volátiles. El cuarto compartimiento es el abomaso o cuajar, su función es equivalente al estómago de animales no rumiantes, con secreción de ácido clorhídrico y enzimas que inician la digestión de alimento no fermentado y células microbianas del rumen (Salinas et al., 1996).

La fermentación en retículo-rumen se realiza principalmente por tres grupos de microorganismos anaerobios que son bacterias, protozoarios y algunos hongos. La mayor parte del alimento consumido por el animal rumiante (aproximadamente

75%) es fermentada por estos microorganismos para su crecimiento y multiplicación. Los productos finales de la fermentación microbiana en rumen son ácidos grasos volátiles (AGV) y gases como metano (CH_4), bióxido de carbono (CO_2), e hidrógeno (H). Los ácidos grasos volátiles se absorben principalmente en rumen y en omaso. Los AGV son usados como fuente de energía por el animal rumiante. Los gases se eliminan principalmente en el eructo (Salinas et al., 1996).

Con la fermentación microbiana en rumen, los animales rumiantes obtienen nutrientes para su crecimiento. Con esta capacidad, los animales rumiantes pueden producir alimentos para consumo humano, debido a que son alimentados con ingredientes que animales no rumiantes no pueden digerir. Los microbios del rumen pueden digerir forrajes y compuestos de nitrógeno no proteico y aportar nutrientes como aminoácidos, vitaminas del complejo B y AGV para el animal rumiante. Los microbios del rumen usan los carbohidratos de estructura (celulosa y hemicelulosa) contenidos en la pared celular de los forrajes, así como en varios subproductos agroindustriales. La urea es la principal fuente de nitrógeno no proteico que los microbios usan para su crecimiento y formar la proteína microbiana, que es utilizada por el animal rumiante para satisfacer sus requerimientos de proteína para mantenimiento y producción. La urea es tóxica cuando se usa en límites mayores a la capacidad del animal rumiante para metabolizarla. Dietas de finalizado para bovinos en engorda pueden usar en forma segura hasta el 1% del total de dieta en base seca. Niveles mayores no se recomiendan por su posible toxicidad. Se debe usar un periodo de adaptación con incremento gradual a dietas con urea.

Como se observa, el rumiante se beneficia de la actividad microbiana, al transformar forrajes y compuestos de nitrógeno no proteico en nutrientes de utilidad para el animal. A cambio de estos beneficios, el rumiante ofrece un medio propicio para el crecimiento microbiano, como pH adecuado (6 a 6.9), condiciones anaerobias, suministro continuo de nutrientes, temperatura adecuada (cerca de 39 °C) y eliminación de productos metabólicos tóxicos (algunos ácidos) para el crecimiento microbiano. La saliva contiene sales de fosfatos y bicarbonatos que amortiguan el pH en rumen e impiden que se torne ácido, de esta forma la saliva contribuye a mantener el equilibrio ruminal adecuado para crecimiento microbiano. La saliva se produce durante la rumia y ésta, es estimulada por el forraje. Raciones de engorda de bovinos con bajo nivel de forraje (10% o menos) y alto nivel de concentrado (90% o más) disminuyen el tiempo de rumia y producción de saliva lo que puede causar el trastorno digestivo llamado acidosis ruminal, que influye negativamente en la producción de bovinos en el corral de engorda. El objetivo de la rumia no es la producción de saliva, ésta se produce para facilitar la deglución del alimento triturado durante la rumia.

El incremento en el nivel de concentrado en las dietas de engorda es para incrementar la densidad de nutrientes necesarios para aumentar la ganancia de peso y mejorar la conversión alimenticia de los bovinos. Una pequeña parte de esta dieta debe ser un forraje, el cual es necesario para mantener la rumia y la producción de saliva para mantener el pH del rumen adecuado. Un pH ruminal de 5.5 indica acidosis. La acidosis se puede controlar con manejo nutricional, como nivel de fibra en la dieta adecuado, alimentación constante, se recomienda servir alimento dos veces al día y siempre en las mismas horas. El uso de aditivos como el bicarbonato de sodio y ionoforos (monensina, lasalosisa, etc.) también puede contribuir a mantener el pH ruminal adecuado. En este caso el forraje se incluye en la dieta para mantener la rumia y la producción de saliva necesaria para mantener el pH ruminal adecuado, es decir el forraje se usa por su función y no se usa para aportar nutrientes.

El animal consume alimento hasta llenar el rumen. La velocidad de paso del alimento actúa en forma conjunta. Alimentos con mayor velocidad de paso provocan mayor consumo, pues vacían el rumen más rápido. Alimentos con partículas pequeñas y densas tienen mayor velocidad de paso que alimentos con partículas grandes y voluminosas. Forrajes más digestibles y con tamaño más pequeño de partícula pasan más rápido en rumen y en base al llenado de rumen pueden aumentar el consumo de alimento, lo cual es bueno en la engorda de ganado, siempre y cuando el pH del rumen esté en condiciones apropiadas. Forrajes con tamaño de partícula muy pequeño pierden su función de estimular la rumia y producción de saliva que contribuye a amortiguar el pH ruminal. Cuando el forraje pierde esta función el rumen presenta características no aptas para la eficiente producción de los bovinos en engorda.

Algunas consideraciones de forraje en dietas de engorda de ganado en corral

En la engorda de ganado se usan 2 métodos de adaptación a las dietas de finalizado. El primero consiste en usar varias dietas de transición, donde la dieta inicial contiene 41.7% de forraje (base seca). Luego se suministran 4 dietas de transición de 6 días cada una, en esos periodos el forraje se disminuye de modo proporcional hasta alcanzar la dieta de finalizado. El otro método podría ser más práctico, la dieta inicial contiene 38.8% de forraje, esta dieta se mezcla con la dieta de finalizado incrementada de forma gradual hasta que solo queda la dieta de finalizado, esto se puede hacer en 3 etapas de 9 días cada una (Samuelson et al., 2016).

El heno de alfalfa es la fuente más común de forraje en el recibimiento del ganado, en menor escala se usa la cáscara de semilla de algodón, ensilaje de maíz y

rastrojo de maíz. Mientras que en las dietas de finalizado, el ensilaje de maíz es la principal fuente de forraje, también se usa el rastrojo de maíz. En menor escala se usa alfalfa, ensilaje de trigo y paja de trigo. Otras fuentes de forraje incluyen ensilaje de sorgo y pasto sudán. Mientras que las dietas de inicio contienen 30% o más de forraje, las dietas de finalizado comúnmente contienen 8 a 10% de forraje. El picado es la forma más común de procesamiento del forraje a tamaño de partícula de 5 a 10 cm. La forma más común de análisis del forraje es FDN y FDA y se consideran en la formulación de las dietas (Samuelson et al., 2016).

Niveles entre 10 y 20% de forraje en dietas de finalizado podrían no influir grandemente en la digestibilidad de nutrientes, sin embargo, el nivel de 10% presenta mejores valores de energía digestible y niveles más altos de propionato. Además del nivel de forraje, otros factores que influyen en las características digestivas son: el procesamiento de forraje (molido, peletizado, picado); el procesamiento del grano (hojueado al vapor, quebrado, molido, entero); uso de aditivos (alcalinizantes, ionóforos, enzimas); niveles de otros ingredientes de la ración (lípidos, melaza, granos de destilería).

En términos generales, el tamaño de partículas cercanas a 3 cm (2 a 5 cm) podría no tener gran efecto en las características de digestión de las dietas. El picado grueso (mayor a 7 cm) podría no mejorar las características de digestión.

Nivel de forraje en dietas de engorda de ganado

Zinn (1986) reporta similar comportamiento productivo de bovinos en engorda al usar dietas de finalizado con 10, 15 y 20% de heno de alfalfa y el uso de ionóforo no incrementó la producción del ganado en esas dietas. Sin embargo, Hales et al., (2010) encontraron mejor comportamiento productivo en la engorda de bovinos en dietas con 6% de heno de alfalfa con maíz rolado al vapor a densidad de 335 g/L; cuando se comparó contra 10% de heno de alfalfa y 386 g/L de maíz rolado al vapor. Theurer et al., (1999) concluyen que dietas de finalizado con 12% de alfalfa producen mejor conversión alimenticia en novillos que dietas en las cuales se sustituye parcialmente la alfalfa por cascara de semilla de algodón o por paja de trigo; esto se observó cuando las dietas incluyen grano de sorgo procesado al vapor. En otro estudio (Zinn et al., 1994) encontraron mejor ganancia de peso y eficiencia alimenticia en dietas con 10% de forraje en comparación con 20% de forraje (1/4 alfalfa; 3/4 sudán), debido a la mayor digestibilidad de nutrientes; además, 10% de forraje causó pH menor que el 20% de forraje (5.73 vs 5.94). En este estudio el uso de ionóforo no mostró efecto en el comportamiento productivo del ganado. También, Calderon-Cortes y Zinn (1996) en ganado de carne alimentado con dietas altas en concentrado, reportan mejor ganancia de peso y conversión

alimenticia en dietas con 8% de forraje (heno de pasto sudán) en comparación con 16% de forraje, esto fue debido a la mayor digestibilidad de nutrientes. El 8% de forraje causó un pH ruminal menor que el 16% de forraje (5.64 versus 5.88). También reportan que el tamaño de partícula (2.5 vs 7.6 cm) del forraje no influyó en el comportamiento en engorda de los novillos, aunque con pequeño incremento en la digestión de nutrientes en el forraje de 7.6 cm.

De estos estudios se observa que niveles cercanos a 10% de forraje es adecuado en las dietas de finalizado de bovinos. Lo cual está de acuerdo con otros (Vasconcelos y Galyean, 2007; Samuelson et al., 2016). Sin embargo, el nivel óptimo de forraje dependerá de las características de la dieta y del procesamiento de los ingredientes que la forman. También se ha demostrado que se pueden usar niveles mayores de forraje y mantener la producción aceptable del ganado en engorda. Zinn y Plascencia (1996) demostraron que una dieta con 30% de heno de alfalfa puede generar una ganancia de peso y eficiencia alimenticia en novillos de engorda similar a una dieta con 10% de heno de alfalfa, siempre y cuando en la dieta con 30% de forraje se incremente el valor energético de la dieta con grasa (6% con base en materia seca). El uso de grasa permite incrementar el valor energético de dietas con niveles altos de forraje sin detrimento en la producción de los bovinos de engorda. Por otra parte, también es posible usar niveles bajos de forraje, aunque no siempre es necesario. En el estudio de May et al., (2011) se utilizó 7.5, 10.0 o 12.5% de heno de alfalfa en la dieta. La mejor respuesta productiva del ganado en engorda se observó en la dieta con 7.5% de forraje. Esto se debió a que se incluyó en las dietas granos de destilería, los cuales tienen bajo contenido de carbohidratos de fácil fermentación, así como alto contenido de lípidos. El bajo contenido de almidón el cual genera menor cantidad de ácido en rumen, con menor probabilidad de acidosis.

Gorocica-Buenfil y Loerch (2005) en engorda de ganado, observaron que la reducción del forraje en la dieta (18.2 versus 5.2% ensilaje de maíz en base seca) no mejoró la ganancia de peso o la conversión alimenticia cuando se incluyó grano de maíz con diferente procesamiento (quebrado versus entero). Similarmente, Engel et al., (2014) utilizaron dietas para novillos de finalizado con 13.5, 15.5, 25 y 31.5% de forraje y grano de maíz con diferente procesamiento (molido, rolado seco y entero); sus resultados muestran que el maíz procesado (molido y rolado seco) rindió mejor eficiencia productiva que el maíz entero solamente cuando los novillos recibieron 25 y 31.5% de forraje. Turgeon et al., (2010) en su investigación concluyen que la inclusión de una parte de maíz entero (7.5 a 15% en base seca) en dietas sin forraje pueden disminuir la ganancia de peso y el consumo de alimento, pero mejoran la eficiencia alimenticia. También puntualizan que esto mejora la energía de la dieta y

el costo, ya que los forrajes son más costosos por unidad de energía en comparación con el grano y además elimina el forraje que es más voluminoso y difícil de manejar.

De estos estudios (Gorocica-Buenfil y Loerch, 2005; Engel et al., 2014; Turgeon et al., 2010) se observa que dietas con niveles altos de forraje (mayores a 20%) requieren que el grano esté procesado (molido, quebrado, rolado seco o al vapor), para mejorar la eficiencia productiva del ganado en engorda. Pero dietas con niveles bajos de forraje (menores a 15%) la inclusión parcial de grano entero de maíz pueden mejorar la eficiencia alimenticia.

Algunos aspectos de alimentación del ganado de carne en corral en los Estados Unidos, según Wagner et al., (2014) muestran que aproximadamente de 60 a 70% de la dieta de finalizado es grano, principalmente grano de maíz, aunque también se usan granos de trigo, sorgo y cebada pero con menor frecuencia. El forraje conforma entre 15 y 25% de la dieta.

Los principales forrajes son ensilajes de maíz, sorgo o trigo; también se usa heno de alfalfa o de trigo. Recientemente se incluye rastrojo de maíz, paja de trigo y otros residuos agrícolas. Los forrajes se usan para mantener la funcionalidad y salud del rumen. Considerando que los forrajes son de alto costo por unidad de nutriente, además el costo se incrementa por el transporte (por su volumen) y por el procesamiento. Los forrajes sin procesar se usan solo al recibir los animales, pero posteriormente se usan procesados para facilitar su mezclado en las dietas. Por lo general se muelen en molino con criba de 5 cm o menores (2.5 cm). No se usa el molido fino ni muy grande. Una dieta típica de finalizado contiene 8 a 12% forraje, 5% de suplemento (minerales, aditivos, vitaminas y urea), 80 a 87% granos de cereales, más subproductos como los granos de destilería, también es común usar 3% grasa amarilla o sebo de res.

