



PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNADERO

Coordinadores
Héctor Rodríguez Rodríguez
Ma. Teresa de Jesús Segura Martínez



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA de
TAMAULIPAS



PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNADERO



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

Dr. José Luis Pariente Fragoso
VICEPRESIDENTE

Dr. Héctor Cappello García
SECRETARIO TÉCNICO

C.P. Guillermo Mendoza Cavazos
VOCAL

Dr. Marco Aurelio Navarro Leal
VOCAL

Lic. Víctor Hugo Guerra García
VOCAL

PRODUCCIÓN DE TOMATE EN INVERNADERO

Coordinadores:

Héctor Rodríguez Rodríguez
Ma. Teresa de Jesús Segura Martínez

Autores:

David Cantero Medina
Héctor Manuel Rodríguez Morán
Wilberth Alfredo Poot Poot
Thalia Eleonora Reyes Pérez
Rafael Delgado Martínez
Kathya Fernanda Villagómez González
Néstor Magdaleno Montoya Pineda
José Hugo Tomás Silva Espinosa
Juan Manuel Alcalá Ruiz
Patricio Rivera Ortiz
Eduardo Osorio Hernández



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
TAMAULIPAS



LA GENERACIÓN del
CONOCIMIENTO
con VALORES



Consejo de
publicaciones
UAT



COLOFÓN

Primera edición, 2017

Coordinadores: Héctor Rodríguez Rodríguez y Ma. Teresa de Jesús Segura Martínez

Autores: David Cantero Medina, Héctor Manuel Rodríguez Morán, Wilberth Alfredo Poot Poot, Thalia Eleonora Reyes Pérez, Rafael Delgado Martínez, Kathya Fernanda Villagómez González, Néstor Magdaleno Montoya Pineda, José Hugo Tomás Silva Espinosa, Juan Manuel Alcalá Ruiz, Patricio Rivera Ortiz y Eduardo Osorio Hernández

Universidad Autónoma de Tamaulipas – Colofón, 2017

Título: Producción de tomate en invernadero

Esta obra fue analizada y revisada por el doctor Raúl Rodríguez Herrera, SNI III, quien se desempeña como profesor investigador de la Universidad Autónoma de Coahuila.

204 p.; 17 x 23 cm – (Colección: La Generación del Conocimiento con Valores)

Centro Universitario Victoria

Centro de Gestión del Conocimiento. Tercer Piso

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

consejopublicacionesuat@outlook.com

D. R. © 2017 Universidad Autónoma de Tamaulipas

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

Consejo de Publicaciones UAT

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

Edificio Administrativo, planta baja, CU Victoria

Ciudad Victoria, Tamaulipas, México

Libro aprobado por el Consejo de Publicaciones UAT

Colofón

Franz Hals núm. 130, Alfonso XIII

Delegación Álvaro Obregón C.P. 01460

Ciudad de México

www.paraleer.com/colofonedicionesacademicas@gmail.com

ISBN: 978-607-8563-71-5

Publicación financiada con recurso PFCE 2016

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

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 Urrea

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

17 Prólogo

21 I. La agricultura protegida

David Cantero Medina

- 22** Principales ventajas de la agricultura protegida
- 22** Aspectos generales de la producción en invernadero
- 22** Disponibilidad de agua para riego
- 22** Condiciones ambientales
- 23** Estudio de mercado
- 23** Localización y accesos a las áreas de producción
- 23** Disponibilidad de mano de obra
- 23** Asesoría técnica y capacidad
- 23** Infraestructura
- 24** Materiales empleados en las estructuras
- 24** Tipo de infraestructuras de invernaderos
- 25** Invernadero plano o tipo parral
- 26** Invernadero asimétrico o inacral
- 27** Invernadero de capilla
- 28** Invernadero de doble capilla
- 28** Invernadero túnel o semicilíndrico
- 29** Invernadero tipo multitúnel
- 30** Invernadero gótico cenital ventana dinámica
- 30** Invernadero gótico cenital ventana fija
- 30** Invernadero diente de sierra
- 31** Invernadero poly-túnel
- 31** Invernadero de cristal o tipo venlo
- 32** Propiedades de los plásticos utilizados en la agricultura protegida
- 33** La agricultura protegida en el mundo
- 34** La agricultura protegida en Norteamérica
- 36** La agricultura protegida en México
- 40** Lista de referencias

43 II. Manejo de suelos y sustratos en invernadero

Héctor Rodríguez Rodríguez

- 43** Introducción

43	Labores mecánicas preparación del suelo
44	Acolchado plástico
46	Desinfección del suelo
47	Sustratos
47	Ventajas del cultivo sin suelo
47	Inconvenientes cultivo sin suelo
48	Clasificación de los materiales utilizados como sustratos
48	Materiales orgánicos según su origen
49	Criterios de elección de un sustrato
49	Propiedades de los sustratos
49	Granulometría
50	Densidad aparente
50	Densidad real
50	Permeabilidad
50	Agua fácilmente disponible
50	Agua de reserva
51	Agua total disponible
51	Agua difícilmente disponible
51	Porosidad total
51	Propiedades químicas
51	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)
52	Disponibilidad de nutrientes
53	Salinidad
54	pH
54	Relación carbono/nitrógeno (C/N)
55	Actividad reguladora del crecimiento
55	Materiales utilizados como sustratos
55	Lana de roca
56	Perlita
57	Fibra de coco
58	Tezontle
60	Turbas
62	Arena
62	Mezclas de sustratos
64	Lista de referencias

69 III. Producción de plántulas hortícolas

Héctor Manuel Rodríguez Morán

69	Introducción
70	Empleo de semillas certificada
71	Sistemas de producción de plántulas
71	Camas de siembra (almácigo)
72	<i>Speedlings</i>
73	Producción de tomate en charolas y con sustrato
76	Procedimiento para siembra de charolas
76	Preparación de las charolas
76	Llenado de charolas
76	Siembra
76	Sembradora automatizada
78	Incubación
78	Manejo de las plántulas
79	Fertilización
79	Principales dificultades en la producción de plántulas de tomate
79	Etiolación
79	Enfermedades en plántulas
80	Daño por plagas
81	Extracción
81	Injerto
83	Lista de referencias

85 IV. Cultivo de tejidos vegetales

Ma. Teresa de Jesús Segura Martínez

Wilberth Alfredo Poot-Poot

Thalia Eleonora Reyes Pérez

85	Importancia de la biotecnología vegetal en la alimentación
86	Historia del cultivo de tejidos
87	Cultivo de tejidos vegetales
87	Cultivos semisólidos
88	Medio de cultivo líquido
89	Requerimiento para el cultivo de tejidos vegetales
89	Explante
89	Asepsia
90	Medio de cultivo
93	Respuesta morfogénica y cultivo de tejidos vegetales
93	Factores que afectan los procesos morfogénicos
95	Ventajas del cultivo de tejido <i>in vitro</i>

- 96 Implementación de un laboratorio de cultivo de tejidos
- 96 Requerimientos mínimos para establecer un laboratorio de cultivo de tejidos
- 97 Desinfección y germinación *in vitro* de semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*)
- 98 Lista de referencias

103 V. Trasplante y labores culturales

Rafael Delgado Martínez

Kathya Fernanda Villagómez González

- 103 Introducción
- 103 Labores culturales
- 104 Siembra
- 105 Acondicionamiento del suelo
- 106 Marco de plantación
- 106 Densidad
- 107 Trasplante
- 107 Poda
- 109 Desbrote
- 110 Entutorado
- 112 Polinización
- 113 Despuntado
- 113 Aclareo de frutos
- 114 Cosecha
- 115 Inocuidad
- 117 Lista de referencias

119 VI. Sistema de riego

Néstor Magdaleno Montoya Pineda

José Hugo Tomás Silva Espinosa

- 119 Relación entre la humedad del suelo y la planta
- 119 Salinidad y drenaje
- 119 Necesidades y riegos
- 120 Características y parámetros del suelo a considerar
- 120 Capacidad del suelo para almacenar agua
- 120 Textura
- 120 Estructura
- 121 Caracterización de un suelo desde la disponibilidad de agua para las plantas

121	Capacidad de campo
122	Punto de marchitez permanente
122	Agua útil para las plantas
123	Sistema de riego en invernadero
123	Características de sistema de riego en invernadero
123	Características riego localizado
124	Bulbo de mojado
124	Componentes de un sistema de riego
124	Depósito
125	Cabezal del sistema de riego
125	Bomba de impulsión
126	Equipo de filtración
126	Filtros de arena
126	Filtros de anillas
127	Filtros de malla
128	Equipo de fertirrigación
128	Tanques de fertilización
128	Agitadores
129	Inyección de fertilizantes mediante <i>venturi</i>
129	Equipo de inyección de fertilizantes bomba de inyección
130	Red de riego
130	Tuberías principales y secundarias
130	Tuberías terciarias
130	Válvulas de paso
131	Electroválvulas
131	Válvula de aire
131	Reguladores de presión
132	Manómetro
132	Emisores
132	Elementos de control
133	<i>Dream II</i>
133	Irrigación
133	Fertilización
134	<i>Fertmaster</i>
134	Salidas opcionales
135	Entradas de contacto seco
135	Entradas analógicas
135	Cálculo de aplicación de riego en invernadero

137 Fertilizante aplicado en el sistema de riego

138 Lista de referencias

142 VII. Fertilización, diagnóstico y monitoreo nutrimental del cultivo de tomate en invernadero

Juan Manuel Alcalá Ruiz

Patricio Rivera Ortiz

142 Elementos esenciales

143 Funciones de los nutrientes en las plantas

146 Formas de expresar las concentraciones nutrimentales

149 Tasa de absorción de los nutrientes

151 Relaciones iónicas

151 Los fertilizantes para fertirriego

153 Compatibilidad de los fertilizantes

154 Cálculo de las soluciones fertilizantes

155 Ajuste de los macronutrientes

159 Ajuste de los micronutrientes

160 Preparación de soluciones madre

163 Programa de fertilización para tomate en invernadero

163 Uso de abonos orgánicos

164 Diagnóstico nutrimental

164 Síntomas visuales de deficiencia nutrimental del tomate

165 Análisis de suelo

165 Muestreo de suelo para evaluar la fertilidad y salinidad del suelo

167 Análisis foliar

168 Muestreo y análisis de agua para riego

168 Muestreo y análisis de extracto de pasta

169 Análisis de la solución de suelo mediante la sonda de succión o *Chupatubos*

170 Análisis de extracto celular de peciolo (ECP)

171 Lista de referencias

175 VIII. Manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE) en el tomate

Eduardo Osorio Hernández

176 Insectos plagas presentes en el cultivo de tomate

176 Mosquita blanca [*Trialeurodes vaporariorum* westwood, *Bemisia tabaci* *gennadius* (hemiptera: Aleyrodidae)]

- 178** Trips [*Thrips tabaci* linderman y *Frankliniella occidentalis* pergande (*thysanoptera: Thripidae*)]
- 180** Psílido [*Bactericera cockerelli* sulc. (*hemiptera: Psyllidae*)]
- 182** Áfidos (*Myzus persicae* sulzer, *Aphis gossypii* glover)
- 183** Araña roja [*Tetranychus urticae* Koch (*acariformes: Tetranychidae*)]
- 184** Minador de la hoja [*Liriomyza* sp (*diptera: Agromyzidae*)]
- 185** Tizón tardío [*Phytophthora infestans* (mont) de Bary]
- 186** Marchitamiento vascular del tomate (*Fusarium oxysporum* f. sp. *Radicis-lycopersici*)
- 187** Tizón temprano (*Alternaria solani*, a. *alternata*)
- 189** *Damping-off* (complejo de patógenos de los géneros: *Pythium*, *phytophthora*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*)
- 190** *Cenicilla* (*Oidiopsis taurica* -fase asexual, *Leveillula taurica*-fase sexual)
- 191** Moho gris (*Botrytis cinerea* pers.: fr. (en la forma anamórfica) o *Botryotinia fuckeliana* (de Bary)
- 193** Cáncer bacteriano del tomate (*Clavibacter michiganensis* subsp. *Michiganensis* Smith)
- 194** Virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV)
- 195** Nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.)
- 197** Lista de referencias

PRÓLOGO

Este libro es el resultado del trabajo colectivo, de un grupo de profesores investigadores de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, interesados en difundir la importancia del uso de las nuevas técnicas de producción de tomate en la zona centro del estado de Tamaulipas, México.

La agricultura es una actividad global de importancia acrecentada por la necesidad de producir más alimentos para la población del mundo. Requiere técnicas que ayuden a mejorar la calidad y aprovechar mejor los recursos disponibles para la siembra, sin descuidar jamás la seguridad alimentaria.

La agricultura protegida conlleva una serie de técnicas y conocimientos que permiten modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, con el propósito de alcanzar un crecimiento vegetal óptimo y con ello, un alto rendimiento, así como la obtención de cosechas en fechas alternas o distintas a la producción de cultivos de manera tradicional.