Las dietas de inicio, según Wagner et al., (2014) contienen 30 a 35% de forraje (base seca), también se incluye alto porcentaje de subproductos de etanol (DDGS). Para reducir los problemas de acidosis se usa grano de cereal en la menor cantidad posible en las dietas de inicio. Los novillos usualmente están pocos días (5 días) en la dieta de inicio, pero los terneros pueden permanecer más tiempo (hasta 30 días). En forma progresiva se va adaptando al ganado a las dietas con mayor densidad energética (dieta de finalizado). Los novillos se adaptan progresivamente (15 a 20 días) a las dietas de finalizado con las cuales se alimentan hasta que alcanzan el peso al sacrificio (140 a 180 días). Con terneros la adaptación es más lenta (de 2 a 3 meses) para permitir su crecimiento y se les ofrece una dieta con menos posibilidad de causar problema asociados a la acidosis ruminal. Los terneros productores de carne pueden durar en el corral de engorda hasta 240 días, mientras que los de raza Holstein pueden durar en el corral hasta 300 días o más.

Comúnmente a los animales se les sirve alimento en el corral dos o tres veces por día. Con el fin de que el alimento se exponga al ambiente por menos tiempo, no se calienta, además de reducir la selectividad en los animales. El manejo adecuado del comedero permite el consumo homogéneo del alimento, con menor incidencia de trastornos digestivos y mejor eficiencia productiva del ganado en engorda. Aunque el consumo es de libre acceso, sin embargo, la lectura del comedero permite ajustar el alimento ofrecido por día para que sea consumido totalmente, de tal forma que cada día el animal consume alimento del día (fresco). Cuando se sirve el alimento se debe observar que no haya consumo voraz y los animales deben estar tranquilos. De esta forma hay consumo estable y sin selectividad de alimento.

La dieta debe estar bien hecha, es decir adecuadamente procesada (en cantidades, procesamiento y mezclado) y servida en horarios uniformes y con lectura de comedero. También se requiere espacios adecuados. Novillos de finalizado alimentado con dietas altas en grano requieren 20 a 25 cm de comedero por cabeza, pero becerros recién destetados que se alimentan con una ración alta en forraje requieren de 45 a 60 cm de comedero (Wagner et al., 2014). Por su parte, Samuelson et al., (2016) mencionan que el espacio de comedero de 30.3 cm es para ganado de inicio y 21.6 cm para ganado en finalizado.

Enfoque actual en manejo estratégico de forrajes en dietas de engorda de ganado en corral

Los forrajes no compiten en costo por unidad de nutriente (energía, proteína, minerales) con otros alimentos como granos de cereales, pastas oleaginosas o suplementos minerales. Sin embargo, en la formulación de dietas para ganado en engorda los forrajes son necesarios, al menos en pequeñas proporciones, por su función para mantener el equilibrio ruminal.

El término “fibra efectiva” se refiere a la propiedad del forraje para estimular el proceso de rumia, con el masticado del alimento por segunda vez después de ingerido, con la resultante producción de saliva y tragado del alimento. Ingredientes con bajo nivel de fibra reducen el tiempo de rumia, la producción de saliva y el pH ruminal. La función del forraje se debe a la fibra, la cual es necesaria para mantener la rumia, producción de saliva y equilibrio ruminal.

Inicialmente el contenido de fibra se determinó por el método de fibra cruda en el análisis proximal y corresponde a la fracción del alimento que no se digiere o que es difícil digerir en el tubo digestivo de animales no rumiantes. La fibra cruda corresponde a las componentes de pared celular vegetal: celulosa, hemicelulosa y lignina. Los últimos dos componentes no se determinan por completo en este método de análisis. Con frecuencia se usa el método de análisis

que utiliza detergentes. Una determinación en laboratorio se denomina fibra detergente neutro (FDN), que usa un detergente de pH neutro. Este método es más exacto para determinar los componentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina). El contenido de FDN en los forrajes corresponde a la fibra efectiva, es decir aquella que estimula la rumia, producción de saliva y equilibrio ruminal. En forma conjunta con el contenido de FDN para que la fibra sea efectiva se requiere que el tamaño de partícula del forraje sea adecuado (de 2.5 a 5 cm). Forrajes con alto contenido de FDN pierden su función o efectividad como forraje cuando son molidos a tamaño de partícula fino o con el peletizado, ya que en estos casos no se estimula la rumia para mantener el equilibrio ruminal.

Pajas de arroz y trigo tienen alto contenido de FDN; pero cuando se peletizan y se incluyen en dietas de finalizado han reducido el pH del rumen causando acidosis subaguda (Ware and Zinn, 2005; Salinas-Chavira et al., 2013; Manriquez et al., 2016), lo cual se ha reflejado en disminución del consumo de alimento y ganancia de peso del ganado en engorda (Ware and Zinn, 2005; Salinas-Chavira et al., 2013). El forraje peletizado en dietas de engorda de ganado reduce el tiempo de rumia y se incrementa la velocidad de paso en rumen, con menor tiempo para digestión microbiana, lo cual resulta en disminución de la digestión de la pared celular del forraje. Adicionalmente al disminuir el pH ruminal también se reduce el número de bacterias que degradan fibra (celulolíticas).

Se requiere un mínimo de FDN del forraje para que sea efectiva su función como forraje, además de tener un tamaño de partícula adecuado. Cuando se satisface el mínimo de FDN de forraje en las dietas de engorda, se asegura el equilibrio ruminal para máxima producción del ganado en engorda. Por el contrario, el alto nivel de FDN del forraje reduce el consumo de energía y tiene efecto contraproducente en el rendimiento productivo del ganado en engorda. Esto se observa cuando se satura la capacidad del rumen para digerir alto contenido de FDN del forraje. El rumen se llena con fibra del forraje y deja poco espacio para los concentrados. No hay problema digestivo o de salud; la rumia y equilibrio ruminal son correctos, simplemente no hay suficiente consumo de energía y otros nutrientes para promover mayor eficiencia en la producción del ganado en corral de engorda, pues el espacio ruminal se llena de fibra y se digiere con lentitud. La cantidad y la relación de los componentes de la pared celular o fibra detergente neutro (celulosa, hemicelulosa y lignina) influye en el valor del forraje para promover eficiente producción animal, esto es influenciado por el tipo de forraje (gramíneas versus leguminosas), procesamiento (ensilaje, heno, paja, molido, peletizado), estado de madurez (inicio de crecimiento, floración, maduro) así como la interacción con otros ingredientes que forman la dieta (subproductos agroindustriales, aditivos

como ionóforos y alcalinizantes). Estas consideraciones son una compleja fórmula que integra las características de los forrajes con la función digestiva (principalmente de rumen) del ganado en engorda. Esta compleja ecuación en realidad es sencilla y permite el uso estratégico de forrajes en dietas para bovinos engordados en corral. Forrajes de diverso valor nutritivo pueden generar similar producción del ganado en engorda cuando las dietas se formulan con base en la funcionalidad, es decir con base en la FDN del forraje (Galvayan y Defoor, 2003). En un estudio (Salinas Chavira et al., 2013) se usó heno de alfalfa, heno de pasto sudán y paja de arroz en dietas formuladas con similar contenido de FDN del forraje. Se observó que a pesar de la marcada diferencia en calidad nutritiva entre forrajes, la producción del ganado fue similar entre forrajes; adicionalmente, cuando las dietas se formularon entre 4 y 8% de FDN del forraje, la ganancia de peso no se afecta y la eficiencia alimenticia solamente es 2% mejor en la dieta con 4% de FDN del forraje. También Swanson et al., (2017) reportaron similar comportamiento productivo de novillos engordados en corral en dietas con diferentes forrajes (heno de alfalfa, ensilaje de maíz, paja de trigo y rastrojo de maíz). La alfalfa se usó en la dieta a 10% base seca, y los otros forrajes se incluyeron al mismo nivel de FDN aportada por la alfalfa. El análisis reportó contenido de FDN para heno de alfalfa, ensilaje de maíz, paja de trigo y rastrojo de maíz de 60.2, 43.2, 73.0 y 61.8 % base seca, respectivamente. La dieta con 10% alfalfa contenía 6.02 de FDN de forraje $[(10 \times 60.2) / 100]$. Sabiendo que el ensilaje de maíz contiene 43.2% de FDN, la pregunta es ¿cuánto ensilaje de maíz se requiere para aportar similar concentración de FDN a 10% de alfalfa? En este caso 10% de alfalfa aporta 6.02% FDN, la respuesta es que se requiere 13.9% ensilaje de maíz para aportar 6.02 de FDN, se obtiene de $[(10 \times 60.2) / 43.2]$. De esta forma 10% alfalfa equivalen a 13.9% ensilaje de maíz, 8.2% paja de trigo y 9.7% de rastrojo de maíz; en estos casos aportan 6% de FDN base seca.

Para uso estratégico de forrajes en dietas para bovinos engordados en corral, se desprende que todos los forrajes se pueden usar en estas dietas. Forrajes de excelente valor nutritivo como heno de alfalfa y ensilaje de maíz cuando se incluyen en dietas de finalizado a 6% de FDN de forraje pueden rendir similar comportamiento productivo del ganado en engorda que forrajes de menor valor nutritivo como heno de pasto sudán y rastrojo de maíz, e inclusive que forrajes de pobre valor nutritivo como pajas de trigo y arroz. En la mayoría de las condiciones de engorda de ganado en corral se puede formular las dietas con 6% de FDN de forraje para óptimo desempeño productivo. Por el contrario, Zinn (2010) expone que dietas con más de 9% de FDN del forraje pueden causar llenado del rumen con alimentos fibrosos, limitando el consumo de energía, lo cual se refleja en menor ganancia de peso y eficiencia alimenticia del ganado en engorda.

Dietas de finalizado formuladas con 6% de FDN de forraje (base seca) pueden producir igual comportamiento productivo del ganado en engorda con forrajes de diferente valor nutritivo (heno de alfalfa, ensilaje de maíz, pasto sudán, rastrojo de maíz, pajas de trigo y arroz, etc.). El forraje se utiliza por su función para mantener el equilibrio ruminal, entonces la dieta se formula por el nivel de FDN del forraje y no por nivel de forraje. Al cubrir los requerimientos de nutrientes del ganado como proteína, energía, minerales y nivel cercano a 6% de FDN (base seca) de cualquier forraje disponible, entonces la dieta que se use será la más económica. El cultivo de forrajes de alto rendimiento por hectárea como maíz, sorgo o pasto sudán, entre otros, puede ser una alternativa para producir forrajes a costo competitivo. También se puede considerar el uso de esquilmos agrícolas como rastrojo de maíz o sorgo (soca de sorgo) entre otros, siempre y cuando la dieta formulada sea competitiva en costo. Forrajes de alto valor nutritivo como heno de alfalfa se recomiendan en el inicio de los animales en el corral de engorda, posteriormente su uso en dietas de finalizado dependerá del costo de éstas dietas.

Lista de referencias

- Calderon-Cortes, J. F., & Zinn, R. A. (1996). Influence of dietary forage level and forage coarseness of grind on growth performance and digestive function in feedlot steers. *Journal of Animal Science*, 74(10), 2310-2316.
- Chibisa, G. E., Beauchemin, K. A., & Penner, G. B. (2016). Relative contribution of ruminal buffering systems to pH regulation in feedlot cattle fed either low-or high-forage diets. *Animal*, 10(7), 1164-1172.
- Engel, C. L., Anderson, V. L., & Schauer, C. S. (2014). Effects of corn particle size and forage level on performance and carcass traits of yearling steers during finishing. 2014 *North Dakota Beef Report*, 22.
- Galyean, M. L., & Defoor, P. J. (2003). Effects of roughage source and level on intake by feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 81(14_suppl_2), E8-E16.
- Gorocica-Buenfil, M. A., & Loerch, S. C. (2005). Effect of cattle age, forage level, and corn processing on diet digestibility and feedlot performance. *Journal of Animal Science*, 83(3), 705-714.
- Hales, K. E., McMeniman, J. P., Leibovich, J., Vasconcelos, J. T., Quinn, M. J., May, M. L., ... & Galyean, M. L. (2010). Effects of varying bulk densities of steam-flaked corn and dietary roughage concentration on in vitro fermentation, performance, carcass quality, and acid-base balance measurements in finishing steers. *Journal of Animal Science*, 88(3), 1135-1147.
- Manríquez, O. M., Montano, M. F., Calderon, J. F., Valdez, J. A., Chirino, J. O., Gonzalez, V. M., ... & Zinn, R. A. (2016). Influence of Wheat Straw Pelletizing and Inclusion Rate in Dry Rolled or Steam-flaked Corn-based Finishing Diets on Characteristics of Digestion for Feedlot Cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29(6), 823.
- May, M. L., Quinn, M. J., DiLorenzo, N., Smith, D. R., & Galyean, M. L. (2011). Effects of roughage concentration in steam-flaked corn-based diets containing wet distillers grains with solubles on feedlot cattle performance, carcass characteristics, and in vitro fermentation. *Journal of Animal Science*, 89(2), 549-559.
- Salinas Chavira, J., Yado Puente, R., y Lerma Doria, E.C. 1996. *Nutrición Animal Básica*. Departamento de Fomento Editorial, Universidad Autonoma de Tamaulipas. Cd. Victoria, Tamaulipas. 189 p.
- Salinas-Chavira, J., Alvarez, E., Montañó, M. F., & Zinn, R. A. (2013). Influence of forage NDF level, source and pelletizing on growth performance, dietary energetics, and characteristics of digestive function for feedlot cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 183(3), 106-115.
- Samuelson, K. L., Hubbert, M. E., Galyean, M. L., & Löest, C. A. (2016). Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: The 2015