La mejor y mayor producción bajo condiciones controladas, requiere de insumos y actividades determinantes para el rendimiento adecuado, tales como material genético, riego, manejo de plagas y enfermedades, manejo de planta. El suelo o el sustrato, es una condición indispensable, y determinante, además de ser el sostén mecánico de la planta, es la vía para el abastecimiento de agua y nutrientes. La importancia del suelo o sustrato radica en las características físicas y químicas, así como el manejo adecuado; estas condiciones influyen directamente en el desarrollo de la planta, en su rendimiento y calidad de fruto. La finalidad del sustrato es asegurar un rendimiento abundante y de buena calidad en el menor tiempo posible y con costos menores.

La producción de plantas hortícolas pretende transferir e implementar conocimientos validados en la producción de plántulas

de tomate, bajo sistemas distintos a los tradicionales, mediante técnicas que permiten el incremento en el porcentaje de germinación y el buen desarrollo de las plántulas. El uso de invernaderos en la producción hortícola ha demostrado un aumento de los rendimientos, en la homogeneidad y calidad de los productos cosechados, respecto a la producción tradicional.

La biotecnología vegetal es una herramienta que permite mejorar las especies vegetales y los cultivos; al utilizar pruebas de laboratorio permite obtener beneficios agrícolas transferidos de otras especies, tales como la resistencia a enfermedades o plagas, o la capacidad de crecer en suelos magros o en zonas de escasas precipitaciones.

Las labores culturales, son consideradas de uso común dentro del ciclo productivo e influyen de manera directa al incrementar el rendimiento y calidad del fruto. Toda labor cultural utilizada o aplicada de manera oportuna representa grandes ventajas en el producto final. Éstas son consideradas desde la siembra, germinación y cuidados aplicados durante el cultivo hasta llegar a la cosecha, donde también se atiende la presentación del producto final para la comercialización. Esto representa grandes ventajas para el cultivo, y requiere de capacitación adecuada para su realización exitosa.

La agricultura protegida en los últimos años ha incorporado nuevas tecnologías para el uso óptimo de agua y nutrientes a los cultivos. De esta forma se genera un menor impacto en el medio ambiente y se apoya la economía de los agricultores. El aporte adecuado de agua y nutrientes a las plantas son de vital importancia para el desarrollo óptimo del cultivo. Hoy en día se encuentran en el mercado un sinnúmero de sistemas de riego, que facilitan al agricultor la programación de riegos y la dosis de fertilizantes a aplicarse.

La producción comercial de tomate bajo invernadero requiere que el productor haga uso óptimo de los recursos disponibles, siempre en función de la especie, variedad, estado de desarrollo y de las condiciones agroclimáticas enfrentadas con una planeación adecuada y la supervisión constante de los especialistas. Los fertilizantes orgánicos e inorgánicos proveen los nutrimentos necesarios para el crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate, pero requieren de un manejo adecuado, pues de faltar nutrimentos el rendimiento y calidad serán pobres, pero de aplicarse con exceso sólo se incrementarán el costo de producción y los riesgos de toxicidad sin garantizar mejores cosechas.

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), es atacado por diversas plagas de insectos y enfermedades, es recomendable el manejo integrado del cultivo, para prevenir daños en la producción. La combinación de medidas para control de plagas y enfermedades permitirá mantener el cultivo sano y sin alterar el medio ambiente.

Este conjunto de medidas preventivas y de supervisión es conocido como Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE), mediante su uso se pretende combatir insectos y plagas de cualquier naturaleza, y/o mantener niveles por debajo del límite aceptable para garantizar mejores cosechas.

I.
LA AGRICULTURA
PROTEGIDA

David Cantero Medina

En la agricultura se ubica la transformación tecnológica más reciente en el uso de nuevos materiales; en su mayoría plásticos, que permiten la agricultura protegida al combinarse con el conocimiento existente. En su expresión más acabada constituyen la protección de la parte aérea y subterránea de un cultivo para generar y mantener las condiciones en las que los parámetros fisiológicos de la planta operan en puntos óptimos. El resultado es la obtención de niveles de producción entre 5 y 10 veces mayores a los alcanzados por la producción agrícola de campo abierto, donde sólo se regula una parte de las variables.

Aislar el cultivo del clima exterior rompe la estacionalidad a la que se encuentra sujeta la siembra y por tanto la cosecha Olivares (2008); mientras que Sánchez (2005) la define como una serie de técnicas o sistemas de producción que permiten modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, para alcanzar un crecimiento vegetal óptimo y con ello, un alto rendimiento, o bien obtener cosechas en fechas en las que con los cultivos conducidos tradicionalmente no pueden obtenerse si no es con un alto riesgo.

Dentro de las técnicas y sistemas de producción que constituyen la horticultura protegida se pueden mencionar la fertirrigación, el acolchamiento del suelo, el uso de cubiertas flotantes, la producción basada en estructuras de protección como microtúneles, túneles bajos e invernaderos, y el cultivo de plantas sin suelo o hidroponía. La agricultura protegida es un sistema de producción realizado bajo diversas estructuras, para proteger cultivos, al minimizar las restricciones y efectos que imponen los fenómenos climáticos (FAO-SAGARPA, 2007). La agricultura, por su naturaleza, se encuentra asociada al riesgo, de ahí que este sistema tenga como característica básica la protección contra los riesgos inherentes a la actividad y dar paso a la certidumbre.

Los invernaderos son estructuras con techo y paredes transparentes; en su interior se combinan: radiación solar, temperatura, humedad, evaporación y otros factores climáticos que contribuyen a un desarrollo armónico de las plantas (Espinoza, 2004).

Principales ventajas de la agricultura protegida

Al aislar el cultivo del clima exterior se rompe la estacionalidad de la siembra y por tanto de la cosecha. Liberarse de esta condición, permite al usuario programar su producción de acuerdo a las mejores condiciones de mercado. Así la actividad agrícola se vuelve una actividad semejante a la industrial, donde se puede producir cuando se requiere.

Mantener óptimas las condiciones fisiológicas del cultivo genera cuatro efectos:

- Rompe la estacionalidad típica de todas “las agriculturas” anteriores
- Aumenta la productividad de manera significativa
- Desaparece la competencia de la agricultura por el suelo, y
- Posibilita la creación de ciclos cerrados de producción sin interacción con el exterior

Estos dos últimos efectos, competencia por el recurso suelo y la posibilidad de crear ciclos cerrados, nos aproximan a un cambio cualitativo, la desaparición del carácter antagónico de la contradicción hombre-naturaleza (Olivares, 2008).

Aspectos generales en la producción en invernadero

Al iniciar proyectos de producción relacionados con agricultura protegida es necesario considerar los siguientes aspectos, pues la influencia que ejercen sobre el sistema de producción determina los resultados de la actividad.

1. Disponibilidad de agua para riego

Es necesario garantizar el abasto de agua suficiente y constante durante todo el ciclo de cultivo, ya que la cantidad de agua demandada por la producción intensiva puede superar hasta 10 veces la demanda de agua de los cultivos a campo abierto.

Debe asegurarse la calidad del agua. Es necesario analizarla en un laboratorio para descartar cualquier anomalía que pudiera limitar su uso en el ciclo de cultivo.

2. Condiciones ambientales

Es necesario conocer el comportamiento de las variables climáticas de la región o localidad donde se encuentra o se desea establecer la infraestructura, ya que la influencia de estos factores puede limitar o propiciar el buen desarrollo de los

cultivos, además determinan el tipo de infraestructura y el nivel de tecnología ideal para controlar el ciclo de producción.

Las variables que deben tomarse en cuenta son:

- Velocidad y dirección predominante del viento
- Temperatura máxima, mínima y promedio
- Humedad relativa nocturna y diurna del ciclo del cultivo
- Intensidad de luz y fotoperiodo en diferentes estaciones del año
- Precipitaciones pluviales

3. Estudio de mercado

Mediante un análisis de mercado se definen los cultivos a establecer, los precios que alcanzan, las características deseadas por los consumidores, la cantidad, calidad y presentación requeridas. Es importante considerar estos aspectos para desarrollar la estrategia de entrada y competir con buenas utilidades.

4. Localización y accesos a las áreas de producción

La ubicación así como los accesos a los invernaderos son factores importantes que deben considerarse al momento de la planeación, ya que influyen en algunos costos de traslado así como en el tipo de vehículo que se utilizará para sacar la producción. La distancia de los invernaderos al punto de comercialización influye en los gastos por flete o traslado y por ende en los costos de producción.

5. Disponibilidad de mano de obra

La producción de hortalizas en invernadero demanda como mano de obra de 10 a 12 personas, en promedio, para cubrir las necesidades laborales, este factor debe tomarse en cuenta desde el inicio de los proyectos, tanto por los costos que representa como por la disponibilidad de personal en las localidades donde se instale el proyecto.

6. Asesoría técnica y capacidad

La agricultura protegida conlleva una serie de técnicas y conocimientos que deben conocer y practicar las personas que laboran dentro del invernadero, la asesoría técnica especializada es vital para asegurar el éxito de la producción. Además de la capacitación continua al personal.

Infraestructura

Cuando se plantea el desarrollo de un proyecto productivo de hortalizas en invernadero es muy común que se pasen por alto aspectos relevantes que sobre la

marcha sorprenderán debido al impacto económico que implican. Tales aspectos pueden ser los relacionados con la infraestructura:

- Red eléctrica
- Agua potable
- Almacén para agroquímicos
- Instalaciones sanitarias, comedores, etc.
- Maquinaria agrícola
- Infraestructura para empaque
- Almacén y refrigeración del producto terminado
- Comunicaciones

Materiales empleados en las estructuras

La estructura es la armazón del invernadero, constituida por pies derechos, vigas, cabios, correas, etc., que soportan la cubierta, el viento, la lluvia, el granizo, los aparatos que se instalan, sobrecargas de entutorado de plantas, instalaciones de riego y atomización de agua, etc. Debe limitarse a un mínimo el sombreado y la libertad de movimiento interno.

Las estructuras de los invernaderos deben reunir las condiciones siguientes:

- Deben ser ligeras y resistentes
- De material económico y de fácil conservación
- Susceptibles de poder ser ampliadas
- Que ocupen poca superficie
- Adaptables y modificables a los materiales de cubierta

La estructura requiere solidez y economía cuando se elige un determinado tipo de invernadero. Los materiales más utilizados son madera, hierro, aluminio, alambre galvanizado y hormigón armado.

Es difícil encontrar una estructura que utilice solamente una clase de material. En las estructuras que se construyen en la actualidad se combinan los materiales mencionados.

Tipo de infraestructuras de invernaderos

Un invernadero es toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible obtener condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas fuera de estación en condiciones óptimas.

Según la conformación estructural, los invernaderos se pueden clasificar en:

- Planos o tipo parral
- Tipo raspa y amagado

- Asimétricos
- Capilla (a dos aguas, a un agua)
- Doble capilla
- Tipo túnel o semicilíndrico
- Invernaderos tipos multitúnel
- Gótico cenital ventana dinámica
- Gótico cenital ventana fija
- Diente de sierra
- Poli túnel
- De cristal o tipo *Venlo*

Invernadero plano o tipo parral

Este tipo de invernadero se utiliza en zonas poco lluviosas, aunque no es aconsejable su construcción. Tiene dos partes claramente diferenciadas, una estructura vertical y otra horizontal.

La estructura vertical tiene soportes rígidos que se pueden diferenciar según sean perimetrales (soportes de cerco situados en las bandas y los esquineros) o interiores (pies derechos). Los soportes perimetrales tienen una inclinación hacia el exterior de aproximadamente 30° con respecto a la vertical y junto con los vientos que sujetan su extremo superior sirven para tensar las cordadas de alambre de la cubierta.

La estructura horizontal está constituida por dos mallas de alambre galvanizado superpuestas, implantadas manualmente de forma simultánea a la construcción del invernadero y que sirven para portar y sujetar la lámina de plástico.

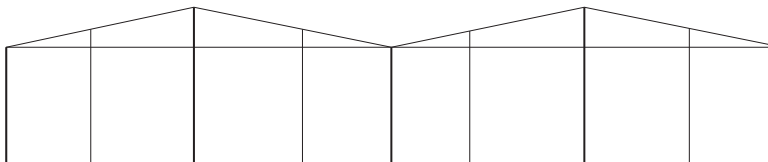


Figura 1.1. Estructura de invernadero tipo Parral

Las principales ventajas de los invernaderos planos son:

- Su economía de construcción
- Su gran adaptabilidad a la geometría del terreno
- Mayor resistencia al viento
- Aprovecha el agua de lluvia en periodos secos
- Presenta una gran uniformidad luminosa

Las desventajas que presentan son:

- Poco volumen de aire
- Mala ventilación
- La instalación de ventanas cenitales es bastante difícil
- Demasiada especialización en su construcción y conservación
- Rápido envejecimiento de la instalación
- Poco o nada aconsejable en lugares lluviosos
- Peligro de hundimiento por las bolsas de agua de lluvia que se forman en la lámina de plástico
- Peligro de destrucción del plástico y de la instalación por su vulnerabilidad al viento
- Dificil mecanización y dificultad en las labores de cultivo por el excesivo número de postes, alambre de los vientos, piedras de anclaje, etc.
- Poco estanco al goteo del agua de lluvia y al aire ya que es preciso hacer orificios en el plástico para la unión de las dos mallas con alambre, lo que favorece la proliferación de enfermedades fúngicas

Invernadero asimétrico o inacral

Difiere de los tipo raspa y amagado en el aumento de la superficie en la cara expuesta al sur, para aumentar la captación de la radiación solar. Para ello el invernadero se orienta en sentido este-oeste, paralelo al recorrido aparente del sol. La inclinación de la cubierta debe ser aquella que permita que la radiación solar incida perpendicularmente sobre la cubierta al mediodía solar durante el solsticio de invierno, época en la que el sol alcanza su punto más bajo. Este ángulo deberá ser próximo a 60° , pero ocasiona grandes inconvenientes por la inestabilidad de la estructura ante vientos fuertes. Por ello se han tomado ángulos comprendidos entre los 8 y 11° en la cara sur y entre los 18 y 30° en la cara norte.