- New Mexico State and Texas Tech University survey. *Journal of Animal Science*, 94(6), 2648-2663.
- Swanson, K. C., Carlson, Z. E., Ruch, M. C., Gilbery, T. C., Underdahl, S. R., Keomanivong, F. E., ... & Islas, A. (2017). Influence of forage source and forage inclusion level on growth performance, feeding behavior, and carcass characteristics in finishing steers. *Journal of Animal Science*, 95(3), 1325-1334.
- Theurer, C. B., Swingle, R. S., Wanderley, R. C., Kattnig, R. M., Urias, A., & Ghenniwa, G. (1999). Sorghum grain flake density and source of roughage in feedlot cattle diets. *Journal of Animal Science*, 77(5), 1066-1073.
- Turgeon, O. A., Szasz, J. I., Koers, W. C., Davis, M. S., & Vander Pol, K. J. (2010). Manipulating grain processing method and roughage level to improve feed efficiency in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 88(1), 284-295.
- Vasconcelos, J. T., & Galvyan, M. L. (2007). Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: The 2007 Texas Tech University survey. *Journal of Animal Science*, 85(10), 2772-2781.
- Wagner, J. J., Archibeque, S. L., & Feuz, D. M. (2014). The modern feedlot for finishing cattle. *Annu. Rev. Anim. Biosci*, 2(1), 535-554.
- Ware, R. A., & Zinn, R. A. (2005). Effect of pelletizing on the feeding value of rice straw in steam-flaked corn growing-finishing diets for feedlot cattle. *Animal Feed Science and Technology*, 123, 631-642.
- Zinn, R. A. (1986). Influence of forage level on response of feedlot steers to salinomycin supplementation. *Journal of Animal Science*, 63(6), 2005-2012.
- Zinn, R. A., Plascencia, A., & Barajas, R. (1994). Interaction of forage level and monensin in diets for feedlot cattle on growth performance and digestive function. *Journal of Animal Science*, 72(9), 2209-2215.
- Zinn, R. A., & Plascencia, A. (1996). Effects of forage level on the comparative feeding value of supplemental fat in growing-finishing diets for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 74(6), 1194-1201.
- Zinn, R. A. (2010). 'Calidad del forraje: limitaciones digestivas y su relación con la producción en bovinos de carne y leche'. Conferencia magistral. XX Reunión Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos, 7 y 8 octubre, 2010. Mexicali, BC, México. Páginas 1-14.

CAPÍTULO 10

Formulación estratégica de dietas para borregos de engorda en corral

Jaime Salinas-Chavira^{27*}

Eduardo Arcadio González-Valenzuela²⁸

Teresa Soto-Varela²⁹

Claudio Arzola Alvarez³⁰

Julio Hinojosa-Hinojosa³¹

Introducción

Los borregos se engordan en corral para reducir el tiempo de sacrificio, así como para mejorar las características de la canal y de la carne. La engorda de borregos en corral debe manejarse eficientemente para que rinda beneficios económicos adecuados. En la empresa de engorda de borregos en corral intervienen dos factores: 1) factores relacionados con los animales; 2) factores relacionados con la administración y mercado. En los factores relacionados con los borregos se consideran el manejo sanitario, de nutrición y alimentación. En los factores relacionados con la administración y mercado se consideran las instalaciones y equipos requeridos, compra de insumos, compra venta de animales, aspectos administrativos y contables. Todos los aspectos deben ser considerados.

La alimentación es el mayor costo de producción de borregos en engorda. Este costo es aproximadamente el 75% del costo total. El restante 25% es para compra de animales, compra de medicamentos, amortización de instalaciones y equipos, pago

²⁷ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Carretera Victoria-Mante Km 5. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. CP 87000.

*Autor para correspondencia: jsalinas@uat.edu.mx

²⁸ *Ibidem*

²⁹ *Ibidem*

³⁰ Facultad de Zootecnia y Ecología. Universidad Autónoma de Chihuahua, Periférico Francisco R. Almada Km. 1. Chihuahua, Chih., México.

³¹ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Tamaulipas. Carretera Victoria-Mante Km 5. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. CP 87000

de servicios y salarios, así como otros gastos. Usualmente los alimentos balanceados expendidos comercialmente rinden un buen comportamiento en engorda de borregos ya que tienen excelente valor nutritivo; son formulados por expertos y se procesan con equipos de alta tecnología, aunque su costo podría ser alto. Esta es la mejor opción para alimentar pocos animales, donde no se justifica comprar maquinarias y equipos para su fabricación. Pero, cuando el número de animales es mediano y alto, se justifica la formulación y elaboración de alimento para borregos en la propia finca.

El productor de borregos al elaborar el alimento que utiliza mejora la ganancia económica en su granja. Se puede formular una dieta de menor costo y similar calidad nutricional en comparación al alimento comercial. Para este efecto se requiere de equipo, que puede ser básico como molino y mezclador, además de espacio de bodega.

Con esto se puede iniciar en pequeñas explotaciones. En explotaciones de borregos más grandes además de equipo básico se incluye equipo más sofisticado, con mayor capacidad de proceso de alimento por día. Equipos sofisticados son roladoras de granos al vapor, maquinas peletizadoras, bandas y gusanos transportadores de alimentos, basculas electrónica, entre otros.

Una ración balanceada tiene los nutrientes en la cantidad necesaria para nutrir adecuadamente al animal acorde a su estado de producción. Una ración para borregos de engorda debe tener la cantidad de proteína, energía, fibra, minerales y vitaminas que los animales necesitan para máxima eficiencia de producción. Animales alimentados con dietas pobres o deficientes en nutrientes no pueden tener máxima producción, pues no hay nutrientes para el crecimiento de tejidos. En forma diferente, el consumo de dietas con exceso de nutrientes no va a producir más de lo que soporta el potencial de crecimiento (genético) del animal, ya que el exceso de nutrientes se excreta en heces y orina. Dado que los nutrientes tienen un costo económico, por lo cual la dieta se debe formular para maximizar el uso por el animal de los nutrientes que posee. Una dieta mal formulada no practica una inteligente utilización de los recursos alimenticios.

En la formulación de dietas para borregos de engorda se deben considerar ingredientes disponibles en la región, así como ingredientes no convencionales los que son de menor costo y que incluyen subproductos como granos secos de destilería (DDGS), pulido de arroz, melaza, desechos de panadería y galletas, subproductos de cítricos (pulpa o cascara), entre otros.

Este escrito tiene como objetivo exponer la formulación estratégica de dietas para borregos de engorda en corral, para estimular al lector a formular dietas adecuadas para este fin productivo y que pueda mejorar sus ingresos económicos.

Conceptos generales de formulación de dietas para borregos de engorda

Formular una dieta para borregos de engorda es muy sencillo. Lo primero es establecer los requerimientos nutricionales de los animales, de acuerdo a las tablas de la NRC (2007) para pequeños rumiantes. Los requerimientos de nutrientes para los borregos se establecen considerando el peso vivo y la ganancia esperada. Enseguida se establecen los ingredientes disponibles para formular la ración. De estos ingredientes se establece su composición de nutrientes que se puede consultar en las tablas referidas; también se pueden obtener por análisis de laboratorio. Se debe incluir el costo de cada ingrediente. Un resumen de la información necesaria para formular se muestra a continuación.

Factores a considerar para formular una ración para borregos en engorda

1. Información de requerimientos nutricionales

» Se obtienen de tablas (NRC); se considera proteína, energía, etc.

» Se establecen en base a:

- Peso vivo
- Estado producción (ganancia de peso)
- Ambiente (factor clima)
- Uso de estimulantes de crecimiento y aditivos (ionoforos, implantes, prebióticos, antioxidantes, beta agonistas, etc)

2. Información de los ingredientes

- Disponibilidad
- Composición (de tablas o de análisis de laboratorio)
- Procesamiento (molido, peletizado, etc.)
- Costo

3. Información de restricciones o limitantes de inclusión en la dieta

• Se establecen niveles máximos de ingredientes en las dietas como urea, grasa, subproductos, etc. También se establecen niveles mínimos de ingredientes en las dietas como forraje, melaza, etc.

• Se establecen los niveles mínimos de nutrientes como proteína y energía.

También se puede establecer nivel máximo como fibra detergente neutro.

4. Con esta información se formula una dieta utilizando cualquier método ya sea el cuadrado de Pearson, o un programa de computadora.

5. Se procede a la elaboración del alimento final.

6. Se alimenta a los animales. Es recomendable llevar registro de peso de los animales y del alimento consumido, entre otros registros.

7. En la fase de análisis se compara la información obtenida en campo con los animales para verificar que los parámetros de comportamiento productivo son adecuados.

8. Si la producción obtenida en campo es apropiada, se puede continuar con la misma dieta, en tanto no haya otra propuesta de mejora.

9. Si el rendimiento obtenido no es el correcto, es necesario revisar todo el proceso de manejo de los animales para encontrar la causa. El problema podría no ser la dieta. En caso de que sea la dieta, es válido hacer ajustes y formular una nueva dieta hasta que se obtengan los parámetros productivos esperados.

10. Finalmente la ración óptima permite proyectar compra de insumos y costos de producción, así como estimar los ingresos por venta de animales. Es una proyección que podría cambiar, pero permite de forma general obtener una estimación de lo esperado en la engorda de borregos.

Es sencillo y fácil el método de cálculo para formulación de dietas. Convencionalmente se usa el método de tanteo, el método del cuadrado de Pearson y el método algebraico. Con estos métodos se pueden formular dietas adecuadas en nutrientes, pero no manejan mucha información. Métodos más sofisticados utilizan programas de computadoras que manejan más datos.

En todos los casos se recomienda tener conocimiento básico de nutrición animal para seleccionar los ingredientes con base en su valor nutritivo y a las limitantes que tiene su inclusión en la dieta. Por su disponibilidad y bajo costo, cada vez es mayor el uso de subproductos agroindustriales en las dietas para borregos de engorda.

La mayoría de estos subproductos tienen limitantes de inclusión en las dietas. Se debe conocer estas limitantes para incluirlos en la formulación estratégica de dietas para ovinos de engorda en corral. Urea y grasa son ejemplos de ingredientes que se usan en las dietas de borregos, pero ambos tienen un límite de inclusión, arriba de este límite hay efectos negativos en los animales. De igual forma cada vez se usan más aditivos estimulantes de crecimiento o mejoradores de producción en estas dietas.

Para el uso adecuado, se debe conocer el mecanismo de acción de estos aditivos en el animal, las especificaciones particulares de dosificación y periodos de retiro para que sean seguros, tanto para el animal como para el consumidor.

Alternativas de alimentación

La alimentación de los borregos en engorda presenta tres alternativas:

- Comprar alimento balanceado comercial
- Comprar una base o núcleo
- Formular la dieta completa

Con pocos animales lo más fácil es comprar un alimento balanceado comercial, usualmente son de buena calidad y los animales rinden sin riesgos. La segunda

opción es usar un núcleo base que se mezcla con grano y forraje, con este sencillo método hay ahorro en costo del alimento, el cual es mayor cuando hay grano (sorgo o maíz) a bajo costo. En la formulación de la dieta completa sólo se compra el suplemento mineral y en su caso los aditivos. La dieta se elabora completamente en la propia finca. Es la forma más económica de alimentar los borregos, aunque requiere equipo y conocimientos básicos de alimentación de borregos.

Métodos para formular dietas para borregos de engorda

En general son dos métodos para formular raciones:

1. Método convencional, incluye:

- Tanteo
- Cuadrado de Pearson
- Algebraico

2. Software de computadoras, actualmente hay varios programas de computadoras que se pueden usar para este fin.

El método convencional es efectivo en la formulación de raciones de engorda para borregos, aunque no se puede manejar gran cantidad de información. Se puede aplicar con una calculadora de bolsillo. En forma diferente el método con programas de computadoras es más sofisticado y cuando es bien aplicado es más preciso. Todos los métodos dependen del conocimiento que se tenga en nutrición y alimentación de los borregos de engorda.

Cuadrado de Pearson

Es un método sencillo, fácil de utilizar y aplicado correctamente es una estrategia de gran utilidad en la formulación de raciones para borregos.

La mecánica de solución requiere:

- Determinar el requerimiento de nutrientes de los borregos de engorda
- Seleccionar los ingredientes a utilizar y establecer su contenido de nutrientes

Los métodos de formulación de raciones se basan en lo expuesto por Beneke y Winterboer (1973), Trujillo (1979) y Church et al., (2003).

Ejemplo 1

Vamos a formular una mezcla cuyo contenido total de proteína cruda (PC) sea 16%. Se cuenta con grano de sorgo y harinolina, cuyos respectivos contenidos de proteína cruda (PC) son de 8.6% y 44%.

Solución:

Escriba las características de sus ingredientes:

Sorgo = 8.6
Requerimiento 16%
Harinolina = 44

Reste de manera cruzada sin importar el signo, los valores obtenidos se suman

Sorgo = 8.6	28 (se obtiene de 44 - 16 = 28)
Harinolina = 44	16
	7.4 (se obtiene de 16 - 8.6 = 7.4)
	Suma = 35.4 (se obtiene de 28 + 7.4 = 35.4)

Se calcula el porcentaje de cada ingrediente

<u>Porcentaje</u>			
Sorgo	8.6	28	$(28/35.4) \times 100 = \underline{79.1\% \text{ sorgo}}$
		16	
Harinolina	44	7.4	$(7.4/35.4) \times 100 = \underline{20.9\% \text{ harinolina}}$
		Suma	35.4
			Suma 100.00

Compruebe: que el requerimiento (16% PC) se satisface con el aporte de PC de sorgo y harinolina, se multiplica el contenido de PC por el porcentaje de cada ingrediente y luego se suma, de esta forma:

Aporte de proteína de sorgo $(8.6 \times 79.1)/100 = 6.80$
Aporte de proteína de harinolina $(44 \times 20.9)/100 = \underline{9.20}$
La proteína de sorgo (6.8) + harinolina (9.20) es 16.0%

La mezcla debe contener 79.1% de sorgo y 20.9% de harinolina que aportan 16% de PC. Estos datos son con base en materia seca. Es necesario convertir a base húmeda, que corresponde a base tal como se ofrece. Finalmente estimar el costo de esta mezcla.

El contenido de materia seca se puede consultar en tablas de NRC o bien determinarlo en el laboratorio.

Conversión a base húmeda

Ingredientes	% Dieta base seca	% Materia seca en ingredientes	Conversión a base húmeda	% Base húmeda o tal como se ofrece
Grano de sorgo	79.10	91	86.92	78.91
Harinolina	20.90	90	23.23	21.09
Suma	100	Suma	110.15	100

En grano de sorgo el 86.92 se obtuvo de $79.10/91 \times 100$; en harinolina el 23.23 se obtuvo de $20.90/90 \times 100$. El 110.15 es la suma de $86.92 + 23.23$. En este caso 100 kg de sorgo más harinolina en base seca corresponden a 110.15 kg de sorgo más harinolina con base tal como se ofrece o también llamada base húmeda. Esto significa que el alimento como se ofrece tiene 10.15 kg de agua y 100 kg de materia seca. Casi todos los alimentos que se usan en las dietas para borregos tienen humedad. Alimentos que se ven secos como granos, harinas de oleaginosas y forrajes secos como henos, contienen aproximadamente 90% de materia seca. Pastos en crecimiento pueden contener 15% de materia seca. Los ensilajes contienen aproximadamente 30% de materia seca.

Siempre se debe convertir a base tal como se ofrece (húmeda). En este caso se debe mezclar 78.91 kg de grano de sorgo, obtenido de $[(86.92/110.15) \times 100]$, con 21.09 kg de harinolina, obtenido de $[(23.23/110.15) \times 100]$, para 100 kg de mezcla en base húmeda.

Finalmente se determina el costo por kg de dieta

Ingredientes	% Base húmeda Tal como se ofrece	Costo/kg ingrediente (\$) en el mercado	Costo/kg (\$) dieta
Grano de sorgo	78.91	3.40	2.68
Harinolina	21.09	8.50	1.79
Suma	100	Costo/kg (\$)	4.48

El costo de sorgo en esta dieta es 2.68 y se obtiene de $(78.91 \times 3.40)/100$; el costo de harinolina es 1.79 y se obtiene de $(21.09 \times 8.50)/100$. El costo por kg de esta mezcla de sorgo con harinolina tal como se ofrece es de \$4.48.

Ejemplo 2

Considere que en la mezcla anterior se recomienda adicionar un 3% de una premezcla de minerales, vitaminas y sal. Debemos encontrar la cantidad de sorgo,

harinolina y premezcla de minerales en 100 kg de mezcla. El requerimiento de PC sigue siendo 16%.

Nota: Como regla cuando se incluya una parte fija de un ingrediente en la mezcla final (en este caso la premezcla de minerales y sal) es necesario ajustar el requerimiento en el cuadrado de Pearson. En este caso se debe considerar que la premezcla es 3%, por lo que el sorgo más la harinolina forman 97%, entonces el requerimiento en el cuadrado de Pearson, se determina de la siguiente forma:
 $(16/97) \times 100 = 16.49$

El cuadrado de Pearson se resuelve de esta manera:

Sorgo	8.6	27.51
		16.49
Harinolina	44	<u>7.89</u>
	Suma	35.40

Calcule el porcentaje de cada fracción

			Porcentaje
Sorgo	8.6	27.51	$(27.51/35.40) \times 100 = 77.71\%$ sorgo
		16.49	
Harinolina	44	<u>7.89</u>	$(7.89/35.40) \times 100 = \underline{22.49\%}$ harinolina
	Suma	35.40	Suma 100.00

Es necesario ajustar a 97% de sorgo más harinolina (recordar que el 3% es premezcla de minerales)

Sorgo	$77.71 \times 0.97 = 75.38$
Harinolina	$\underline{22.29} \times 0.97 = \underline{21.62}$
Suma	100.00 Suma 97.00

Compruebe que se satisface el requerimiento con los 3 ingredientes:

Aporte de PC sorgo	$(75.38 \times 8.6)/100 = 6.48$
Aporte de PC harinolina	$(21.62 \times 44)/100 = \underline{9.51}$
Aporte de PC de premezcla	$(3 \times 0)/100 = \underline{0.0}$
	Suma 16.00

La mezcla aporta (16% de PC) y se compone de 75.38% de sorgo, 21.62% de harinolina, y 3% de premezcla, datos en base seca.

Conversión a base húmeda

Ingredientes	% Dieta base seca	% MS ingredientes (NRC o laboratorio)	Conversión a base húmeda	% Base húmeda Tal como se ofrece
Grano de sorgo	75.38	91	82.84	75.34
Harinolina	21.62	90	24.02	21.85
Premezcla	3.00	97	3.09	2.81
Suma	100	Suma	109.95	100

Recordar que el contenido de materia seca se puede consultar en tablas de NRC o bien determinarlo en el laboratorio.

El 82.84 se obtiene de $(75.38/91 \times 100)$; el 24.02 se obtiene de $(21.62/90 \times 100)$;

el 3.09 se obtiene de $(3/97 \times 100)$. El 109.95 es la suma de $82.84 + 24.02 + 3.09$

El 75.34 se obtiene de $(82.84/109.95 \times 100)$; el 21.85 de $(24.02/109.95 \times 100)$ y 2.81 de $(3.09/109.95 \times 100)$

Finalmente se determina el costo por kg de dieta

Ingredientes	% Base húmeda Tal como se ofrece	Costo/kg ingrediente (\$)	Costo/kg (\$) dieta
Grano de sorgo	75.34	3.40	2.56
Harinolina	21.85	8.50	1.86
Premezcla	2.81	11.0	0.31
Suma	100	Costo/kg (\$)	4.73

El costo de sorgo es 2.56 y se obtiene de $(75.34 \times 3.40)/100$; el costo de harinolina es 1.86 y se obtiene de $(21.85 \times 8.50)/100$. El costo de premezcla es 0.31 y se obtiene de $(2.81 \times 11)/100$. El costo por kg de esta mezcla de sorgo con harinolina y premezcla tal como se ofrece es de \$4.73.

Ejemplo 3

Ahora que ya conocemos la mecánica de cálculo con el cuadrado de Pearson, procedamos a formular una ración practica para borregos de engorda.

Vamos a formular una dieta cuyo requerimiento es 16% de PC. Se va a incluir una premezcla de minerales a 2% de la dieta. También se incluye 12% de forraje como soca de sorgo.

El contenido de PC de cada ingrediente se puede consultar en tablas de NRC o bien mediante un análisis de laboratorio. El requerimiento de proteína se obtiene de tablas (NRC, 2007).

Algunos ajustes a los requerimientos se obtienen de reportes de investigación en revistas científicas y también de la experiencia acumulada.

Las raciones para borregos de engorda pueden incluir de 8 a 16% de forrajes para mantener el equilibrio ruminal. En este caso se fija el nivel en 12% de la dieta.

La dieta cuenta con 2% de premezcla y 12% de soca de sorgo como forraje, para un total de 14% (12+2). El restante 86% será de grano de sorgo + harina de soya.

Se forma la siguiente tabla

Ingredientes	Contenido de % PC	% de la dieta (BS)
Grano de sorgo	10.3	Ingrediente "X"
Harina de soya	46	Ingrediente "Y"
Premezcla de minerales	0	2
Soca de sorgo	5	12
	Suma	14 de (12+2)
	Requerimiento	100
	Diferencia	86 de (100-14)

Como se incluyen ingredientes fijos (premezcla + soca) en 86%; entonces es necesario considerar en aporte de proteína de estos ingredientes. La premezcla aporta 0% PC (pues no contiene PC), pero la soca de sorgo aporta 0.6% PC, se obtiene de: $[(5 \times 12)/100]$. La soca de sorgo contiene 5% PC y forma 12% de la ración.

En esta Tabla se muestra el aporte de PC de los ingredientes fijos

Ingredientes	Contenido de % PC	% de la ración (BS)	Aporte de PC en la dieta
Grano de sorgo	10.3	X	Por determinar
Harina de soya	46	Y	Por determinar
Premezcla de minerales	0	2	0
Soca de sorgo	5	12	0.6

Ingredientes	Contenido de % PC	% de la ración (BS)	Aporte de PC en la dieta
	Suma	14 (de 12+2)	0.6 (de 0+0.6)
	Requerimiento	100	16
	Diferencia	86 (de 100-14)	15.4 (de 16-0.6)

El requerimiento en el cuadrado de Pearson, se determina de la siguiente forma:
 $(15.4/86) \times 100 = 17.91$

El cuadrado de Pearson se resuelve de esta manera:

Sorgo	10.3	28.09
		17.91
Soya	46	<u>7.61</u>
	Suma	35.70

Se calcula el porcentaje de cada fracción

			Porcentaje
Sorgo	10.3	28.09	$(28.09/35.70) \times 100 = 78.69\%$ sorgo
		17.91	
Soya	46	<u>7.61</u>	$(7.61/35.70) \times 100 = \underline{21.31\%}$ soya
	Suma	35.70	Suma 100.00

Es necesario ajustar a 86% de sorgo más soya (2% es premezcla y 12% es soca)

Sorgo	$78.69 \times 0.86 = 67.68$
Soya	$\underline{21.31} \times 0.86 = \underline{18.32}$
Suma	100.00 Suma 86.00

Compruebe: que se satisface el requerimiento con los 4 ingredientes:

Aporte de PC sorgo	$(67.68 \times 10.3)/100 = 6.97$
Aporte de PC soya	$(18.32 \times 46)/100 = 8.43$
Aporte de PC de premezcla	$(2 \times 0)/100 = 0.0$
Aporte de PC de soca de sorgo	$(5 \times 12)/100 = \underline{0.6}$
	Suma 16.00

La mezcla aporta (16% de PC) y se compone de 67.68% de sorgo, 18.32% de harina de soya, 2% de premezcla y 12% soca de sorgo (base seca).

En esta tabla se muestra la dieta de engorda de borregos en base seca

Ingredientes	Contenido de % PC	% de la ración (BS)	Aporte de PC
Grano de sorgo	10.3	67.68	6.97
Harina de soya	46	18.32	8.43
Premezcla de minerales	0	2	0
Soca de sorgo	5	12	0.6
	Suma	100.00	16.00
	Requerimiento	100.00	16.00
	Observación	Cubierto	Cubierto

En esta tabla se muestra la dieta en base tal como se ofrece (base húmeda)

Ingredientes	% de la ración (BS)	% MS ingredientes (NRC)	Conversión a base húmeda	% BH o tal como se ofrece
Grano de sorgo	67.68	91	74.37	67.44
Harina de soya	18.32	90	20.36	18.46
Premezcla de minerales	2	97	2.06	1.87
Soca de sorgo	12	89	13.48	12.23
Suma	100.00	Suma	110.27	100

Finalmente se determina el costo por kg de dieta

Ingredientes	% base húmeda Tal como se ofrece	Costo/kg ingrediente (\$)	Costo/kg (\$) dieta
Grano de sorgo	67.44	3.40	2.29
Harina de soya	18.46	12.60	2.33
Premezcla de minerales	1.87	11.00	0.21
Soca de sorgo	12.23	1.50	0.18
Suma	100	Costo/kg (\$)	5.01

La dieta en base tal como se ofrece se forma por 67.44% sorgo, 18.46% soya, 1.87% premezcla mineral y 12.23% de soca o paja de sorgo; el costo por kg de esta dieta es \$5.01.

Ejemplo 4

Ahora procedamos a formular una ración práctica para borregos de engorda con inclusión de urea, la cual es de bajo costo, pero su inclusión en la dieta en alto nivel es toxica. El nivel máximo comúnmente utilizado es 1% de la dieta (base seca). Para este caso vamos a utilizar el 0.6% de la dieta como urea.

Vamos a formular una dieta cuyo requerimiento es 16% de PC. Se va a incluir una premezcla de minerales a 2% de la dieta. Se incluye 12% de forraje como soca de sorgo. La urea se incluye a 0.6% de la dieta.