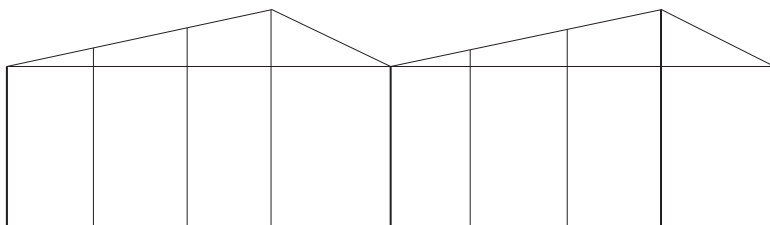


Figura 1.2. Estructura de invernadero tipo asimétrico o inacral

Ventajas de los invernaderos asimétricos:

- Buen aprovechamiento de la luz en la época invernal
- Su economía
- Elevada inercia térmica debido a su gran volumen unitario
- Estancos a la lluvia y al aire
- Buena ventilación debido a su elevada altura
- Permiten la instalación de ventilación cenital a sotavento

Inconvenientes de los invernaderos asimétricos:

- No aprovechan el agua de lluvia
- Se dificulta el cambio del plástico de la cubierta
- Más pérdidas de calor a través de la cubierta debido a la mayor superficie desarrollada en comparación con el tipo plano

Invernadero de capilla

Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según corresponda a un agua o a dos aguas.

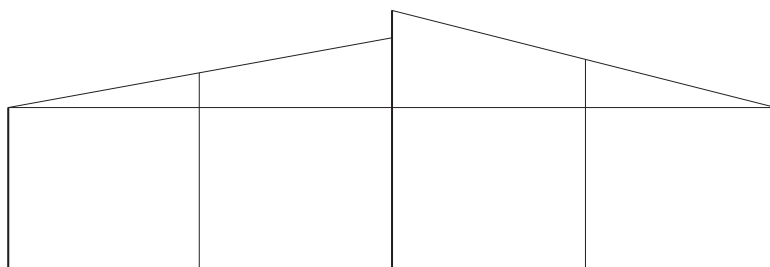


Figura 1.3. Estructura de invernadero tipo capilla

Este tipo de invernadero destaca las siguientes ventajas.

- Es de fácil construcción y de fácil conservación.
- Es muy aceptable para la colocación de todo tipo de plástico en la cubierta.
- La ventilación vertical en paredes es muy fácil y se puede hacer de grandes superficies, con mecanización sencilla. También resulta fácil la instalación de ventanas cenitales.
- Tiene grandes facilidades para evacuar el agua de lluvia. Permite la unión de varias naves en batería.
- La anchura que suele darse a estos invernaderos es de 12 a 16 metros.

La altura en cumbrera está comprendida entre 3.25 y 4 metros.

- Si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a 25° no ofrecen Inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia.
- La ventilación es por ventanas frontales y laterales. Cuando se trata de estructuras formadas por varias naves unidas la ausencia de ventanas cenitales dificulta la ventilación.

Invernadero de doble capilla

Los invernaderos de doble capilla están formados por dos naves yuxtapuestas. Su ventilación es mejor que en otros tipos de invernadero, debido a la ventilación cenital que tienen en cumbrera de los dos escalones que forma la yuxtaposición de las dos naves; estas aberturas de ventilación suelen permanecer abiertas y suele ponerse en ellas malla mosquitera. Además también poseen ventilación vertical en las paredes frontales y laterales.

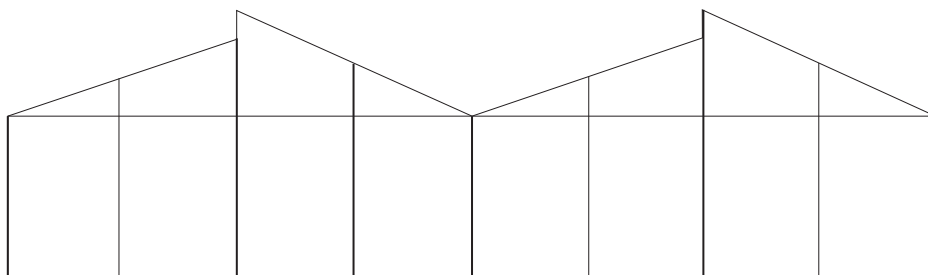


Figura 1.4. Estructura de invernadero tipo doble capilla

Este tipo de invernadero no está muy extendido debido a que su construcción es más dificultosa y cara que el tipo de invernadero capilla simple a dos aguas.

Invernadero túnel o semicilíndrico

Se caracteriza por la forma de su cubierta y por su estructura totalmente metálica. El empleo de este tipo de invernadero crece por su mayor capacidad para el control de los factores climáticos, su gran resistencia a fuertes vientos y su rapidez de instalación al ser estructuras prefabricadas.

- La altura máxima de este tipo de invernaderos oscila entre 3.5 y 5 m. En las bandas laterales se adoptan alturas de 2.5 a 4 m.
- El ancho de estas naves va de los 6 a los 9 m; permiten el adosamiento de varias naves en batería. La ventilación es mediante ventanas cenitales que se abren hacia el exterior del invernadero.

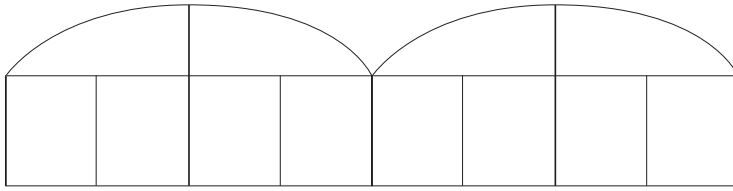


Figura 1.5. Estructura de invernadero tipo túnel o semicilíndrico

Ventajas de los invernaderos tipo túnel

- Estructuras con pocos obstáculos en su estructura
- Buena ventilación
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire
- Permiten la instalación de ventilación cenital a sotavento y facilitan su accionamiento mecanizado
- Buen reparto de luminosidad en el interior del invernadero
- Fácil instalación

Inconvenientes

- Elevado coste
- No aprovechan el agua de lluvia

Invernadero tipo multitúnel

Este tipo de estructuras se caracterizan por ajustarse con facilidad a las medidas requeridas, pueden tener dos o más túneles por nave, cuyas medidas de ancho y largo también se pueden ajustar para conseguir mejores espacios internos. Es necesario considerar la dirección de los vientos predominantes, pues juegan un papel importante en el diseño y ubicación de los mismos. Según el tipo de arcos en la parte superior de los túneles se pueden clasificar de la siguiente manera.

Invernadero gótico cenital ventana dinámica

Se caracteriza por la ventilación cenital que puede dirigirse a favor de la dirección del viento para que a su paso renueve al aire al interior del invernadero, incluso pueden mantenerse las dos ventilas abiertas para que el aire caliente suba y tenga salida.

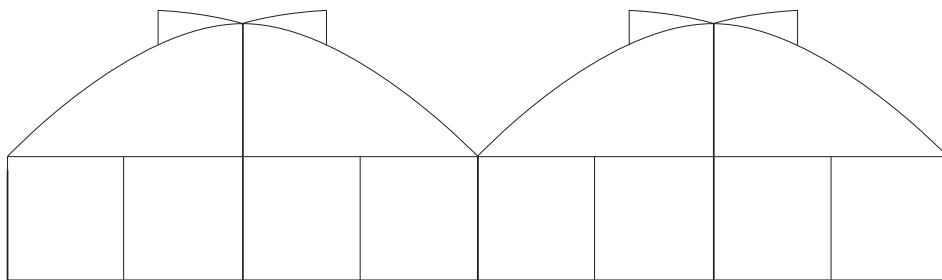


Figura 1.6. Estructura de invernadero tipo multitúnel, gótico cenital ventana dinámica

Invernadero gótico cenital ventana fija

La estructura de estos invernaderos es igual a la descrita con anterioridad. Cuentan con una ventila en la parte superior de los arcos, ubicada en contra del viento predominante para que de salida y renueve el aire del interior.

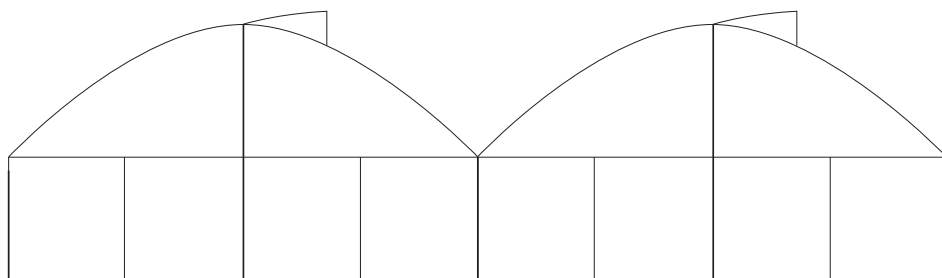


Figura 1.7. Estructura de invernadero tipo multitúnel, gótico cenital ventana fija.

Invernadero diente de sierra

Este tipo de invernaderos de una vertiente se comenzó a utilizar en zonas con muy baja precipitación y altos niveles de radiación. Se caracterizan por propiciar una excelente ventilación así como reducción de radiación por la estructura de soporte del techo.

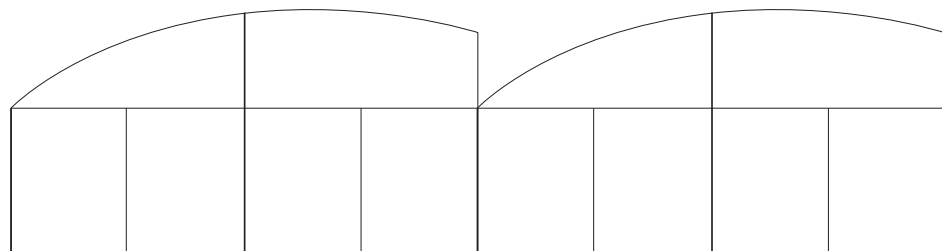


Figura 1.8. Estructura de invernadero tipo multitúnel, diente de sierra.

Invernadero poly-túnel

La estructura se define por el techo que carece de ventilas. Los arcos son pronunciados, para contener la mayor cantidad de aire, generalmente las medias lunas en estas estructuras son de malla antiáfidos. Se recomiendan para regiones con clima fresco.

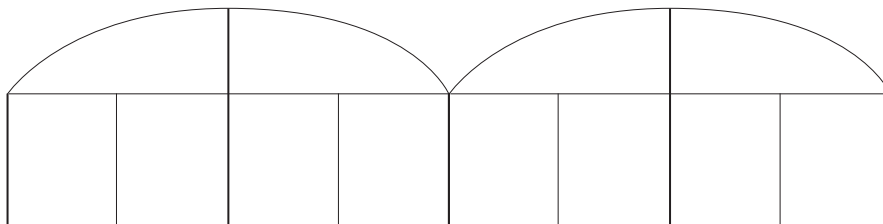


Figura 1.9. Estructura de invernadero tipo multitúnel, poly-túnel.

Invernadero de cristal o tipo venlo

Este tipo de invernadero, también llamado Venlo, es de estructura metálica prefabricada con cubierta de vidrio y se emplean generalmente en el norte de Europa. El techo de este invernadero industrial se forma con paneles de vidrio que descansan sobre los canales de recogida de pluviales y sobre un conjunto de barras transversales.

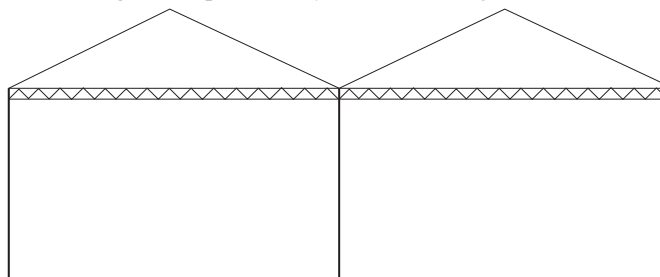


Figura 1.10. Estructura de invernadero de cristal tipo venlo.

Ventajas:

- Buena estanqueidad lo que facilita una mejor climatización de los invernaderos.