El contenido de PC de urea es 282%

Se forma una tabla como ésta:

Ingredientes	Contenido de % PC	% de la dieta
Grano de sorgo	10.3	Ingrediente "x"
Harina de soya	46	Ingrediente "y"
Premezcla de minerales	0	2
Soca de sorgo	5	12
Urea	282	0.6
	Suma	14.6 (de 12+2+0.6)
	Requerimiento	100
	Diferencia	85.4 (de 100-14.6)

Como se incluyen ingredientes fijos (premezcla + soca + urea) en 85.4%; entonces es necesario considerar en aporte de proteína de estos ingredientes. La premezcla aporta 0% PC (pues no contiene PC), la soca de sorgo aporta 0.6% PC, se obtiene de: $[(5 \times 12)/100]$. La soca de sorgo contiene 5% PC y forma 12% de la ración. La urea aporta 1.69% PC (base seca), se obtiene de: $[(0.6 \times 282)/100]$. La urea contiene 282% PC y forma 0.6% de la ración.

En esta tabla se muestra el aporte de PC de los ingredientes fijos

Ingredientes	Contenido de % PC	% de la ración	Aporte de PC en la dieta
Grano de sorgo	10.3	X	Por determinar
Harina de soya	46	Y	Por determinar
Premezcla de minerales	0	2	0

Ingredientes	Contenido de % PC	% de la ración	Aporte de PC en la dieta
Soca de sorgo	5	12	0.6
Úrea	282	0.6	1.69
	Suma	14.6 (de 12+2+0.6)	2.29 (de 0+0.6+2.29)
	Requerimiento	100	16
	Diferencia	85.4 (de 100-14.6)	13.71 (de 16-2.29)

El requerimiento en el cuadrado de Pearson, se determina de la siguiente forma:
 $(13.71/85.4) \times 100 = 16.05$

El cuadrado de Pearson se resuelve de esta manera:

Sorgo	10.3	29.95
		16.05
Soya	46	<u>5.75</u>
		Suma 35.70

Se calcula el porcentaje de cada fracción

		Porcentaje
Sorgo	10.3	29.95 $(29.95/35.70) \times 100 = 83.89\%$ sorgo
		16.05
Soya	46	<u>5.75</u> $(5.75/35.70) \times 100 = 16.11\%$ soya
		Suma 35.70
		Suma 100.00

Es necesario ajustar a 85.4% de sorgo más soya (2% es pmezcla y 12% es soca y 0.6% es urea)

Sorgo	$83.89 \times 0.854 = 71.64$
Soya	$16.11 \times 0.854 = 13.76$
Suma	100.00 Suma 85.40

Compruebe: que se satisface el requerimiento con los 5 ingredientes:

Aporte de PC sorgo	$(71.64 \times 10.3)/100 = 7.38$
Aporte de PC soya	$(13.76 \times 46)/100 = 6.33$

Aporte de PC de premezcla	$(2 \times 0)/100$	= 0.0
Aporte de PC de soca de sorgo	$(5 \times 12)/100$	= 0.6
Aporte de PC Urea	$(0.6 \times 282)/100$	= 1.69
		Suma 16.00

La mezcla aporta 16% de PC y se compone de 71.64% de sorgo, 13.76% de harina de soya, 2% de premezcla, 12% de soca de sorgo y 0.6% de urea (base seca).

En esta tabla se muestra la ración de engorda de borregos en base seca

Ingredientes	Contenido de % PC	% de la ración (BS)	Aporte de PC
Grano de sorgo	10.3	71.64	7.38
Harina de soya	46	13.76	6.33
Premezcla de minerales	0	2	0
Soca de sorgo	5	12	0.6
Urea	282	0.6	1.69
	Suma	100.00	16.00
	Requerimiento	100.00	16.00
		Cubierto	Cubierto

Las raciones de los ejemplos 3 y 4 en la práctica pueden funcionar bien en la engorda de borregos. Se considera la proteína, los niveles de urea y forrajes, con los cuales se satisfacen los requerimientos de proteína y fibra de los borregos. Ahora vamos a determinar el aporte de energía de esta dieta (ejemplo 4).

En esta tabla se incluye el contenido de energía metabolizable (EM) de los ingredientes

Ingredientes	% PC ingredientes	% de la ración (BS)	Aporte de PC	EM Mcal/kg Ingredientes (NRC)
Grano de sorgo	10.3	71.64	7.38	3.2
Harina de soya	46	13.76	6.33	3.4
Premezcla de minerales	0	2	0	0
Soca de sorgo	5	12	0.6	1.8
Urea	282	0.6	1.69	0

Ingredientes	% PC ingredientes	% de la ración (BS)	Aporte de PC	EM Mcal/kg Ingredientes (NRC)
	Suma	100.00	16.00	
	Requerimiento	100.00	16.00	
		Cubierto	Cubierto	

Los datos de EM se obtienen de tablas (NRC), por ejemplo el grano de sorgo contiene 3.2 Mcal/kg de EM. En las mismas tablas se busca el contenido de EM de los otros ingredientes.

En esta tabla se incluye la EM de la dieta

Ingredientes	% PC ingredientes	% de la ración (BS)	Aporte de PC	EM Mcal/kg ingredientes	EM Mcal/kg Aporte
Grano de sorgo	10.3	71.64	7.38	3.2	2.29
Harina de soya	46	13.76	6.33	3.4	0.47
Premezcla de minerales	0	2	0	0	0.00
Soca de sorgo	5	12	0.6	1.8	0.22
Urea	282	0.6	1.69	0	0.00
	Suma (dieta)	100.00	16.00		2.98
	Requerimiento	100.00	16.00		2.90
	Observación	cubierto	cubierto		cubierto

Para la estimación del contenido de energía de la dieta se considera el aporte de energía de los ingredientes que la forman. El grano de sorgo aporta 2.29 Mcal/kg de EM (base seca), se obtiene de: $[(71.64 \times 3.2)/100]$. El sorgo contiene 3.2 Mcal/kg y forma 71.64% de la ración. La soya aporta 0.47 Mcal/kg de EM (base seca), se obtiene de: $[(13.76 \times 3.4)/100]$. La soya contiene 3.4 Mcal/kg y forma 13.76% de la ración. De la misma forma se obtiene la EM de los otros ingredientes. Finalmente se suma y se obtiene que la dieta aporta 2.98 Mcal/kg (base seca), mientras que el requerimiento obtenido de tablas NRC es 2.90 Mcal/kg (base seca). Con lo cual, la dieta excede 0.08 Mcal/kg de EM (de 2.98-2.90). En este caso no hay deficiencia, al contrario hay un pequeño aporte de energía más alto al requerimiento, por lo que la dieta cubre los requerimientos de energía de los borregos en engorda.

En esta tabla se incluye la conversión a base tal como se ofrece o húmeda

Ingredientes	% de la ración	% MS ingredientes (NRC)	Conversión a base húmeda	% BH o tal como se ofrece
Grano de sorgo	71.64	91	78.73	71.46
Harina de soya	13.76	90	15.29	13.88
Premezcla de minerales	2	97	2.06	1.87
Soca de sorgo	12	89	13.48	12.24
Urea	0.6	98	0.61	0.56
Suma	100.00	Suma	110.17	100.00

En esta tabla se incluye el costo por kilogramo de dieta

Ingredientes	% base húmeda tal como se ofrece	Costo/kg ingrediente (\$)	Costo/kg dieta (\$)
Grano de sorgo	71.46	3.40	2.43
Harina de soya	13.88	12.60	1.75
Premezcla de minerales	1.87	11.00	0.21
Soca de sorgo	12.24	1.50	0.18
Urea	0.56	3.5	0.02
Suma	100.00	Costo/kg (\$)	4.59

Ejemplo 5

Vamos a formular con los mismos ingredientes una dieta que contenga 16% de PC y 2.90 Mcal/kg de EM. Se considera fijo la premezcla mineral en 2% y urea a 0.6%.

En la siguiente tabla se muestran los ingredientes y sus nutrientes

Ingredientes	% PC ingredientes	% de la ración	Aporte de PC	EM Mcal/kg Ingredientes	EM Mcal/kg Aporte
Grano de sorgo	10.3	X	Determinar	3.2	Determinar
Harina de soya	46	Y	Determinar	3.4	Determinar

Ingredientes	% PC ingredientes	% de la ración	Aporte de PC	EM Mcal/kg Ingredientes	EM Mcal/ kg Aporte
Premezcla de minerales	0	2	0	0	0.00
Soca de sorgo	5	Z	Determinar	1.8	Determinar
Urea	282	0.6	1.69	0	0.00
	Suma (dieta)	2.6	1.69	Suma (dieta)	0.00
	Requerimiento	100	16		2.90
	Diferencia	97.4	14.31		2.90

Sorgo (x), soya (y) y soca (z) deben formar el 97.4% (de 100-2.6), considerar que la premezcla mas urea forman el 2.6% (de 2+0.6). Sorgo, soya y soca deben aportar 14.31% PC y 2.90 Mcal EM/kg MS. La premezcla mineral y la urea no aportan energía.

El requerimiento de PC es $(14.31/97.4) \times 100 = 14.69$

Para esta solución se formulan dos premezclas que cubren los requerimientos de PC. Nota no es posible mezclar sorgo con soca para cubrir los requerimientos de PC, ya que el requerimiento es mayor al aporte de estos ingredientes. La premezcla 1 es con sorgo más soya.

Premezcla 1 (sorgo con soya)

El cuadrado de Pearson se resuelve de esta manera:

Sorgo	10.3	31.31
		14.69
Soya	46	<u>4.39</u>
	Suma	35.70

Calcule el porcentaje de cada fracción

			Porcentaje
Sorgo	10.3	31.31	$(31.31/35.70) \times 100 = 87.70\%$ sorgo
		14.69	
Soya	46	<u>4.39</u>	$(4.39/35.70) \times 100 = 12.30\%$ soya
	Suma	35.70	Suma 100.00

Premezcla 2 (soca con soya)

El cuadrado de Pearson se resuelve de esta manera:

Soca	5	31.31
		14.69
Soya	46	<u>9.69</u>
		Suma 41.00

Calcule el porcentaje de cada fracción

			Porcentaje
Soca	5	31.31	$(31.31/41.00) \times 100 = 76.37\%$ soca
		14.69	
Soya	46	<u>9.69</u>	$(9.69/41.00) \times 100 = \underline{23.63\%}$ soya
		Suma 41.00	Suma 100.00

Ahora determinemos el aporte de energía en cada premezcla

Premezcla 1

	% ingrediente	EM Mcal/kg (Tablas NRC)	EM Mcal/kg (Aporte)
Sorgo	87.70	3.2	2.81
Soya	12.30	3.4	0.42
Suma	100	Suma	3.22

Esta premezcla contiene 14.69% de PC y 3.22 Mcal/kg de EM

Premezcla 2

	% ingrediente	EM Mcal/kg (Tablas NRC)	EM Mcal/kg (Aporte)
Sorgo	76.37	1.8	1.37
Soya	23.63	3.4	0.80
Suma	100	Suma	2.18

Esta premezcla contiene 14.69% de PC y 2.18 Mcal/kg de EM

Para energía, el cuadrado de Pearson se resuelve de esta manera:

Recordar que los minerales están en 2% y la urea en 0.6% = 2.6, por lo que el resto de los ingredientes es 97.4 que deben aportar 2.90 Mcal/kg de EM, lo que hace necesario reajustar el requerimiento del cuadrado de Pearson, de la siguiente forma:

El requerimiento de EM es $(2.90/97.4) \times 100 = 2.98$

Premezcla (1)	3.22	0.80
		2.98
Premezcla (2)	2.18	<u>0.25</u>
		Suma 1.05

Calcule el porcentaje de cada fracción

		Porcentaje
Premezcla (1)	3.22	0.80 $(0.80/1.05) \times 100 = 76.38\%$ premezcla 1
		2.98
Premezcla (2)	2.18	<u>0.25</u> $(0.25/1.05) \times 100 = 23.62\%$ premezcla 2
	Suma 1.05	Suma 100.00

Premezcla 1

	% ingrediente	% premezcla	Ajustado a premezcla 1
Sorgo	87.70	76.38	66.99 de $(87.7 \times 76.38)/100$
Soya	12.30	76.38	9.39 de $(12.30 \times 76.38)/100$
Suma	100	Suma	76.38

Sorgo 66.99% más soya a 9.39% son igual a 76.38%

Premezcla 2

	% ingrediente	% premezcla	Ajustado a premezcla 2
Soca	76.37	23.62	18.04 de $(76.37 \times 23.62)/100$
Soya	23.63	23.62	5.58 de $(23.63 \times 23.62)/100$
Suma	100	Suma	23.62

Soca 18.04% más soya a 5.58% son igual a 23.62%

Se ajusta a 97.4%, de la siguiente forma

Ingredientes	% ingredientes	Ajustado a 97.4%
Premezcla 1		
Grano de sorgo	66.99	65.25 de (66.99x97.4/100)
Harina de soya	9.39	9.15 de (9.39x97.4/100)
Premezcla 2		
Soca de sorgo	18.04	17.57 de (18.04x97.4)/100
Harina de soya	5.58	5.44 de (5.58x97.4)/100
Total	100	97.4

Se construye la tabla de la dieta completa

Ingredientes	% PC ingredientes	% de la ración (BS)	Aporte de PC	EM Mcal/kg Ingredientes	EM Mcal/kg Aporte
Grano de sorgo	10.3	65.25	6.72	3.2	2.088
Harina de soya	46	14.59	6.71	3.4	0.496
Premezcla de minerales	0	2	0	0	0.00
Soca de sorgo	5	17.57	0.88	1.8	0.316
Urea	282	0.6	1.69	0	0.00
	Suma (dieta)	100	16	Suma (dieta)	2.90
	Requerimiento	100	16	Requerimiento	2.90
	Diferencia	0	0	Diferencia	0

El 14.59 de soya se obtiene de 9.15 en premezcla (1) + 5.44 en premezcla (2)

Se hace la conversión a base húmeda

Ingredientes	% de la ración (BS)	% MS ingredientes (NRC)	Conversión a base húmeda	% BH o tal como se ofrece
Grano de sorgo	65.25	91	71.70	64.99
Harina de soya	14.59	90	16.21	14.99
Premezcla de minerales	2	97	2.06	1.87
Soca de sorgo	17.57	89	19.74	17.89
Urea	0.6	98	0.61	0.55
Suma (dieta)	100	Suma	110.32	100.00

Se obtiene el costo por kg de dieta

Ingredientes	% Base húmeda tal como se muestra	Costo/kg ingrediente (\$)	Costo/kg dieta (\$)
Grano de sorgo	65.25	3.40	2.21
Harina de soya	14.59	12.60	1.85
Premezcla de minerales	2	11.00	0.21
Soca de sorgo	17.57	1.50	0.27
Urea	0.6	3.5	0.02
Suma	100	Costo/kg (\$)	4.55

Ejemplo 6

Vamos a formular una dieta para borregos que de 17% de PC y 2.70 Mcal/kg de EM. Se cuenta con grano de sorgo, harina de soya, premezcla mineral, soca sorgo, urea y melaza. Se fija la premezcla mineral en 2%, la urea en 0.5% y en este caso la melaza en 6% de la ración (base seca).

El primer paso es determinar el aporte de proteína y energía de los ingredientes fijos

En esta tabla se muestra los ingredientes y sus nutrientes

Ingredientes	% PC ingredientes	% de la ración	Aporte de PC	EM Mcal/kg ingredientes	EM Mcal/kg Aporte
Grano de sorgo	10.3	X	Determinar	3.2	Determinar
Harina de soya	46	Y	Determinar	3.4	Determinar
Premezcla de minerales	0	2	0	0	0.00
Soca de sorgo	5	Z	Determinar	1.8	Determinar
Urea	282	0.5	1.41	0	0.00
Melaza	2.8	6	0.18	2.5	0.15
	Suma (dieta)	8.5	1.59	Suma (dieta)	0.15
	Requerimiento	100	17.00	Requerimiento	2.7
	Diferencia	91.5	15.41	Diferencia	2.55

Sorgo, soya y soca deben formar el 91.5% (de 100-8.5), la premezcla, urea y melaza forman el 8.5% (de 2+0.5+8). Sorgo, soya y soca deben aportar 15.41% PC y 2.55 Mcal EM/kg MS. La premezcla mineral y la urea no aportan energía; melaza aporta 0.15 Mcal/kg (de 6 x 2.5)/100. Melaza también aporta 0.18% de PC (de 6 x 2.8)/100.

El requerimiento de PC es $(15.41/91.5) \times 100 = 16.84$

Para esta solución se formulan dos premezclas que cubren los requerimientos de PC. Nota no es posible mezclar sorgo con soca para cubrir los requerimientos de PC, ya que el requerimiento es mayor al aporte de estos ingredientes.

Premezcla 1 (sorgo con soya)

El cuadrado de Pearson se resuelve de esta manera:

Sorgo	10.3	29.16
		16.84
Soya	46	<u>6.54</u>
		Suma 35.70

Calcule el porcentaje de cada fracción

			Porcentaje
Sorgo	10.3	29.16	$(29.16/35.70) \times 100 = 81.68\%$ sorgo
		16.84	
Soya	46	<u>6.54</u>	$(6.54/35.70) \times 100 = \underline{18.32\%}$ soya
		Suma 35.70	Suma 100.00

Premezcla 2 (soca con soya)

El cuadrado de Pearson se resuelve de esta manera:

Soca	5	29.16
		16.84
Soya	46	<u>11.84</u>
		Suma 41.00

Calcule el porcentaje de cada fracción

			Porcentaje
Soca	5	29.16	$(29.16/41.00) \times 100 = 71.12\%$ soca
		16.84	
Soya	46	<u>11.84</u>	$(11.84/41.00) \times 100 = \underline{28.88\%}$ soya
		Suma 41.00	Suma 100.00

Ahora determinemos el aporte de energía en cada premezcla

Premezcla 1

	% ingrediente	EM Mcal/kg (Tablas NRC)	EM Mcal/kg (Aporte)
Sorgo	81.68	3.2	2.61
Soya	18.32	3.4	0.62
Suma	100	100	3.24

Esta premezcla contiene 16.84% de PC y 3.24 Mcal/kg de EM

Premezcla 2

	% ingrediente	EM Mcal/kg (Tablas NRC)	EM Mcal/kg (Aporte)
Sorgo	71.12	1.8	1.28
Soya	28.88	3.4	0.98
Suma	100	Suma	2.26

Esta premezcla contiene 16.84% de PC y 2.26 Mcal/kg de EM

Para energía, el cuadrado de Pearson se resuelve de esta manera:

Recordar que los minerales están en 2%, la urea en 0.5% y la melaza en 6%, para un total de 8.5%, por lo que el resto de los ingredientes es 91.5 que aportan 2.55 Mcal/kg de EM, Recordar que el requerimiento es 2.7 Mcal/kg de EM a lo cual se resta el aporte de melaza de 0.15 Mcal/kg de EM ($2.7 - 0.15 = 2.55$) lo que hace necesario reajustar el requerimiento del cuadrado de Pearson, de la siguiente forma: El requerimiento de EM es $(2.55/91.5) \times 100 = 2.79$

Premezcla (1)	3.24	0.52
		2.79
Premezcla (2)	2.26	<u>0.45</u>
		Suma 0.97

Calcule el porcentaje de cada fracción

		Porcentaje
Premezcla (1)	3.24	0.52 $(0.52/0.97) \times 100 = 53.85\%$ premezcla 1
		2.79
Premezcla (2)	2.26	<u>0.45</u> $(0.45/0.97) \times 100 = 46.15\%$ premezcla 2
	Suma 0.97	Suma 100.00

Premezcla 1

	% ingrediente	% premezcla	Ajustado a premezcla 1
Sorgo	81.88	53.85	43.98 de (81.68x53.85)/100
Soya	18.32	53.85	9.87 de (18.32x53.85)/100
Suma	100	Suma	53.85

Sorgo 43.98% más soya a 9.87% son igual a 53.85%

Premezcla 2

	% ingrediente	% premezcla	Ajustado a premezcla 2
Soca	71.12	46.15	32.82 de (71.12x46.15)/100
Soya	28.88	46.15	13.33 de (28.88x46.15)/100
Suma	100	Suma	46.15

Soca 32.82% más soya a 13.33% son igual a 46.15%

Se ajusta a 91.5%

Ingredientes	% ingrediente	Ajustado a 91.5%
Premezcla 1		
Grano de sorgo	43.98	40.24 de (43.98x91.5)/100
Harina de soya	9.87	9.03 de (9.87x91.5)/100
Premezcla 2		
Soca de sorgo	32.82	30.03 de (32.82x91.5)/100
Harina de soya	13.33	12.20 de (13.33x91.5)/100
Total	100	91.5

Se hace la tabla de la dieta completa

Ingredientes	% PC ingredientes	% de la ración BS	Aporte de PC	EM Mcal/kg ingredientes	EM Mcal/kg Aporte
Grano de sorgo	10.3	40.24	4.15	3.2	1.29
Harina de soya	46	21.22	9.76	3.4	0.72
Premezcla de minerales	0	2	0	0	0

Ingredientes	% PC ingredientes	% de la ración BS	Aporte de PC	EM Mcal/kg ingredientes	EM Mcal/kg Aporte
Soca de sorgo	5	30.03	1.5	1.8	0.54
Urea	282	0.5	1.41	0	0
Melaza	3	6	0.18	2.5	0.15
	Suma (dieta)	100	17	Suma (dieta)	2.70
	Requerimiento	100	17	Requerimiento	2.70
	Diferencia	0	0	Diferencia	0

El 21.22 de soya se obtiene de 9.03 en premezcla (1) + 12.20 en premezcla (2)

Se hace la conversión a base tal como se ofrece o húmeda

Ingredientes	% de la ración	%MS ingredientes (NRC)	Conversión a base húmeda	% BH o tal como se ofrece
Grano de sorgo	40.24	91	44.22	39.44
Harina de soya	21.22	90	23.58	21.03
Premezcla de minerales	2	97	2.06	1.84
Soca de sorgo	30.03	89	33.74	30.10
Urea	0.5	98	0.51	0.46
Melaza	6	75	8.00	7.14
Suma (dieta)	100	Suma	112.12	100

Se estima el costo por kg de dieta

Ingredientes	% Base húmeda tal como se muestra	Costo/kg ingrediente (\$)	Costo/kg dieta (\$)
Grano de sorgo	39.44	3.40	1.34
Harina de soya	21.03	12.60	2.65
Premezcla de minerales	1.84	11.00	0.20
Soca de sorgo	30.10	1.50	0.45
Urea	0.46	3.5	0.02
Melaza	7.14	3.0	0.21
Suma	100	Costo/kg (\$)	4.87

Ejemplo 7

Formular una ración para borregos de finalizado con los siguientes ingredientes: grano de sorgo, harina de soya, premezcla de minerales, soca de sorgo, urea, melaza, granos secos de destilería (DDGS) y grasa.

Esta ración se debe formular en base al nivel de fibra detergente del forraje (soca de sorgo).

El primer paso es consultar en las tablas de NRC el contenido de nutrientes de los ingredientes y los requerimientos de borregos, la tabla se establece de la siguiente forma:

Ingredientes	% PC	EM Mcal/kg
Grano de sorgo	12.5	2.96
Harina de soya	46	3.04
Premezcla de minerales	0	0
Soca de sorgo	5	1.8
Urea	282	0
Melaza	3	2.5
DDGS	29	3.18
Grasa	0	7
Requerimientos	15	2.90

Estratégicamente la ración debe contener 6% de fibra detergente neutro (FDN) del forraje (Salinas et al., 2017) en este caso el forraje es la soca de sorgo la cual contiene 65% FDN. Se recomienda que este dato se obtenga del laboratorio, aunque también se puede consultar de tablas. Con un regla de tres simple se estima el nivel de soca de sorgo en la ración, en este caso es 9.23, de $[(100 \times 6) / 65]$. Soca de sorgo contiene 65% FDN y la ración debe contener 6% FDN de soca de sorgo.

Otros ingredientes fijos son minerales (2%), urea (0.6%), Melaza y grasa (3%)

Se construye esta tabla

Ingredientes	% PC	EM Mcal/kg	% ración
Grano de sorgo	12.5	2.96	X
Harina de soya	46	3.04	Y
Premezcla de minerales	0	0	2

Ingredientes	% PC	EM Mcal/kg	% ración
Soca de sorgo	5	1.8	9.23
Urea	282	0	0.6
Melaza	3	2.5	6
DDGS	29	3.18	Z
Grasa	0	7	3
		Suma	20.83

Raciones con alta densidad energética (como en este caso) siempre incluyen lípidos o grasa para poder cubrir el requerimiento energético de los animales. El límite máximo de grasa es 5%, para este caso se fija en nivel medio (3%).

A continuación se determina el aporte de PC y EM de cada ingrediente (fijo) en la ración

Ingredientes	% PC	EM Mcal/kg	% ración	% PC	EM Mcal/kg
Grano de sorgo	12.5	2.96	X	0	0
Harina de soya	46	3.04	Y	0	0
Premezcla de minerales	0	0	2	0	0
Soca de sorgo	5	1.8	9.23	0.46	0.17
Urea	282	0	0.6	1.69	0
Melaza	3	2.5	6	0.18	0.15
DDGS	29	3.18	Z	0	0
Grasa	0	7	3	0	0.21
		Suma	20.83	2.33	0.53

Establecer las diferencias respecto a requerimientos

Ingredientes	% PC	EM Mcal/kg	% ración	% PC aporte	EM Mcal/kg aporte
Grano de sorgo	12.5	2.96	X	0	0
Harina de soya	46	3.04	Y	0	0
Premezcla de minerales	0	0	2	0	0

Ingredientes	% PC	EM Mcal/kg	% ración	% PC aporte	EM Mcal/kg aporte
Soca de sorgo	5	1.8	9.23	0.46	0.17
Urea	282	0	0.6	1.69	0
Melaza	3	2.5	6	0.18	0.15
DDGS	29	3.18	Z	0	0
Grasa	0	7	3	0	0.21
		Suma	20.83	2.33	0.53
		Requerimiento	100	15	2.90
		Diferencia	79.17	12.67	2.37

Sorgo, soya y DDGS deben formar el 79.17% (de 100-20.83), la premezcla, soca, urea, melaza y grasa forman el 20.83% (de 2+9.23+0.6+6+3). Sorgo, soya y DDGS deben aportar 12.67% PC y 2.37 Mcal EM/kg MS. La premezcla mineral y la urea no aportan energía; melaza aporta 0.15 Mcal/kg (de 6 x 2.5)/100. Melaza aporta 0.18% de PC (de 6 x 2.8)/100.