Inconvenientes:

- La abundancia de elementos estructurales implica una menor transmisión de luz
- Su elevado coste
- Naves muy pequeñas debido a la complejidad de su estructura.

Propiedades de los plásticos utilizados en la agricultura protegida

La elección de un determinado material de cubierta influirá en el tipo de estructura del invernadero, pues determinará el peso que debe soportar la estructura por tanto el espacio que debe haber entre pilares, barras de soporte, correas, distancia entre canal y cumbrera y forma del techo.

Peso. Los filmes de plástico tienen poco peso lo que reduce su exigencia en estructuras y por tanto aumenta la uniformidad de la luz en el interior al reducir el sombreo. Los materiales rígidos además de un peso mayor acostumbran tener un tamaño más reducido con lo cual requieren un mayor número de soportes que influirán también en una menor estanqueidad.

Densidad. Informa sobre la cristalinidad de los polímeros. Ésta modifica la flexibilidad, permeabilidad y propiedades térmicas del polímero. Una densidad baja facilita la manipulación y el transporte unido o un menor precio.

Espesor. Las unidades de medida serán milímetros generalmente utilizados para vidrio y plásticos rígidos y micras o galgas para los filmes, 100 m equivalen a 400 galgas (1 mm = 1000 m). En filmes el espesor recomendado para proteger el cultivo en las bajas temperaturas es de 200-800 galgas.

Resistencia a la rotura (especialmente en zonas de granizo, nieve o viento), resistencia a la deformación por altas temperaturas, resistencia a la rotura por bajas temperaturas.

Envejecimiento. El envejecimiento de los materiales utilizados como cubierta en invernadero es determinado por la degradación de sus propiedades físicas, radiométricas y mecánicas.

a) Envejecimiento físico. El seguimiento de la degradación física de los materiales se puede realizar regularmente por una simple observación que revele la aparición de desgarraduras en láminas plásticas y mallas de sombreo, desprendimiento de la capa de aluminio en pantallas térmicas, fractura de la muestra en materiales rígidos, etc.

b) El Envejecimiento Radiométrico es un procedimiento sencillo para determinar los cambios en la transmisión de luz de un material, debidos a la acción de los rayos solares, es medir periódicamente la radiación fotosintética activa (PAR) comprendida entre 400 y 700 nm, primordial para las plantas, ya que condiciona su rendimiento. Esta medida hecha tanto al aire libre como bajo el material de cubierta, nos informa de las variaciones en la capacidad para transmitir el máximo de luz.

La agricultura protegida en el mundo

La agricultura protegida está siendo adoptada en todos los continentes, en todo tipo de países y climas, en general presenta una elevada tasa de adopción, que es explosiva en regiones como América Latina y el Medio Oriente. Es pues un fenómeno de nuestro tiempo que avanza vertiginosamente, para el cual se debe estar preparado para facilitar e impulsar el proceso.

La superficie mundial con algún tipo de cubierta en el año 2004, fue de 4.3 millones de hectáreas, La región de mayor superficie con tecnología de agricultura protegida estaba en Asia con 84 %; seguida por Europa con el 12.78 % y América con el 3% (Olivares, 2008).

Nº	País	Superficie (ha)	Fuente
1	China	2 760 000.00	Yang, 2011
2	Corea del Sur	89 541.00	Ministry of Agriculture, 2012
3	Japón	87 886.00	MAFF, 2012
4	Turquía	61 776.00	Turkish Statistical Institute, 2012
5	España	45 700.00	EuroStat, 2010
6	Italia	39 100.00	EuroStat, 2010
7	México	21 531.00	SAGARPA, 2012
8	Holanda	9 820.00	EuroStat, 2010
9	Francia	9 790.00	EuroStat, 2007
10	EUA	8 425.00	US Census Hort Spec 2010

Cuadro 1.1. Principales países con agricultura protegida en el mundo, Fuente: AMHPAC, 2014

La industria de las hortalizas en el mundo no solo oferta productos desarrollados en el campo; la participación de los productos cultivados bajo cubiertas ha rebasado el estatus de nicho, convirtiéndose en un segmento que influye cada vez más en las tendencias de consumo de hortalizas y frutas, entre los cuales se ha alcanzado una importante diversificación. No obstante, la participación de mercado en los productos de invernaderos aún es minoría, representando oportunidades de negocio. Para dar un ejemplo, se estima que en EUA los tomates de invernadero representan el 17% del total consumido en fresco, siendo los supermercados sus principales canales de distribución y venta. En EUA y Canadá las grandes cadenas de supermercados buscan mejorar su posición competitiva y desarrollan marcas

propias de sus mercancías, por lo que constituyen una importante fuente de distribución para las hortalizas frescas y procesadas (Lamas, 2010). El país con mayor superficie cubierta es China con más de 2.5 millones de hectáreas y supera más de 30 veces a Corea del sur quien se posiciona como segundo en el mundo. Japón se ubica en el tercer sitio con una diferencia que oscila entre 1 600 hectáreas, menos que Corea del Sur. México ocupa el séptimo lugar con 21 531 hectáreas, reportadas en el año 2012.

La agricultura protegida en Norteamérica

En Norteamérica, México es el país que cuenta con mayor superficie agrícola cubierta y que mayor crecimiento ha tenido en los últimos años, mientras que EUA y Canadá han frenado su crecimiento, en razón del incremento de los costos de la mano de obra, los combustibles y la pérdida de rentabilidad (Figura 1.11). (Lamas, 2010). Los principales socios comerciales de México, sobre todo en el sector agropecuario, son EUA y Canadá, países a los que se canaliza hasta el 90% de las exportaciones de frutas y hortalizas.¹ Productores grandes y medianos hasta 1998 (más de un acre).² Excluye Casas-sombra.

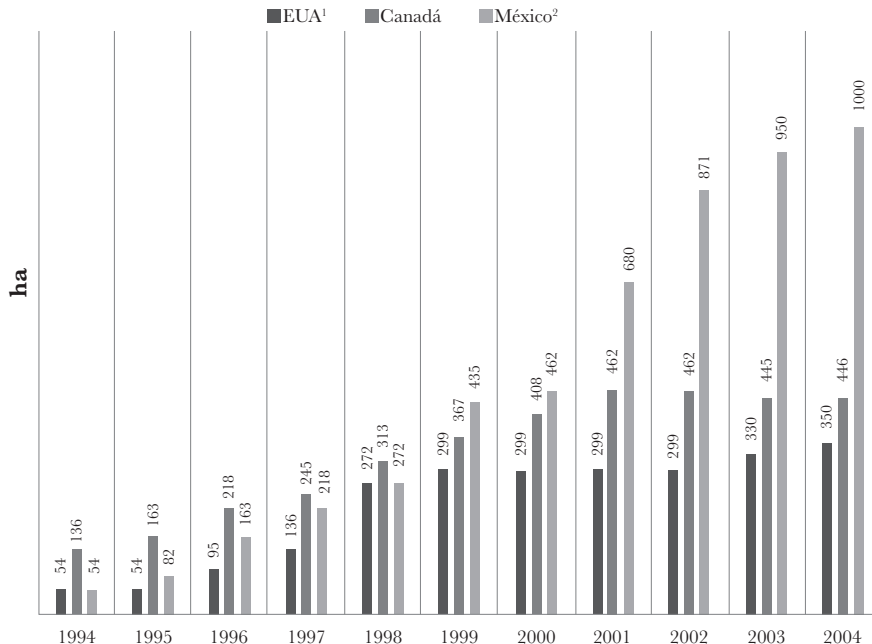


Figura 1.11. Tendencias de superficie con agricultura protegida en Norteamérica (FIRA, 2010 con datos de USDA y ERS).

Debido a la creciente conciencia de los beneficios de salud que ofrecen las hortalizas, la demanda de los consumidores ha crecido en todo el mundo. Por consiguiente, la comercialización de hortalizas se incrementó entre los países del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), en donde los EUA sobresalen por mucho en cuanto a número de consumidores y capacidad de compra. México participa con casi 70% y Canadá con 20% de todas las importaciones de hortalizas frescas (excluidas las congeladas y procesadas) hacia EUA. El resto de las importaciones de ese país provienen de Perú, China y otros países de Centroamérica y Asia (Lamas, 2010). En términos de valor, las importaciones de EUA de hortalizas frescas, congeladas y procesadas, crecieron con rapidez y alcanzaron un valor total de 7.8 billones de dólares en el año 2008, muy por arriba de los 3.8 billones de dólares en el año 2000.

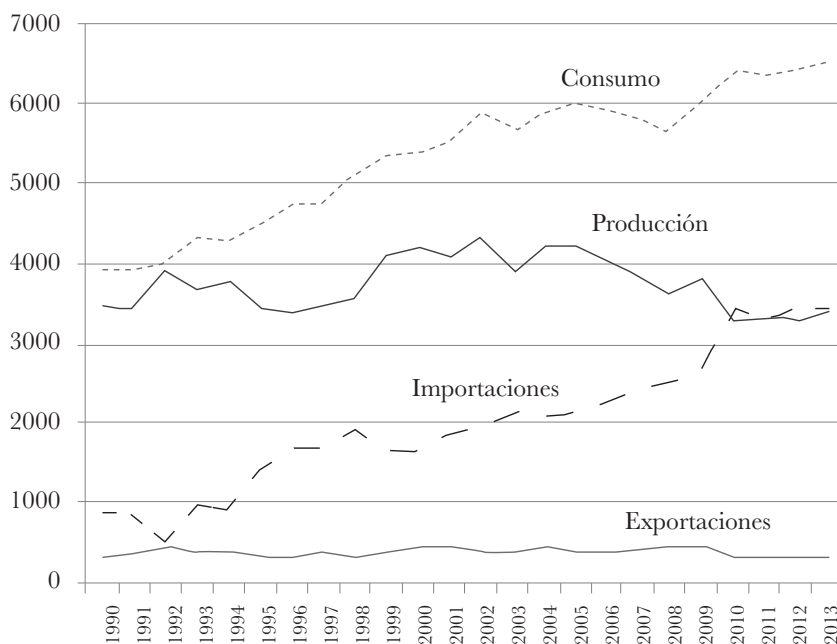


Figura 1.12. EE.UU. producción, consumo, importaciones y exportaciones de tomate.

Fuentes: USDA / ERS, Hortalizas y Legumbres datos Anuario 31 de mayo 2013 y actualización no publicada para 2013 (incluye estimación de la producción estadounidense en invernaderos)

Las hortalizas frescas participaron con el 58% del valor de las importaciones del año 2008; las hortalizas congeladas, deshidratadas y en conserva participaron con el 15%, y otros alimentos a base de hortalizas procesadas constituyeron el restante 27%. Considerando las ventajas comparativas y competitivas que ofrece el clima

y el costo de mano de obra, México conserva una participación del 50% del total de las importaciones de hortalizas frescas y procesadas por EUA desde 1998 a la fecha, muy por arriba de Canadá y Perú, sus más cercanos competidores (Lamas, 2010). Las tendencias en el mercado americano de tomate en cuanto a consumo e importaciones son a la alza, mientras que la producción muestra una caída a partir de los años 2004 y 2005 (Figura 1.12). Este comportamiento de mercado demuestra la creciente demanda por importación de tomate principalmente abastecida por México, y puede extenderse aun todavía más en el mediano plazo (Cook 2013).

La agricultura protegida en México

En México, las hectáreas protegidas han evolucionado desde 1998 a 2008, a una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) de 34.5%, existiendo diferentes versiones de su inventario. De la información obtenida en el II Simposio Internacional de Invernaderos 2008, de 8 834 ha con agricultura protegida, 49% eran de invernaderos tecnificados y de mediana tecnificación y 51% de malla sombra. La dinámica de la TMCA corresponde en un porcentaje importante (70%) al crecimiento de los invernaderos de mediana y baja tecnología. En México, los invernaderos de mediana tecnología han proliferado en la región del bajío y los de baja tecnología se han instalado, preferentemente, en los estados de Baja California y Sinaloa. La TMCA que registró la agricultura protegida durante el período 2001-2007 se concentró en superficies <1 ha. SAGARPA en el periodo señalado, apoyó 5 781 proyectos para instalación de invernaderos, en beneficio de 41 129 productores con 261.54 m per cápita, sumando una superficie de 1 075.7 ha de invernadero; lo cual refleja las características de las unidades de producción.

SAGARPA no tiene un único programa que apoye a la agricultura protegida, en conjunto ha apoyado 6 074 proyectos con 50 806 beneficiarios, con los cuales se han protegido 2 201 ha, invirtiendo en ellas a precios corrientes 2 045.6 millones de pesos (Moreno et al., 2011). Según reporte de la SAGARPA (2012), en México, existían alrededor de 20 mil hectáreas bajo agricultura protegida, de las cuales unas 12 mil hectáreas son de invernaderos y las restantes son mallas sombra y macrotúneles. Cuatro estados concentraban la mayor superficie de cultivo en invernadero: Sinaloa (30%), Baja California (16%), Estado de México (12%) y Jalisco (7%).