El requerimiento de PC es $(12.67/79.15) \times 100 = 16$

Se formulan dos premezclas que cubren los requerimientos de PC.

Premezcla 1 (sorgo con soya)

El cuadrado de Pearson se resuelve de esta manera:

Sorgo	12.5	30.00
		16
Soya	46	<u>3.50</u>
		Suma 33.50

Calcule el porcentaje de cada fracción

		Porcentaje
Sorgo	12.5	30.00 $(30.00/33.50) \times 100 = 89.55\%$ sorgo
		16
Soya	46	<u>3.50</u> $(3.50/33.50) \times 100 = 10.45\%$ soya
		Suma 33.50 Suma 100.00

Premezcla 2 (sorgo con DDGS)

El cuadrado de Pearson se resuelve de esta manera:

Sorgo	12.5	13.0
		16
DDGS	29.0	<u>3.50</u>
		Suma 16.50

Se calcula el porcentaje de cada fracción

			Porcentaje
Sorgo	12.5	13.00	$(13.00/16.50) \times 100 = 78.79\%$ sorgo
		16	
DDGS	29.5	<u>3.50</u>	$(3.50/16.50) \times 100 = \underline{21.21\%}$ DDGS
		Suma 16.50	Suma 100.00

Ahora determinemos el aporte de energía en cada premezcla

Premezcla 1

	% ingrediente	EM Mcal/kg (Tablas NRC)	EM Mcal/kg (Aporte)
Sorgo	89.55	2.96	2.65
Soya	10.45	3.04	0.32
Suma	100	Suma	2.97

Esta premezcla contiene 16% de PC y 2.97 Mcal/kg de EM

Premezcla 2

	% ingrediente	EM Mcal/kg (Tablas NRC)	EM Mcal/kg (Aporte)
Sorgo	78.79	2.96	2.33
Soya	21.21	3.18	0.67
Suma	100	Suma	3.01

Esta premezcla contiene 16% de PC y 3.01 Mcal/kg de EM

Es necesario reajustar el requerimiento de EM del cuadrado de Pearson, de la siguiente forma:

El requerimiento de EM es $(2.37/79.17) \times 100 = 3.00$

Premezcla (1)	2.97	0.01
		3.00
Premezcla (2)	3.01	<u>0.03</u>
		Suma 0.04

Se calcula el porcentaje de cada fracción

		Porcentaje
Premezcla (1)	2.97	0.01 $(0.01/0.04) \times 100 = 25\%$ premezcla 1
		3.00
Premezcla (2)	3.01	<u>0.03</u> $(0.03/0.04) \times 100 = 75\%$ premezcla 2
		Suma 0.04 Suma 100.00

Premezcla 1

	% ingrediente	% premezcla	Ajustado a premezcla 1
Sorgo	89.55	25.00	22.39 de $(89.55 \times 25)/100$
Soya	10.45	25.00	2.61 de $(10.45 \times 25)/100$
Suma	100	Suma	25.00

Sorgo 22.39% más soya a 2.61% son igual a 25.00%

Premezcla 2

	% ingrediente	% premezcla	Ajustado a premezcla 2
Sorgo	78.79	75.00	59.09 de $(78.79 \times 75.00)/100$
DDGS	75.00	75.00	15.91 de $(21.21 \times 75.00)/100$
Suma	100	Suma	75.00

Se ajusta a 79.17%

Ingredientes	% ingrediente	Ajustado a 79.17%
Premezcla 1		
Grano de sorgo	22.39	17.72 de $(22.39 \times 79.17)/100$

Ingredientes	% ingrediente	Ajustado a 79.17%
Harina de soya	2.61	2.07 de (2.61x79.17)/100
Premezcla 2		
Sorgo	59.09	46.78 de (59.09x79.17)/100
DDGS	15.91	12.60 de (15.91x79.17)/100
Total	100	79.17

Se construye la tabla de la dieta completa

Ingredientes	% PC ingredientes	EM Mcal/kg ingredientes	% de la ración BS	Aporte de PC	EM Mcal/kg Aporte
Grano de sorgo	12.5	2.96	64.51	8.06	1.91
Harina de soya	46	3.04	2.07	0.95	0.06
Premezcla de minerales	0	0	2.00	0.00	0.00
Soca de sorgo	5	1.8	9.23	0.46	0.17
Urea	282	0	0.60	1.69	0.00
Melaza	3	2.5	6.00	0.18	0.15
DDGS	29	3.18	12.60	3.65	0.40
Grasa	0	7	3.00	0.00	0.21
		Suma	100	15.00	2.90
		Requerimiento	100	15	2.90
		Diferencia	0	0	0
		Observación	completo	completo	completo

El 64.51 de sorgo se obtiene de 17.72 en premezcla (1) + 46.78 en premezcla (2)

Conversión a base tal como se ofrece o húmeda

Ingredientes	% de la ración BS	%MS ingredientes (NRC)	Conversión a base húmeda	% BH o tal como se ofrece
Grano de sorgo	64.51	91	70.89	64.06
Harina de soya	2.07	90	2.30	2.08
Premezcla de minerales	2.00	97	2.06	1.86

Ingredientes	% de la ración BS	%MS ingredientes (NRC)	Conversión a base húmeda	% BH o tal como se ofrece
Soca de sorgo	9.23	89	10.37	9.37
Urea	0.60	98	0.61	0.55
Melaza	6.00	75	8.00	7.23
DDGS	12.60	94	13.40	12.11
Grasa	3.00	99.2	3.02	2.73
			110.65	100

Se determina el costo por kilogramo de dieta tal como se ofrece

Ingredientes	% Base húmeda Tal como se muestra	Costo/kg ingrediente (\$)	Costo/kg dieta (\$)
Grano de sorgo	64.06	3.4	2.18
Harina de soya	2.08	12.6	0.26
Premezcla de minerales	1.86	11.0	0.20
Soca de sorgo	9.37	1.50	0.14
Urea	0.55	3.50	0.02
Melaza	7.23	3.00	0.22
DDGS	12.11	6.00	0.73
Grasa	2.73	7.5	0.20
Total	100	Costo/kg dieta (\$)	3.95

Método algebraico

Ejemplo

Vamos a resolver el ejemplo anterior con el método de ecuaciones simultáneas

Esta es la tabla de ingredientes y nutrientes

Ingredientes	% PC	EM Mcal/kg	% ración
Grano de sorgo	12.5	2.96	X
Harina de soya	46	3.04	Y
Premezcla de minerales	0	0	2
Soca de sorgo	5	1.8	9.23
Urea	282	0	0.6
Melaza	3	2.6	6

Ingredientes	% PC	EM Mcal/kg	% ración
DDGS	29	3.18	Z
Grasa	0	7	3
		Suma	20.83

Se plantean las ecuaciones para premezcla 1

$$X + Y = 100 \text{ ecuación 1}$$

$$0.125X + 0.46Y = 16 \text{ ecuación 2}$$

En ecuación 1 la variable “x” corresponde a sorgo, la “y” corresponde a soya, ambas variables (ecuación 1) deben cubrir el 100% de materia seca de esta premezcla. La ecuación 2 incluye el contenido de proteína de sorgo (x) y soya (y) expresados en porcentaje, para cubrir el 16% de PC.

Se procede a despejar una variable de una ecuación, en este caso se despeja “y” de la ecuación 1.

$$Y = 100 - X \text{ ecuación 3}$$

El valor de “y” se sustituye en la ecuación 2

$$0.125X + 0.46(100 - X) = 16$$

Se hace la operación, 0.46 multiplica a 100 y a “X”

$$0.125X + 46 - 0.46 X = 16$$

Se agrupan términos semejantes

$$0.125X - 0.46 X = 16 - 46$$

Se resuelve la operación algebraica ($0.125 - 0.46 = -0.335$), y ($16 - 46 = -30$)

$$-0.335X = -30$$

Despeja X

$$X = (-30 / -0.335)$$

X = 89.55 corresponde al porcentaje de sorgo

En ecuación 3 se sustituye el valor de X, en este caso es 89.55

$$Y = 100 - 89.55$$

Y = 10.45 corresponde al porcentaje de soya

Estos valores son los mismos a los obtenidos en el cuadrado de Pearson

Se plantean las ecuaciones para premezcla 2

$$X + Z = 100 \text{ ecuación 1}$$

$$0.125X + 0.29Z = 16 \text{ ecuación 2}$$

La variable “x” corresponde a sorgo, la “z” corresponde a DDGS, ambas variables (ecuación 1) deben cubrir el 100% de materia seca de esta premezcla. La ecuación 2 incluye el contenido de proteína de sorgo (x) y DDGS (z) expresados en porcentaje.

Se procede a despejar una variable de una ecuación, en este caso se despeja “z” de la ecuación 1.

$$Z = 100 - X \text{ ecuación 3}$$

El valor de “z” se sustituye en la ecuación 2

$$0.125X + 0.29 (100 - X) = 16$$

Se hace la operación, 0.46 multiplica a 100 y “X”

$$0.125X + 29 - 0.29 X = 16$$

Se agrupan términos semejantes

$$0.125X - 0.29 X = 16 - 29$$

Se hace la operación algebraica (0.125 - 0.29 = -0.165), y (16 - 29 = -13)

$$-0.165X = -13$$

Despeja X

$$X = (-13 / -0.165)$$

X = 78.79 corresponde al porcentaje de sorgo

En ecuación 3 se sustituye el valor de X, en este caso es 78.79

$$Y = 100 - 78.79$$

Y = 21.21 corresponde al porcentaje de DDGS

Estos valores son los mismos a los obtenidos en el cuadrado de Pearson

Ahora determinemos el aporte de energía en cada premezcla

Premezcla 1

	% ingrediente	EM Mcal/kg (Tablas NRC)	EM Mcal/kg (Aporte)
Sorgo	89.55	2.96	2.65
Soya	10.45	3.04	0.32
Suma	100	Suma	2.97

Esta premezcla contiene 16% de PC y 2.97 Mcal/kg de EM

Premezcla 2

	% ingrediente	EM Mcal/kg (Tablas NRC)	EM Mcal/kg (Aporte)
Sorgo	78.79	2.96	2.33
Soya	21.21	3.18	0.67
Suma	100	Suma	3.01

Esta premezcla contiene 16% de PC y 3.01 Mcal/kg de EM

Es necesario reajustar el requerimiento de energía de la siguiente forma:

El requerimiento de EM es $(2.37/79.17) \times 100 = 3.00$

Se plantean las ecuaciones para premezcla 2

$$A + B = 100 \text{ ecuación 1}$$

$$2.97A + 3.01B = 300 \text{ ecuación 2}$$

La variable "A" corresponde a premezcla 1, la "B" corresponde a premezcla 2, ambas variables (ecuación 1) deben cubrir el 100% de materia seca de esta premezcla. La ecuación 2 incluye el contenido de EM de premezcla 1 (A) y premezcla 2 (B) expresados en porcentaje.

Se procede a despejar una variable de una ecuación, en este caso se despeja "B" de la ecuación 1.

$$B = 100 - A \text{ ecuación 3}$$

El valor de "B" se sustituye en la ecuación 2

$$2.97A + 3.01(100 - A) = 300$$

Se hace la operación, 3.01 multiplica a 100 y "A"

$$2.97A + 301 - 3.01A = 300$$

Se agrupan términos semejantes

$$2.97A - 3.01A = 300 - 301$$

Se hace la operación algebraica $(2.97 - 3.01 = -0.04)$, y $(300 - 301 = -1)$
 $-0.04A = -1$

Despeja A

$$A = (-1 / -0.04)$$

A = 25 corresponde al porcentaje de premezcla 1

En ecuación 3 se sustituye el valor de A, en este caso es 25

$$B = 100 - 25$$

B = 75 corresponde al porcentaje de premezcla 2

Estos valores son los mismos a los obtenidos en el cuadrado de Pearson

Premezcla 1

	% ingrediente	% premezcla	Ajustado a premezcla 1
Sorgo	89.55	25.00	22.39 de $(89.55 \times 25) / 100$
Soya	10.45	25.00	2.61 de $(10.45 \times 25) / 100$
Suma	100	Suma	

Sorgo 22.39% más soya a 2.61% son igual a 25.00%

Premezcla 2

	% ingrediente	% premezcla	Ajustado a premezcla 2
Sorgo	78.79	75.00	59.09 de $(78.79 \times 75.00) / 100$
Soya	21.21	75.00	15.91 de $(21.21 \times 75.00) / 100$
Suma	100	Suma	75.00

Sorgo 59.08% más DDGS a 15.91% son igual a 75.00%

Se ajusta a 79.17%

Ingredientes	% ingrediente	Ajustado a 79.17%
Premezcla 1		
Grano de sorgo	22.39	17.72 de $(22.39 \times 79.17) / 100$
Harina de soya	2.61	2.07 de $(2.61 \times 79.17) / 100$
Premezcla 2		
Sorgo	59.09	46.78 de $(59.09 \times 79.17) / 100$
DDGS	15.91	12.60 de $(15.91 \times 79.17) / 100$
Total	100	79.17

Se elabora la tabla de la dieta completa

Ingredientes	% PC ingredientes	EM Mcal/kg ingredientes	% de la ración BS	Aporte de PC	EM Mcal/kg Aporte
Grano de sorgo	12.5	2.96	64.51	8.06	1.91
Harina de soya	46	3.04	2.07	0.95	0.06
Premezcla de minerales	0	0	2.00	0.00	0.00
Soca de sorgo	5	1.8	9.23	0.46	0.17
Urea	282	0	0.60	1.69	0.00
Melaza	3	2.5	6.00	0.18	0.15
DDGS	29	3.18	12.60	3.65	0.40
Grasa	0	7	3.00	0.00	0.21
		Suma	100	15.00	2.90

Ingredientes	% PC ingredientes	EM Mcal/kg ingredientes	% de la ración BS	Aporte de PC	EM Mcal/kg Aporte
		Requerimiento	100	15	2.90
		Diferencia	0	0	0
		Observación	completo	completo	completo

El 64.51 de sorgo se obtiene de 17.72 en premezcla (1) + 46.78 en premezcla (2)

Se convierte a base húmeda

Ingredientes	% de la ración BS	%MS ingredientes (NRC)	Conversión a base húmeda	% BH o tal como se ofrece
Grano de sorgo	64.51	91	70.89	64.06
Harina de soya	2.07	90	2.30	2.08
Premezcla de minerales	2.00	97	2.06	1.86
Soca de sorgo	9.23	89	10.37	9.37
Urea	0.60	98	0.61	0.55
Melaza	6.00	75	8.00	7.23
DDGS	12.60	94	13.40	12.11
Grasa	3.00	99.2	3.02	2.73
			110.65	100

Se estima el costo por kilogramo de dieta

Ingredientes	% Base húmeda Tal como se muestra	Costo/kg ingrediente (\$)	Costo/kg dieta (\$)
Grano de sorgo	64.06	3.4	2.18
Harina de soya	2.08	12.6	0.26
Premezcla de minerales	1.86	11.0	0.20
Soca de sorgo	9.37	1.50	0.14
Urea	0.55	3.50	0.02
Melaza	7.23	3.00	0.22
DDGS	12.11	6.00	0.73
Grasa	2.73	7.5	0.20
Total	100	Costo/kg dieta (\$)	3.95

Dietas de mínimo costo

Las dietas de mínimo costo se formulan con el método simplex, que usualmente usa programas de computadoras. Solo se muestra un ejemplo para plantear la formulación estratégica de una dieta de engorda de borregos en corral

Ejemplo

De la anterior dieta, vamos a plantear las ecuaciones para la formulación de la dieta a mínimo costo.

Ingredientes	% PC	EM (Mcal/kg)	Costo kg/ \$	Variable
Grano de sorgo	12.5	2.96	3.4	X1
Harina de soya	46	3.04	12.06	X2
Premezcla de minerales	0	0	11.0	X3
Soca de sorgo	5	1.8	1.50	X4
Urea	282	0	3.50	X5
Melaza	3	2.5	3.00	X6
DDGS	29	3.18	6.00	X7
Grasa	0	7	7.5	X8

Función objetivo: minimizar costo

$$3.4x_1 + 12.6x_2 + 11x_3 + 1.5x_4 + 3.5x_5 + 3x_6 + 6x_7 + 7.5x_8$$

El costo de granos de sorgo es \$3.4 y es la variable es x1, esto se repite hasta grasa (7.5x8)

El mínimo costo se debe cumplir con los siguientes requisitos o restricciones

A. Cantidad a mezclar, en este caso son 100 (porcentaje)

$$1x_1 + 1x_2 + 1x_3 + 1x_4 + 1x_5 + 1x_6 + 1x_7 + 1x_8 = 100$$

B. Restricción de proteína

$$0.125x_1 + 0.46x_2 + 0x_3 + 0.05x_4 + 2.82x_5 + 0.03x_6 + 0.29x_7 + 0x_8 \geq 15$$

C. Restricción de energía

$$2.96x_1 + 3.04x_2 + 0x_3 + 1.8x_4 + 0x_5 + 2.5x_6 + 3.18x_7 + 7x_8 \geq 290$$

D. restricción mineral

$$0x_1 + 0x_2 + 1x_3 + 0x_4 + 0x_5 + 0x_6 + 0x_7 + 0x_8 = 2$$

E. restricción nivel mínimo de forraje

$$0x_1 + 0x_2 + 0x_3 + 1x_4 + 0x_5 + 0x_6 + 0x_7 + 0x_8 > 8.9$$

F. restricción nivel máximo de forraje

$$0x_1 + 0x_2 + 0x_3 + 1x_4 + 0x_5 + 0x_6 + 0x_7 + 0x_8 < 13$$

G. restricción nivel máximo de urea

$$0x1+0x2+0x3+0x4+1x5+0x6+0x7+0x8<1$$

H. restricción nivel mínimo de melaza

$$0x1+0x2+0x3+0x4+0x5+1x6+0x7+0x8>4$$

I. restricción nivel máximo de melaza

$$0x1+0x2+0x3+0x4+0x5+1x6+0x7+0x8<8$$

J. restricción nivel máximo de DDGS

$$0x1+0x2+0x3+0x4+0x5+0x6+1x7+0x8<15$$

K. restricción nivel máximo de grasa

$$0x1+0x2+0x3+0x4+0x5+0x6+0x7+1x8<4.5$$

En tabla las ecuaciones se plantean de esta forma

	Sorgo	Soya	Mineral	Soca	Urea	Melaza	DDGS	Grasa	Restricción	Requerimiento
Costo	3.4	12.6	11	1.5	3.5	3	6	7.5	Objetivo	Minimizar
Cantidad	1	1	1	1	1	1	1	1	=	100
PC	0.125	0.46	0	0.05	2.82	0.03	0.29	0	>	15
EM	2.96	3.04	0	1.8	0	2.5	3.18	7	<	290
Mineral	0	0	1	0	0	0	0	0	=	2
Mínimo forraje	0	0	0	1	0	0	0	0	>	8.9
Máximo forraje	0	0	0	1	0	0	0	0	<	13
Máximo urea	0	0	0	0	1	0	0	0	<	1
Mínimo melaza	0	0	0	0	0	1	0	0	>	4
Máximo melaza	0	0	0	0	0	1	0	0	<	8
Máximo DDGS	0	0	0	0	0	0	1	0	<	15
Máximo grasa	0	0	0	0	0	0	0	1	<	4.5

Con este planteamiento, la siguiente dieta fue obtenida con programación lineal de mínimo costo

	% BS	%PC	EM Mcal/kg	Costo en BS (\$)
Grano de sorgo	71.75	8.96836	212.37	243.94
Harina de soya	0.00	0	0	0
Premezcla de minerales	2.00	0	0	22
Soca de sorgo	8.90	0.445	16.02	13.35
Urea	1.00	2.82	0	3.5
Melaza	4.00	0.12	10	12
DDGS	9.13	2.64664	29.022	54.76
Grasa	3.23	0	22.587	24.20
Total	100.00	15%	290 por 100	37.75 por 100 kg BS
			2.9 Mcal/kg	3.74 por kg BS

En esta dieta la harina de soya no se considera por su alto costo, la solución toma la menor cantidad de soca de sorgo, el máximo de urea, mínimo de melaza, los DDGS y la grasa están en nivel medio.

Se hace la conversión a base tal como se ofrece (base húmeda)

Ingredientes	% Base húmeda Tal como se muestra	Costo/kg ingrediente (\$)	Costo/kg dieta (\$)
Grano de sorgo	71.53	3.4	2.43
Harina de soya	0	12.6	0
Premezcla de minerales	1.87	11.0	0.21
Soca de sorgo	9.07	1.50	0.14
Urea	0.93	3.50	0.03
Melaza	4.84	3.00	0.15
DDGS	8.81	6.00	0.53
Grasa	2.95	7.5	0.22
Total	100	Costo/kg dieta (\$)	3.70

Comparativo

La dieta formulada con el cuadrado de Pearson tuvo costo de \$3.95 por kg tal como se ofrece. La dieta formulada con programación lineal tuvo costo de \$3.70 por kg tal como se ofrece, con disminución en costo de \$0.25 por kg de alimento.

Una ventaja adicional con el uso de programas de formulación de raciones es la facilidad de formular raciones con mayor número de restricciones.

Consideraciones estratégicas en formulación de dietas para borregos de engorda

Estratégicamente una dieta de borregos de engorda debe formularse a contener 6% de fibra detergente neutro del forraje (Salinas et al., 2017). También se debe considerar la inclusión de subproductos agropecuarios y de industrias como granos secos de destilerías (DDGS), pulido de arroz, subproductos de extracción de jugo de naranja, melaza, entre otros subproductos. La urea también puede ser usada en dietas para borregos de engorda (usualmente menos a 1% de la dieta en base seca). Cuando las dietas requieren alta densidad energética se hace necesario usar lípidos (usualmente menos a 5% de la dieta en base seca). Se debe cuidar el balance mineral, especialmente la relación calcio a fósforo (2.5 a 1). Como los alimentos concentrados son altos en fósforo se puede suplementar calcio para mantener esta relación, además se puede usar cloruro amónico de 0.5 a 1 % de la dieta para prevenir el problema de formación de cálculos en vías urinarias (Carrillo-Díaz et al., 2015). El uso de otros aditivos es recomendable. Salinas Chavira et al., (2015) mencionan que aditivos alimenticios mejoran la eficiencia productiva de los borregos. El efecto en el animal depende del tipo de aditivo. Algunos aditivos modifican la fermentación en rumen lo que se traduce en una mejora en la eficiencia productiva (Salinas Chavira et al., 2016a). Algunos aditivos son antibióticos, ionoforos, amortiguadores de pH (buffers) y probióticos. El efecto positivo del bicarbonato de sodio en la producción de borregos en engorda es discutido por García-Castillo y Salinas Chavira (2016).

Los granos secos de destilería se pueden usar en niveles altos, sin embargo un nivel máximo de 20% de la dieta es apropiado. Los granos secos de destilería tienen alto nivel de lípidos por lo que su inclusión en la dieta de borregos debe considerar la grasa total de la dieta. Los DDGS tienen alto nivel de azufre. Niveles máximos de 15 a 20% de DDGS son adecuados en dietas de engorda de borregos (Salinas Chavira et al., 2016b). Otro subproducto disponible es el pulido de arroz, el cual tiene 13 a 14% de PC, con alto nivel de grasa (hasta 15% de extracto etéreo) que incrementa su valor energético, además de alto contenido de almidón (hasta 30%). En dietas para ovinos se puede usar hasta en 18% de la dieta (Salinas Chavira, 2016).

Lista de referencias

- Beneke, R. R., and R. Winterboer. 1973. *Linear programming Applications to Agriculture*. The Iowa State University Press, Ames. U. S. A. 244 p
- Carrillo-Díaz F, Salgado-Moreno S, Escalera-Valente F, Carmona-Gasca C, Peña-Parra B, Macías-Coronel H. 2015. *Urolitiasis en ovinos abanico veterinario* 5(3): 49-57.
- Church, D. C., W. G. Pond y K. R. Pond, 2003. *Fundamentos de Nutrición y Alimentación de Animales*. Ed. Limusa Wiley; México. 639 p.
- García-Castillo, R. F y J. Salinas Chavira. 2016. *Uso estratégico de bicarbonato de sodio en dietas para borregos de engorda*. En: Estrategias para optimizar la producción de bovinos y ovinos. Salinas Chavira, J. editor. Editorial Colofón. México D.F. p.160-176.
- NRC, 2007. *Nutrient Requirements of Small Ruminants. Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids*. The National Academy Press, Washington, D.C.
- Salinas-Chavira J, Arzola C, García-Castillo RF, Briseño DA, 2017. Approaches to the Level and Quality of Forage in Feedlot Diets for Lambs *Journal of Dairy, Veterinary & Animal Research*.
- Salinas-Chavira J, 2015. *Alternativas nutricionales para mejorar la eficiencia productiva de ovinos en confinamiento*. En: Avances en la producción de pequeños rumiantes en el noreste de México. Zapata Campos CC y Torres Rodríguez ML (editores). Plaza y Valdés SA de CV.
- Salinas Chavira, J., R. F. García Castillo y O. Ruiz Barrera. 2016a. *Estrategias de alimentación para borregos en el norte de México*. En: Estrategias para optimizar la producción de bovinos y ovinos. Salinas Chavira, J. editor. Editorial Colofón. México D.F. p 94-116.
- Salinas Chavira, J., López Zavala R, Domínguez Muñoz M., y González Valenzuela E. A. 2016b. *Uso estratégico de los granos secos de destilería con solubles (DDGS) en dietas para borregos*. En: Estrategias para optimizar la producción de bovinos y ovinos. Salinas Chavira, J. editor. Editorial Colofón. México D.F. p.118-146.
- Salinas Chavira, J. 2016. *Uso estratégico del pulido de arroz en dietas para bovinos de carne y ovinos*. En: Estrategias para optimizar la producción de bovinos y ovinos. Salinas Chavira, J. editor. Editorial Colofón. México D.F. 148-157.
- Trujillo, F. V. 1979. *Métodos Matemáticos para la Formulación de Dietas Balanceadas en la Producción Animal*. Centro Nacional de Productividad, A. C. México. D. F. 240 p.

Temas disciplinares en Medicina Veterinaria y Zootecnia de Jaime Salinas Chavira, Eduardo Arcadio González Valenzuela y Edgar Alberto López Acevedo, publicado por la Universidad Autónoma de Tamaulipas y Colofón, se terminó de imprimir en marzo de 2019. El tiraje consta de 300 ejemplares impresos de forma digital en papel cultural de 75 gramos. El cuidado editorial estuvo a cargo del Consejo de Publicaciones UAT.