Estas entidades aportan el 65% de la superficie total de cultivos protegidos. Para el año 2014 estos estados siguen agrupando la mayor superficie con agricultura protegida en el país con 53.72%, pero ahora con menores proporciones: Sinaloa (27%), Baja California (11%), Estado de México (8%) y Jalisco (14%). El incremento en superficie en estos estados se ha mantenido, sin embargo, ha sido más marcado para el resto del país (AMHPAC, 2014).

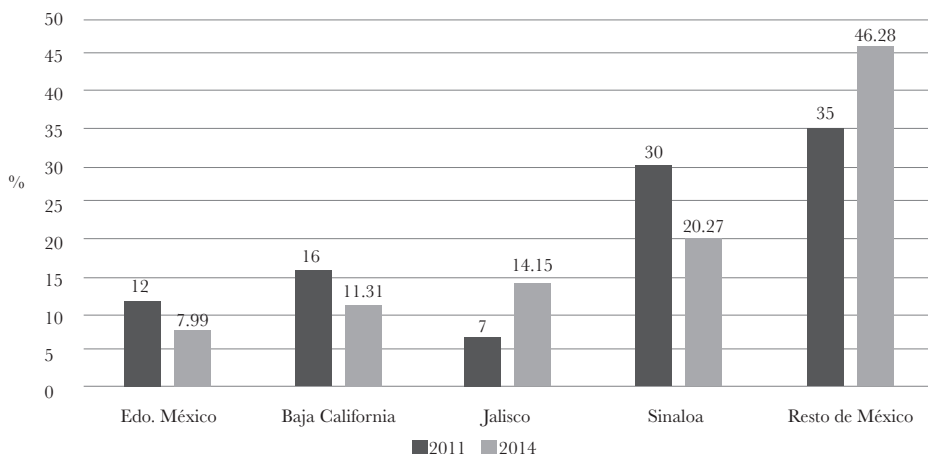


Figura 1.13. Principales estados con agricultura protegida en México.

Fuente: Elaboración propia con datos de la SAGARPA y SIAP 2011, SIAVI y SAGARPA 2014 e INEGI 2007.

De acuerdo con el Sistema Nacional de Información de Agricultura Protegida (SIAPRO), existían en el país, 16 mil 368 unidades de producción de este tipo con un promedio de dos instalaciones interiores. Con 90% de avance en la actualización a 2011, tres de cada cinco instalaciones (60.3%) se encuentra en operación (SAGARPA y SIAP 2011). La agricultura protegida mexicana es hoy una industria presente en los 32 estados del país, con una extensión superior a las 21 mil hectáreas (Cuadro 2.2).

La capacidad productiva significa más de 3.5 millones de toneladas de hortalizas, con un valor superior a los 1 500 millones de dólares. Actualmente los invernaderos y casas-sombra se convierten en una de las economías más pujantes del sector primario logrando alojar más de 240 mil empleos directos, 300 mil indirectos y generando 10 mil nuevos de forma anual (AMHPAC, 2014).

No.	Estado	Instaciones	Superficie	Frecuencia relativa	Frecuencias absolutas acumuladas	Frecuencias relativas acumuladas
1	Sinaloa	1 057.00	4 743.72	20.27%	4 743.72	20.27%
2	Jalisco	2 777.00	3 310.16	14.15%	8 053.88	34.42%
3	Baja California	1 247.00	2 647.07	11.31%	10 700.95	45.73%
4	Edo. México	2 911.00	1 869.00	7.99%	12 569.95	53.72%
5	Chihuahua	257.00	1 495.92	6.39%	14 065.87	60.11%

No.	Estado	Instaciones	Superficie	Frecuencia relativa	Frecuencias absolutas acumuladas	Frecuencias relativas acumuladas
6	Sonora	649.00	1 174.73	5.02%	15 240.60	65.13%
7	Puebla	2 933.00	1 045.20	4.47%	16 285.80	69.60%
8	Michoacán	859.00	1 004.06	4.29%	17 289.86	73.89%
9	San Luis Potosí	1 029.00	894.01	3.82%	18 183.87	77.71%
10	B. California Sur	321.00	797.65	3.41%	18 981.52	81.12%
11	Guanajuato	769.00	655.27	2.80%	19 636.79	83.92%
12	Zacatecas	654.00	411.04	1.76%	20 047.83	85.68%
13	Colima	347.00	403.60	1.72%	20 451.43	87.40%
14	Coahuila	284.00	353.99	1.51%	20 805.42	88.91%
15	Oaxaca	3 154.00	352.73	1.51%	21 158.15	90.42%
16	Chiapas	3 631.00	273.52	1.17%	21 431.67	91.59%
17	Querétaro	563.00	240.61	1.03%	21 672.28	92.62%
18	Morelos	1 036.00	237.63	1.02%	21 909.91	93.63%
19	Hidalgo	2 276.00	233.69	1.00%	22 143.60	94.63%
20	Tamaulipas	256.00	205.95	0.88%	22 349.55	95.51%
21	Distrito Federal	2 527.00	152.10	0.65%	22 501.65	96.16%
22	Guerrero	842.00	150.57	0.64%	22 652.22	96.81%
23	Nayarit	522.00	121.05	0.52%	22 773.27	97.32%
24	Nuevo León	278.00	106.64	0.46%	22 879.91	97.78%
25	Veracruz	211.00	93.38	0.40%	22 973.29	98.18%
26	Aguascalientes	229.00	87.70	0.37%	23 060.99	98.55%
27	Tlaxcala	1 118.00	79.79	0.34%	23 140.78	98.89%
28	Durango	355.00	74.55	0.32%	23 215.33	99.21%
29	Yucatán	345.00	67.67	0.29%	23 283.00	99.50%
30	Quintana Roo	144.00	52.02	0.22%	23 335.02	99.72%
31	Campeche	176.00	51.70	0.22%	23 386.72	99.95%
32	Tabasco	86.00	12.81	0.05%	23 399.53	100.00%
Total		33 843.00	23 399.53	100.00%		

Cuadro 1.2. Superficie con agricultura protegida por estados.

El ritmo de crecimiento de la agricultura protegida en México es de 1 200 ha/año, predominando casas-sombra e invernaderos de baja tecnología. Con un crecimiento promedio anual del 12% la agricultura protegida mexicana cuenta con una infraestructura instalada cuyo valor es mayor a los 3 500 millones de dólares. (AMHPAC, 2014).

En cuanto al tipo de infraestructuras, la superficie con membrecía en la AMHPAC había mostrado una tendencia a ser superior en invernaderos que en mallas-sombra, sin embargo, para el año 2013 las mallas-sombra se volvieron predominantes sobrepasando por 700 ha la superficie de invernados (Figura 1.14). (AMHPAC, 2014).

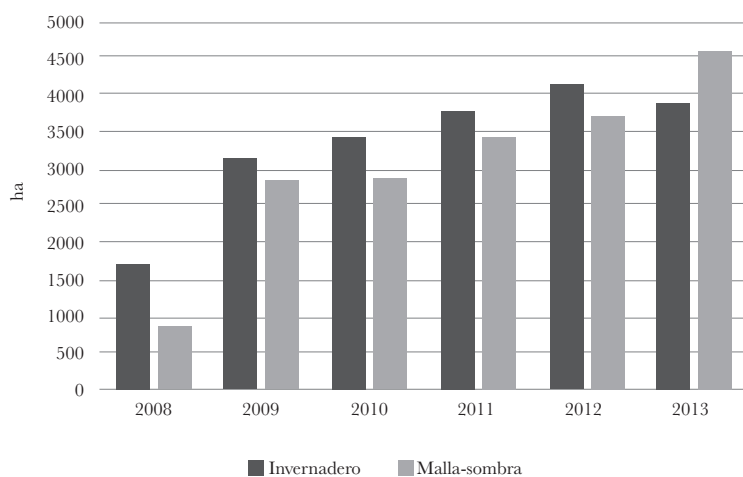


Figura 1.14. Tendencias de la superficie de invernaderos y mallas-sombra con membrecía en la AMHPAC.

Los principales cultivos que se producen en agricultura protegida son el tomate 70%, pimienta 16% y pepino 10%. En los últimos años se ha intensificado la diversificación de cultivos como la papaya, fresa, chile habanero, flores y plantas aromáticas. En cuanto a mercado en el caso de exportaciones México es el primer lugar en chile y tomate, cuarto en cebollas y séptimo en ajo; con esto, el país se ubica como la séptima potencia mundial en producción de hortalizas en agricultura protegida, se estima que anualmente entre el 80 y 90% de esta producción se destina a la exportación. Existe la necesidad de ampliar el mercado interno y diversificar la oferta, el tipo de productos y los mercados de exportación (AMHPAC, 2014).

Los tomates y los chiles son los que más los que más contribuyen al valor y el volumen de las hortalizas exportadas, exhiben una tendencia de franco

crecimiento. Sin embargo, los pepinos, calabacitas y lechugas también tienen una tendencia a la alza y su potencial para producirlos en agricultura protegida es amplio, si se considera que cada vez serán más las medidas restrictivas fitosanitarias y de inocuidad que tendrán que satisfacer los exportadores de alimentos en fresco si quieren conservar su participación actual (Lamas, 2010).

Lista de referencias

- ABC AGRO. Citado en 2016. *Principales tipos de Invernaderos*. Artículo disponible en: http://www.abcagro.com/industria_auxiliar/tipo_invernaderos3.asp
- Asociación Mexicana de Horticultura Protegida AMHPAC, 2014. *Tomate y chile morrón los más demandados en México*. Disponible en www.amhpac.org.
- Cook R., 2013. *Trends in the marketing of fresh produce and fresh-cut value added produce*. Dept. of AG and resource economics. Cooperative extension specialist. University of California Davis.
- Garza M. y Molina M., 2008. *Manual para la producción de tomate en invernaderos en suelo en el estado de Nuevo León*. Gobierno de Nuevo León. México. 183 pp.
- Lamas M. A., 2010. Oportunidades de negocio en agricultura protegida. *Boletín informativo FIRA*. Nueva época Núm. 7. 99p
- Metalizer. Citado 2016. *Boletín Tecnología mundial en invernaderos*. Ingeniería + tecnología + Servicios.
- Moreno A., Aguilar J., Luévano A. 2011 Características de la agricultura protegida y su entorno en México. *Revista Mexicana de agronegocios*. Vol. XV. Núm. 29. Julio-Diciembre pp. 763 – 774
- Olivares R. 2008. *La agricultura bajo cubierta, ¿una opción para el pequeño productor agrícola?* (El caso de los pequeños productores de tomate del estado de Hidalgo). Tesis Doctoral. CIESTAAM-UACH. Chapingo Edo. México
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (FAO - SAGARPA) 2007. *Producción de hortalizas a cielo abierto y bajo condiciones protegidas*. México. 33 pp.
- Sánchez, F. 2005. II Diplomado Internacional en Horticultura Protegida, Universidad Autónoma Chapingo, *Departamento de Fitotecnia*, pp. 4.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), 2012 disponible en www.sagarpa.gob.mx.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación SAGARPA y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca SIAP, 2011. Generan tomate la mitad de las unidades de producción agrícola controlada. *DISEMINA. Estudios del sector agroalimentario y pesquero*. Núm. 52. México DF. México.

II. MANEJO DE SUELOS Y SUSTRATOS EN INVERNADERO

Héctor Rodríguez Rodríguez

Introducción

La producción de tomate en invernadero, requiere de diversos insumos y actividades, para que pueda tener un rendimiento adecuado proporcionado por material genético, riego, manejo de plagas y enfermedades, manejo de planta, y otras. Siendo el suelo o el sustrato, una condición indispensable ya que además de ser el sostén mecánico de la planta, requiere estos elementos como vía para el abastecimiento de agua y nutrientes. Por lo que las características físicas y químicas, así como el manejo del suelo y sustrato influyen en el desarrollo de la planta, en su rendimiento y calidad de fruto.

Labores mecánicas, preparación del suelo

Se recomienda dar un paso con los arados o subsuelo, dicha labor al menos debe tener una profundidad entre 40 y 50 cm, para que permita el almacenamiento de la humedad, intercambio gaseoso, buena penetración de las raíces, evitando la compactación y la formación de capas endurecidas de suelo, que son condiciones adversas para el desarrollo del cultivo, lo anterior reduce la acumulación del agua en el subsuelo, por consiguiente se evita la pudrición de las raíces. Para no contaminar al suelo con microorganismos que provienen de otros sitios es necesario desinfectar los implementos con cloro con una proporción de cien mililitros de cloro, por cada litro de agua. Después es necesario enjuagarlos y realizar una doble rastra para que el suelo quede mullido, esta práctica se debe hacer con tiempo, después que se extrae la planta del ciclo anterior.

La construcción de camas o líneas de siembra, se hace de manera mecánica, al mismo tiempo se coloca la cinta de riego, es importante considerar la geometría del invernadero, así como la distribución de los soportes metálicos que dividen los túneles,

tratando que queden en el centro de las calles. Por lo general la separación va de 0.9 m a 1.4 m, entre camas.



Figura 2.1. Aplicación de composta en la cama de siembra

Después de realizar el bordeado se recomienda aplicar materia orgánica, en banda en una proporción de 500 kg/ha, hay evidencias que cuando se siembra directo en el suelo, la aplicación de materia orgánica disminuye la cantidad de fertilizantes minerales, ya que representa una carga de nutrientes así como beneficios físicos al suelo.

Acolchado plástico

De acuerdo con Gómez (2002), las principales ventajas del acolchado son:

- Incrementar la temperatura del suelo y reducir las fluctuaciones de las mismas
- Ayudar a reducir la evaporación del agua del suelo
- Evitar el contacto de los frutos con la tierra
- Disminuir el consumo de agua
- Evitar el desarrollo de malezas
- Disminuir las labores culturales
- Elevar la eficacia de los fertilizantes
- Incrementar la eficacia de los productos químicos aplicados por el sistema al evitar la pérdida al retener gases
- Reduce la incidencia de plagas y enfermedades
- Promueve el desarrollo de las raíces
- Disminuye el problema de compactación del suelo

Los materiales más utilizados son; polietileno de baja densidad lineal (PEBDL), polietileno de baja densidad (PEBD), policloruro de vinilo (PVC), y copolímero

de acetato de vinilo (EVA). Siendo el PEBD el más usado, debido a sus mejores condiciones mecánicas, permitiendo reducir el espesor de la película, lo que se manifiesta en menor cantidad kg/m^2 por consiguiente menor precio por unidad de superficie.

El espesor de estas películas varía entre 25 y 35 micrones (un micrón es una milésima de milímetro). Todas las películas deben llevar aditivos estabilizantes a la luz y absorbedores UV (SEMARNAT/CNA - OMM 2006).



Figura 2.2. Colocación de plástico y la cinta de riego en un invernadero Multitúnel (Tula. Tamaulipas)

En el mercado existen plásticos de diferentes colores, que tienen distintas funciones; los translúcidos son más eficientes que los opacos en el incremento de la temperatura, debido que tienen una transparencia entre 80 y 90% de la radiación recibida, debido a esa condición su uso está limitado en el invernadero.

El acolchado negro funciona como un cuerpo negro, absorbe entre 90 y 95% de la radiación transformando la misma en calor, es el que mayor temperatura presenta en su superficie y presenta mayores temperaturas en los primeros centímetros de suelo, pero es menos eficiente en el calentamiento en profundidad del suelo. Los naranjas y verdes son semi traslucidos por lo que permiten el paso de la radiación directa del sol, en mayor o menor grado dependiendo de la concentración del pigmento, provocando un calentamiento del perfil del suelo en profundidad menor que el cristal y mayor que el negro.

Los acolchados blanco/negro impiden el crecimiento de malezas. Reflejan la luz sobre las plantas, evitan evaporación del agua, retardan el ataque de áfidos y mosca blanca, controlan el exceso de temperatura. Los plata/negro, reducen la temperatura del suelo por la gran reflexión de radiación solar.



Figura 2.3. Acolchado plástico en un invernadero Parral y multitúnel, Tula, Tamaulipas.

El uso de la cubierta plástica en el invernadero puede ser de dos a tres años, de acuerdo a la calidad, en la actualidad existen películas tricapa que combinan las propiedades y mejoran su uso las cuales pueden usarse hasta en tres ciclos agrícolas (SEMARNAT/CNA - OMM 2006).

Desinfección del suelo

Es un procedimiento mediante el cual los microorganismos que originan enfermedades, focos de infección, nematodos y malas hierbas son erradicados, antes del trasplante. Existen métodos químicos y naturales. Dentro del primero existe una diversidad de productos de los cuales sobresale el producto Bunema® 55 GE, que es aplicado al suelo, que debe estar lo suficientemente mullido y tapado con plástico, el producto se transforma en gas que se disipa. El periodo de tiempo entre la aplicación del producto y la siembra o trasplante, varía de 14 - 21 días, existen otros productos en el mercado como BUSÁN 1020, la dosis depende de la forma de aplicación.

La solarización es un método natural u orgánico de desinfección, consiste en cubrir al suelo con una película de plástico al suelo después de haberlo llevado a capacidad de campo, este método representa una ventaja en el sentido de que no es agresivo con ciertos microorganismos del suelo, puede combinarse con bajas dosis de productos químicos. Una desventaja es que requiere condiciones de temperaturas que alcanzan dentro del suelo y un tiempo aproximado de 60 días para llevarlo a cabo (Benvenuti, 2009).

Mauromicale *et al.*, (2010), al estudiar el efecto de tres niveles de suplementación orgánica; 0.35, 0.70 y 1.05 kg/m², aplicados antes de la solarización,

en cultivo de tomate en invernadero. El crecimiento vegetativo de la planta mejoró mediante la suplementación, el diámetro del tallo aumentó en 18%, el peso fresco y seco aumentaron, en 53 y 44%, respectivamente, el número de hojas por planta en 16%. A medida que la tasa de suplementación fue incrementado entre 0 y 0.70 kg/m², la producción de fruta aumentó de 4.9 kg/planta a 8.3 kg/planta.

Sustratos

La finalidad del sustrato es asegurar un rendimiento abundante y de buena calidad en el menor tiempo posible y con costos menores. El uso de sustratos precisa de conocer bien características y propiedades del suelo (Quintero *et al.*, 2011).

Un sustrato es cualquier medio, sólido, natural o artificial, mineral u orgánico que sirve de soporte para las plantas y que podría participar o no en el proceso de nutrición (Abad y Noguera, 2000).

Hartman y Kester (2002) mencionan que existen muchos materiales que pueden ser usados como sustratos, la selección de estos materiales depende de la época, del material vegetal, sistema de propagación, costo, disponibilidad y características propias del material.

Ventajas del cultivo sin suelo

- Se obtiene una óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta.
- La nutrición es más controlada, ya que no existen interacciones.
- En sistemas cerrados, donde el drenaje es reutilizado, se puede conseguir un ahorro de agua y fertilizantes.
- Se pueden emplear sustratos distintos a los comercialmente conocidos, como paja de cereales, fibra de coco, ladrillo triturado, fibra de madera, fibra de caña, agave, material mineral inerte, residuos de la industria, etc.,
- Al emplear sustratos inertes, se tiene ausencia de enfermedades del suelo.
- Se obtiene en los cultivos una buena uniformidad que facilita las labores culturales, como podas, entutorados, etc. Se suprimen trabajos de incorporación de abonados de fondo, preparaciones de suelo y eliminación de malas hierbas.
- Se consigue mayor precocidad y mayor potencial productivo, debido que la planta cuando toma la solución nutritiva, consume menos energía.
- Generalmente se puede obtener una mejor calidad de fruto.

Inconvenientes cultivo sin suelo

- Cuando se trabaja a solución perdida, el sistema puede ser contaminante

- El vertido tanto de sustratos como de plásticos, también es contaminante
- Pueden aparecer enfermedades, en sustratos con mucho tiempo utilizados
- El sistema requiere de mayor precisión en el manejo del riego y la nutrición
- Se da una menor inercia térmica por lo que los cultivos están más expuestos a los posibles cambios de temperatura ambiental
- Se supone un mayor costo de instalación, tanto por los elementos de riego, por la adecuación del cabezal de riego, la adquisición de contenedores y sustratos
- Se requiere de capacitación a los operarios y asesoramiento técnico

Clasificación de los materiales utilizados como sustratos

Los criterios de clasificación están basados según las propiedades, origen, materiales, naturaleza, capacidad de degradación, entre otros.

Según sus propiedades:

Químicamente inertes: actúan como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes, siendo suministrados mediante la solución fertilizante. Arena sílica o granítica, perlita, lana de roca, arcilla expandida (Bures 1997).

Químicamente activos: sirven de soporte a la planta, pero a su vez actúan como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización, almacenándolos o liberándolos según las exigencias del vegetal; turbas, residuos de la industria maderera, vermiculita, etc. (Bures 1997).

Según su origen:

Materiales orgánicos

Natural: son materiales que están sujetos a descomposición biológica, por ejemplo la turba, tierra de monte, etc.

Sintéticos: comúnmente denominados plásticos: polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química como la espuma de poliuretano y poliestireno, espumas de resinas fenólicas (Bunt, 1988).

Residuos y subproductos: requieren una previa maduración o estabilización de su materia orgánica, por ejemplo, las cortezas de árboles, aserrín, residuos sólidos urbanos, lodos de plantas depuradoras de aguas negras, estiércoles, cascarilla de arroz, paja de cereales y polvo de coco (Chong y Cline, 1993).

Materiales inorgánicos

Origen natural: materiales obtenidos a partir de rocas o minerales de origen diverso (ígneos, metamórficos o sedimentarios), no son biodegradables; arena, grava, roca volcánica y zeolita.

Transformados o tratados industrialmente: materiales provenientes de rocas o minerales, que han sufrido un proceso químico o físico, con el objetivo de obtener fibras y o gránulos ligeros muy porosos, en este grupo se tiene la perlita, lana de roca, vermiculita, arcillas expandidas, etc., (Hitchon *et al.*, 1990).

Residuos y subproductos industriales: materiales provenientes de actividades industriales, residuos de procesos de combustión, desechos de minería, escorias de los hornos y escorias de carbón (Burés 1997).

Criterios de elección de un sustrato

Existen una diversidad de materiales que se pueden utilizar como sustratos, hay subproductos que mediante tratamientos es viable su uso, la elección de un material como sustrato generalmente es de acuerdo a: (Abad y Noguera, 2000).

Suministro y homogeneidad: cambios en la calidad del sustrato pueden provocar pérdidas en la producción, es indispensable que los productos sean de abundante suministro con elevada homogeneidad de sus características.

Costo: parámetro significativo aunque, no debe estar por encima de las características básicas; es preferible adquirir un sustrato de mayor costo que cumpla con las características mínimas ya que esto permita reducir riesgos.

Finalidad de la producción: la elección del sustrato dependerá el manejo y la calidad del producto

Propiedades: factor limitante que determinan el manejo del cultivo.

Impacto ambiental: se consideran dos grandes grupos de sustratos, los que provienen de recursos naturales difícilmente renovables como es el caso de la turba y los materiales transformados o tratados industrialmente (lana de roca), que constituye un problema su desecho.

Propiedades de los sustratos

Es importante tener conocimientos de las propiedades físicas y químicas de los sustratos por la simple razón de que el manejo adecuado del fertirriego y el rendimiento óptimo del cultivo están estrechamente ligados a ellas (Burés, 1997).

Granulometría

Se refiere a los diferentes tamaños de las partículas en que se componen los sustratos. Lo que permite que exista correlación entre el grosor de las partículas y los poros;

la retención de agua y la aireación (Burés, 1997). El mejor sustrato se refiere al material conformado por partículas de tamaño entre 0.25 y 2.5 μm , que retiene suficiente agua fácilmente disponible y posee un adecuado contenido de aire. El material fino aumenta la cantidad de agua fácilmente disponible por lo tanto el material gruesa incrementa la capacidad de aireación (Wilson, 1985).

Densidad aparente

Se define como la relación de la materia seca expresada en gramos que se encuentra en un centímetro cúbico del medio de cultivo. La densidad aparente indica indirectamente la porosidad del sustrato y su facilidad de transporte y manejo. Los valores de densidad aparente se prefieren bajos (0.1 a 0.7 gr/cm^3) y que garanticen una cierta consistencia (Burés 1998; Soria y Olivert 2002).

Densidad real

Se refiere al peso del sustrato entre el volumen que realmente ocupa sin tomar en cuenta el volumen de poros, en las partículas del sustrato, y la pared del contenedor, su valor varía según la materia de que se trate y oscila entre 2.5 y 3.0 g/cm^3 para la mayoría de los sustratos de origen mineral (Ansorena, 1994).

Permeabilidad

Es la capacidad que tiene el sustrato para conducir agua; se expresa en minutos. Su importancia se radica en el hecho de que el flujo de agua hacia las raíces de la planta debe ser elevado para reponer el agua perdido por transpiración (Burés, 1998). Abad *et al.*, (2004) mencionaron existen materiales que tienen dificultades para ser rehúmedados después de haber sido secados, lo que afecta el flujo de agua y provoca un retraso y una reducción en el crecimiento de la planta.

Agua fácilmente disponible

Es la diferencia entre la cantidad de agua retenida por el sustrato, tras su saturación y con el posterior drenaje a una tensión métrica de 10 cm y la cantidad de agua que se encuentra en dicho medio a una tensión de 50 cm, el valor óptimo está comprendido entre 20 y 30% (Abad *et al.*, 1993). Ésta es el agua que preferentemente deben tomar las raíces de las plantas, porque se requiere menor energía para extraerla del sustrato.

Agua de reserva

Es la diferencia entre el volumen de agua retenida a una succión de 50 y 100 cm (Abad *et al.*, 1993). Esta agua aún se encuentra disponible para la planta, sin

embargo, las raíces de la misma necesitan emplear mayor energía para extraerla del sustrato.

Agua total disponible

Viene dada por la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva. Nivel óptimo se encuentra entre el 24 y el 40% de volumen (Soria y Olivert 2002).

Agua difícilmente disponible

Es el volumen de agua retenida por el sustrato a una tensión de 100 cm de carga de agua (Abad *et al.*, 1993). La planta no la puede extraer del sustrato.

Porosidad total

Es el volumen total del sustrato de cultivo no ocupado por partículas orgánicas o minerales. El valor óptimo de porosidad es superior al 85%, razón por la cual se puede cultivar con volúmenes reducidos de sustrato, dejando un gran volumen disponible al aire y a la solución nutritiva. El total de poros se mide en microporos, que son los encargados de retener el agua, y los macroporos que permiten la correcta aireación y drenaje del sustrato. La porosidad puede ser: intraparticular (poros en el interior de las partículas), que podrá estar conectada al exterior o cerradas, esta última no será efectiva y se le conoce como porosidad ocluida o interparticular (Soria y Olivert, 2002).

Propiedades químicas

Se caracterizan las transferencias, de materia entre el sustrato y la solución del sustrato; reacciones de disolución, e hidrolisis de los constituyentes minerales, reacciones de intercambio de iones (físico-química), y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (bioquímica). Los materiales orgánicos son los componentes que contribuyen mayormente a la química, de los sustratos, debido a la formación y presencia de las sustancias húmicas (Cadahía 2005).

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Se define como la suma de los cationes, que pueden ser adsorbidos, por unidad de peso del sustrato, (o de volumen) del sustrato, meq/100 g. o meq/100 cc, dichos cationes quedan así retenidos frente al efecto lixivante del agua y están disponibles para la planta.

El valor óptimo de la CIC, de los sustratos depende estrechamente de la frecuencia de la fertirrigación (Lemaire y Charpeinter, 1989), si se aplica permanentemente, la capacidad de adsorción, de los cationes no constituye

alguna ventaja, por lo que se sugiere utilizar sustratos inertes, si se hace de forma intermitente, se recomienda utilizar sustratos, con moderada actividad de CIC, en este caso superior a 20 meq/100 g (Abad *et al*, 1993).

La materia orgánica, especialmente las sustancias húmicas, contiene grupos funcionales cargados negativamente, que son los responsables para retener los cationes. Durante el proceso de CIC, los iones orgánicos cargados negativamente son capaces de adsorber cationes (NH_4 , K, Ca, Mg, Na) en proporciones variables en función de la afinidad del catión por los centros de adsorción y de su concentración en la disolución. La capacidad de los sustratos orgánicos para adsorber cationes metálicos depende del pH, cuanto sea más alto, más elevada es la capacidad de intercambio catiónico.

Disponibilidad de nutrientes

La mayoría de los sustratos minerales que no se descomponen química ni biológicamente y desde un punto de vista práctico, se pueden considerar desprovistos de nutrientes. Por lo contrario los sustratos orgánicos difieren entre sí en el contenido de nutrientes asimilables, así algunos (turba *Sphagnum rubia*, mantillo de bosque, etc.), poseen un nivel reducido de nutrientes asimilables mientras que otros como el compost, presentan niveles, elevados, dependiendo dicho nivel del origen del compost (Cadahia, 2005).

Elemento	Valor
N – NO ₃	100 - 199
N- NH ₄	0 - 20
P	6 - 10
K	150 - 249
Ca	>200
Mg	>70
Fe	0.3 - 3.0
Mn	0.02 - 3.0
Mo	0.01 - 0.1
Zn	0.3 - 3.0
Cu	0.001 - 0.5
B	0.05 - 05

Cuadro 2.1. Niveles óptimos de los nutrientes en el extracto de saturación, en plantas ornamentales, en una mezcla de sustratos orgánicos

Todos los niveles pueden variar en función, de la especie vegetal, variedad cultivada, fase y ciclo del desarrollo del cultivo, medio ambiente, prácticas de manejo, etc., los intervalos que se presentan en los Cuadros 2.1 y 2.2, son una referencia a la hora de implantar un sistema de cultivo sin suelo.

	Nutriente	Nivel de referencia
Macronutrientes (mm/l)	N – NO ³⁻	10-20
	P	1-2
	K ⁺	4-8
	Ca ²⁺	4-6
	Mg ²⁺	1-4
Micronutrientes (μmol/l)		
	Fe	30-60
	Mn	10-20
	Cu	2-5
	Zn	3-7
	B	20-45

Cuadro 2.2. Niveles de referencia de los nutrientes en la solución del sustrato, en el cultivo hidropónico de tomate.

Salinidad

Es la concentración de sales solubles, presentes en la solución del sustrato. En aquellos que son inertes la salinidad es prácticamente nula, en sustratos orgánicos puede tener valores elevados. Se considera que valores de conductividad eléctrica superior a 3.5 mS/cm son excesivamente altos para la mayor parte de cultivos hortícolas.

Las causas más comunes son: 1. Presencia de fertilizantes insolubles, como los de liberación lenta. 2. Cuando la cantidad de sales aportadas con el agua de riego o la solución fertilizante es superior a las cantidades absorbidas o lixiviadas. 3. Cuando el sustrato presenta una elevada capacidad de intercambio catiónico, y al mismo tiempo, se descompone con el transcurso del cultivo, liberando nutrientes. Un incremento en la salinidad se puede prevenir o corregir, mediante la lixiviación, controlada, con agua de buena calidad hasta conseguir un volumen lixiviado, equivalente al volumen del contenedor. Otras actividades es mantener el

sustrato, permanentemente húmedo, no aplicar fertilizantes en polvo, ni soluciones fertilizantes con elevada fuerza iónica, cuando el sustrato esté seco y reducir el estrés de las plantas (Cadahia, 2005).

Salinidad extracto de saturación (ds/m)	Interpretación
< 0.74	Muy baja
0.75 - 1.99	Adecuada para plantas y sustratos ricos en materia orgánica. Demasiada baja si el sustrato es pobre en materia orgánica
2.00 - 3.49	Satisfactoria para la mayoría de las plantas. Reducción del crecimiento en algunas plantas sensibles
3.5 - 5.0	Ligeramente elevada para la mayoría de las plantas
>5	Reducción del crecimiento, plantas enanas, marchitamiento y quemaduras de los bordes de la hoja

Cuadro 2.3. Niveles de salinidad, extracto de saturación sustrato

pH

Las plantas pueden sobrevivir, en un amplio intervalo de pH del sustrato, sin sufrir desordenes fisiológicos aparentes, siempre y cuando todos los nutrientes se suministren de forma asimilable. Pero el crecimiento y desarrollo de las plantas se ven reducidos en condiciones de acidez o alcalinidad extrema.

El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilabilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. Bajo condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH del sustrato dentro de un intervalo reducido (Bunt, 1988).

La asimilabilidad de los elementos nutritivos es afectada por el pH, con valores 5.0 a 6.5, la mayoría de los nutrientes mantienen su máximo nivel de asimilabilidad. Por debajo de 5.0 pueden presentarse deficiencias de N, K, Ca, Mg, B, etc., mientras que por encima de 6.5 puede disminuir la asimilabilidad de P, Fe, Mn, B, Zn y Cu. Los óxidos metálicos (Fe, Mn, Cu, Zn) hacen más solubles al bajar el pH por debajo de 5.0) (Cadahia, 2005).

Relación Carbono/Nitrógeno (C/N)

Se utiliza tradicionalmente como un índice del origen de la materia orgánica, de su madurez y de su estabilidad. El valor de dicha relación da una idea del grado de inmadurez de los sustratos orgánicos y de su estabilidad. Un nivel de 30

puede ser indicativo de la falta de descomposición del sustrato, dando lugar a una inmovilización del nitrógeno de la solución y una reducción del oxígeno debido a la actividad microbiana. En sustratos para horticultura se recomiendan valores inferiores a 20 (Cabrera 1999). Una relación C/N entre 20 y 40 es considerada como óptima, para el cultivo en sustrato, es un índice de un material orgánico maduro y estable (Abad *et al.*, 1993). Todos los sustratos orgánicos, son susceptibles de degradación biológica, viéndose favorecida esta situación por las condiciones ambientales que prevalecen en los invernaderos.

Actividad reguladora del crecimiento

Es conocida la existencia de la actividad auxínica (que controla el crecimiento celular y la iniciación de raíces) en los extractos de muchos materiales orgánicos utilizados en los medios de cultivo de las plantas. Ya que dicha actividad hormonal no ha podido ser relacionada directamente con las sustancias húmicas.

Materiales utilizados como sustratos

Lana de roca

Tiene su origen en Dinamarca y posteriormente se desplaza a los Países Bajos. Se trata de un material de naturaleza mineral, transformado industrialmente por temperaturas elevadas. Conformado básicamente por silicato aluminico, que también contiene calcio y magnesio y en menor proporción hierro y manganeso. Se prepara a partir de una mezcla de rocas basálticas, piedra caliza y carbón de coque, en una relación 3-1-1, que se funde a unos 1600°C (Sonneveld, 1989).



Figura 2.4. Presentación del sustrato lana de roca, foto tomada de la página:

<http://www.huertosecologicos.es/WebRoot/Store/Shops/huertosecologicos/MediaGallery/germinacion.pdf>

Es un sustrato inerte, uniforme, sin capacidad de intercambio de cationes, una densidad aparente de 0.07 g/cm³. Tiene un espacio poroso total de 97%, una capacidad de aeración de 36% y un porcentaje de agua fácilmente disponible de

59%, el agua de reserva es de 0.3%. Su principal distinción con respecto a otros sustratos es que contiene más del doble de agua fácilmente disponible (González *et al.*, 2011). Se usa en forma de tablas de 60-120 cm de longitud por 10-30 de ancho por 7.5 a 10 cm de altura, forrados con polietileno blanco opaco.

Perlita

Es un silicato aluminico, de origen volcánico y composición variable, que depende de las características de la roca volcánica, donde regularmente proviene de rocas vítreas (grupo de las riolitas), formadas por enfriamiento rápido, constituye un material amorfo que contiene de 2 a 5% de agua. La perlita se emplea como mejorador de la estructura del sustrato (Moinereau, *et al.*, 1989).

Es un material inerte que no se descompone ni biológica ni químicamente. Al ser un silicato de aluminio, empleando soluciones nutritivas con pH inferior a 5, se puede producir una solubilización del aluminio y provocar fitotoxicidad. El pH es neutro o ligeramente alcalino inicialmente y puede ser corregido como en el caso de la lana de roca. Su salinidad es baja. Tiene muy baja capacidad de intercambio catiónico (1.5-2.5 meq/100 g). Conforman una estructura celular cerrada, su superficie es rugosa y contiene numerosas indentaciones, lo que le proporciona una gran área superficial y le permite retener agua en su superficie o en los poros existentes entre dichas partículas, siendo liberada a bajas tensiones. Por lo que las mezclas de materiales con elevada proporción de perlita están usualmente bien aireadas y no retienen cantidades elevadas de agua. Esta condición determina que la perlita se utilice ampliamente como componente de aireación en los sustratos del cultivo (Bunt, 1988).

Propiedad	M1	M2	M3	M4	M5
Densidad Aparente (gr/cm ³)	0.127	0.143	0.128	0.086	0.053
Espacio poroso total (% vol.)	87.0	85.9	86.7	94.0	97.2
Porosidad ocluida (% vol.)	7.6	8.1	7.9	2.4	0.6
Capacidad de aireación (% vol.)	58.1	29.1	41.9	18.0	24.4
Agua fácilmente disponible (% vol.)	6.9	24.6	17.6	38.3	36.6
Agua de reserva (% vol.)	2.7	7.0	6.7	9.5	8.4
Agua total disponible (% vol.)	9.6	31.6	24.3	47.8	45.0
Agua difícilmente disponible (% vol.)	19.3	25.2	20.5	28.2	27.8
Marfa <i>et al.</i> , (1993)					

Cuadro 2.4. Características físicas de cinco materiales de perlita.

La principal ventaja del cultivo en perlita, es la facilidad para mantener un perfil de humedad casi constante a lo largo de la zona radicular, con independencia del momento del día, las condiciones climáticas o el estado de desarrollo de la planta (Abad. 1995). La principal desventaja es que puede degradarse durante el ciclo del cultivo, perdiendo su estabilidad granulométrica, lo que puede originar el establecimiento de condiciones de anegamiento en la parte inferior de saco, con la consiguiente reducción de la aireación (Martínez, *et al.*, 2011).



Figura 2.5. Perlita en recipiente plástico rígido foto tomada de la página: <http://www.hortalizas.com/cultivos/cultivos-en-perlita-parte-12/>

Fibra de coco

Es un residuo orgánico industrial, con un buen potencial, para ser utilizado, como sustrato o componente de sustratos de cultivos. Se genera después que el mesocarpio fibroso del fruto del coco (*Cocos nucifera*), ha sido procesado para extraer las fibras más largas, las cuales se destinan a la fabricación de cuerdas, cepillos, etc., el tratamiento industrial de la fibra de coco genera cantidades elevadas de polvo y fibras cortas como residuo (Arenas *et al.*, 2002).

Se encuentra gran variabilidad en las propiedades entre lotes distintos, ya que está relacionado con diferentes técnicas culturales aplicadas a las plantaciones de los cocoteros, procedimiento industrial seguido para la extracción de fibra, la edad del residuo, etc., es un sustrato que retiene cantidades aceptables de agua fácilmente disponible, para un tamaño de partícula similar, la fibra de coco retiene menos cantidad de agua y está mucho más aireada que la turba. El pH es apropiado para el cultivo (alrededor de 7.5), pero la salinidad puede ser elevada en algunos casos. De acuerdo a Quezada y Méndez (2005) en un experimento la fibra de coco,

se caracterizó por tener una porosidad total de 84.42 %, capacidad de retención de agua 61.0 %, densidad aparente 0.053 g/cm³.



Figura 2.6. Fibra de coco en contenedores de plástico (foto tomada de la dirección <http://www.indap.gob.cl/noticia/tomates-hidroponicos-se-desarrollan-con-vigor-y-fuerza-de-la-mano-de-la-innovacion-y>)

Tezontle

Es un material triturado que proviene de las rocas volcánicas ígneas extrusivas, que se forman del magma expulsado por las erupciones volcánicas y son de color rojo o negro, de estructura vesicular y se localizan en la zona del eje neovolcánico del país, está constituido por silicatos de aluminio además de bióxido de hierro, se caracteriza por su alta porosidad y área superficial, existen diferentes tipos de tezontles que se diferencian entre ellos por su viscosidad, color y contenido de sílice presente en la roca y la temperatura de erupción, por lo que sus características dependen ampliamente por su composición mineralógica, es considerado como inerte desde el punto de vista químico (Bastida, 2002).

Característica	Tezontle (3 mm)	Tezontle (5 mm)
Agua difícilmente disponible (% del volumen)	7.8	8.0
Agua retenida (% del volumen)	1.9	1.1
Agua fácilmente disponible;	2.9	2.3
Capacidad de aireación (% del volumen)	44.4	56.5
Espacio poroso total (% del volumen)	67.0	67.9
Material sólido (% del volumen)	33.0	32.1

Cuadro 2.5. Características físicas del tezontle

El tezontle presenta una proporción variable de porosidad interna, que incluye al volumen de poros cerrados, que no están conectados con los poros externos y son los espacios que no pueden ser ocupados por el agua, y por lo tanto no intervienen en la relación agua aire del sustrato (Vargas *et al.*, 2008).

Trejo *et al.*, (2013), caracterizó al tezontle (Cuadro 2.5), tiene buena aireación, y con capacidad de retención de humedad que es dependiente del diámetro de la partícula, estos valores pueden cambiar, de acuerdo a la composición mineralógica (Raviv *et al.*, 2004).



Figura 2.7. Tezontle rojo ya preparado para sustrato

Característica	Valor
pH	7.35
CE (ds/m)	0.15
N (%)	0.61
P (mg/kg)	0.31
K (mg/kg)	2.74
Ca mg/kg)	22.0
Mg (mol/m ³)	10.09
Na (mg/L)	Nd

Cuadro 2.6. Características físico químicas tezontle

El tezontle es un material considerado como inerte, con valores de pH cercanos a la neutralidad (Bastida, 1999). Baja Capacidad de Intercambio Catiónico. Presenta

una proporción variable de poros internos, que no conectan, con los poros externos, por lo tanto son espacios que no tienen una relación agua aire del sustrato, ya que no pueden ser ocupados por agua, lo que representa una ventaja en cuanto al manejo, cribado y llenado de contenedores, al disminuir el valor de la densidad aparente (Vargas *et al.*, 2008). Los valores de densidad aparente pueden variar 0.49 g/cm^3 a 0.93 g/cm^3 , dependiendo de la granulometría. Los mismos autores reportan las propiedades químicas del tezontle (Cuadro 2.6).

Turbas

Son vegetales fosilizados, se definen, como la forma disgregada de la vegetación de un pantano, descompuesta de forma incompleto, a causa del exceso de humedad y la falta de oxígeno, que se va depositando a través del tiempo, mientras favorece la formación de estratos más o menos densos de materia orgánica, en lo que se pueden identificar los restos de diferentes especies vegetales (Penningsfeld y Kurzmann, 1983).

El material que llega a México, proviene de Canadá y los Estados Unidos, presenta una densidad de 0.4 a 0.08 g/cm^3 , espacio poroso de 95 a 97%, capacidad de aeración de 15 a 40 %, capacidad de retención de agua de 55% a 82%, capacidad de intercambio catiónico de 100 a 140 me/100g. Este material se conforma por restos de musgos y de otras plantas superiores, que se hayan en proceso de carbonización lenta, fuera del contacto con el oxígeno, por lo que conserva largo tiempo su estructura anatómica (Strasburger *et al.*, 1986).

Peck (1984) clasifica en dos los tipos de turba de musgo *Sphagnum*: turbas claras (rubias) y turbas oscuras. Las turbas rubias son llamadas así por su color claro y por su ligereza en peso, éstas poseen un elevado volumen de poros internos. Las turbas oscuras de *Sphagnum*, son el doble de pesadas que las turbas ligeras, y contienen un total de espacio poroso menor. El *Peat Moss* es un musgo que pertenece al género *Sphagnum*, que cuenta con más de 100 especies, comúnmente conocidos como musgos de turbera (*peat moss*) (Anicua *et al.*, 2009).

El uso de *peat moss* como sustrato está ampliamente difundido, por su capacidad de aireación, retención de humedad, excelente porosidad y baja aportación de sales solubles (Abad *et al.*, 2004).

La turba está formada por la descomposición parcial de musgos y juncos bajo condiciones ácidas de inundación y ausencia de nutrientes; los microorganismos que fragmentan o descomponen las plantas son excluidos, y por ello sólo ocurre la descomposición parcial de los tejidos muertos (Urrestarazu, 2000).

La turba ha sido muy utilizada en los países europeos debido a grandes reservas de turba o *peat moss* con características físicas y químicas ideales que tienen estos países (Cuadro 2.7).

Propiedad	Sphagnum rubia	Sphagnum negra	Herbácea negra
Índice de grosor (%)	46.00	42.00	
Densidad Aparente (gr/cm ³)	0.07	0.14	0.008
Espacio poroso total (% vol.)	96.00	91.00	94.00
Capacidad de Aireación (% vol.)	41.00	18.00	15.00
Agua fácilmente disponible (% vol.)	25.00	28.00	18.00
Agua de reserva (% vol.)	6.00	7.00	8.00
Agua total disponible (% vol.)	31.00	35.00	26.00
Agua Difícilmente disponible (% vol.)	24.00	38.00	53.00
Capacidad de retención de agua ml/l	687.00	804.00	741.00
Mojabilidad (min)	17.00	3.00	<0.05
Contracción (% vol.)	22.00	34.00	90.00
Fuente Abad <i>et al.</i> , (1996)			

Cuadro 2.7. Principales características físicas tres tipos de Turba

Peck (1984) cita que generalmente se acumulan bajo el agua, en áreas con temperaturas y niveles de oxígeno bajos; refiere que sus hojas presentan gran cantidades de poros que forman el sistema capilar interno que da la capacidad de almacenar grandes cantidades de agua disponible.



Figura 2.8. Aspecto general de la Turba (foto tomada de la página electrónica)
<http://fitosofia.blogspot.mx/2015/02/semilleros-hortícolas-1-parte.html>

Arena

Es un material de naturaleza silíceo, y de composición variable, que depende de los constituyentes de la roca original, de distinto tamaño, forma, composición y color. Las arenas incluyen las fracciones granulométricas entre 0.02 mm y 2 mm. El diámetro de las partículas más adecuadas oscila entre 0.5 y 2.0 mm, las arenas que se pueden utilizar son las de río (lavado) y las de tezontle, la Capacidad de Intercambio Catiónico es de 5 a 10 meq/l. Se emplea en mezcla con materiales orgánicos, no contiene nutrientes y no tiene capacidad amortiguadora (FAO, 2002).

La porosidad de la arena es alrededor del 40%, para un óptimo aprovechamiento como sustrato, deberían estar exentas de limos, arcillas, y carbonatos de calcio. Pueden proceder de canteras, (granitos, gneis, basalto, etc.) o de ríos, las primeras son más homogéneas y pueden estar constituidas por partículas angulosas, las segundas son más heterogéneas ya que resultan de mezclas de distintos materiales erosionados y transportados por las aguas y sus partículas suelen ser redondeadas. La arena es un sustrato prácticamente permanente, debido a su resistencia mecánica, es fácil de desinfectar (Moinereau *et al.*, 1989). Es un sustrato fuerte, por lo que una de sus funciones es aumentar la densidad aparente de las mezcla (Bunt, 1988).

Una arena deseable para la producción de plantas en maceta deberá contener principalmente partículas de tamaño mediano y grueso, por lo menos un 70 % con base en el peso. El uso de arenas con una distribución amplia (dispersa) de tamaños de partícula es indeseable, ya que podría resultar en un sustrato con baja capacidad de aireación. Debe evitarse por ejemplo el uso de arenas con porcentajes similares para cada clase de partículas (como 20 % para cada una). El uso de arena deberá restringirse a menos de una tercera parte del volumen total del sustrato, ya que puede resultar en un alto peso por volumen.

Mezclas de sustratos

La FAO (2002), cita que una norma básica para la preparación de un sustrato, es que la formula debe ser simple, el uso de muchos componentes aumenta los riesgos de una mezcla defectuosa, mal manipulada. Las propiedades físicas de los sustratos difieren entre sí y la mejor manera de corregir las características desfavorables de cada uno de ellos es combinarlos.

Un medio de cultivo bueno deberá reunir buenas propiedades físicas como aireación y drenaje, retención de agua y bajo peso húmedo por volumen. Es importante señalar que los valores de las propiedades físicas son establecidos en sustratos que después de haber sido regados a saturación se dejan drenar hasta alcanzar un equilibrio.

Mezcla
75 % turba + 25 % vermiculitas
75 % turba + 25 % perlita
75 % turba + 25 poli estireno
50 % turba + 50 % vermiculita
50% turba + 50% perlita
50% turba + 50% mantillo
25% turba + 75% vermiculita
25% turba + 75% perlita
25% turba + 75% poliestireno
25% turba + 75% corteza de pino (“compost”)
50% turba + 25% vermiculita + 25% perlita
50% corteza de pino (comp.) + 25% turba + 25% vermiculita
50% corteza de pino (comp.) + 50% tierra volcánica
50% corteza de pino (comp.) + 50% mantillo
33% corteza de pino (comp.) + 33% turba + 33% mantillo
Bloque prensado pequeño 50% turba + 50% tierra

Cuadro 2.8. Principales mezclas recomendadas

Fuente FAO 2002

Sustrato	Porosidad total	Capacidad de retención de agua	Porosidad de aire	Agua disponible para la planta	Peso húmedo
(%, con base en el volumen total del sustrato)					Kg/litro
“Sustrato Ideal”	70 - 85 ^a	55 - 70	10-20	>30	1 - 1.5
Turba ^b -Perlita	93	73	20	48	0.87
Turba -Vermiculita	94	81	13	60	0.99
Mezcla U. de C ^b	73	62	11	44	1.14

a: valores determinados en sustratos colocados en macetas de 15 cm y a capacidad de contenedor.

b: turba del musgo *Sphagnum*c:: Mezcla compuesta de partes iguales de turba, arena y aserrín de madera de *Sequoia*

Cuadro 2.9. Características de un sustrato ideal

En general, el sustrato deberá tener una porosidad total de por lo menos 70% con base en volumen. Más importante aún es conocer como la porosidad total está repartida entre aquel espacio ocupado por agua y aire.

Lista de referencias

- Abad, M. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. En: *Tratado de Cultivo Sin Suelo*. Urrestarazu G.M. 3a edición. Mundi-Prensa. Madrid, España pp. 113-158.
- Abad, M. y Noguera, P. 2000. *Los sustratos en el cultivo sin suelo*. Mundi-Prensa. España. pp: 137-152.
- Abad, M; Martínez P.F.; Martínez, M.D., y Martínez J. (1993), Evaluación Agronómica de los Sustratos de cultivo. *Actas Horticultura*, 11, pp 141 -154.
- Anicua, Sánchez, R.; Gutiérrez Castorena, P.; Sánchez García, C.; Ortiz Solorio, V. H.; Volke Halle, y Rubiños Panta, J. E. 2009. Tamaño de partícula y relación micromorfológica en propiedades físicas de perlita y zeolita. *Agricultura técnica en México*, 35(2), 147-156
- Ansorena, J. 1994. *Sustratos. Propiedades y caracterización*. Mundi-Prensa. España. 172 p.
- Arenas, M.; C. S. Varina; J.A.; Cornell, E. A. Hanlon and G.J. Hochmuth. 2002. *Coir as an alternative to peat in media for tomato transplant production Hort Science* 37: 309 – 312.
- Bastida, T.A. 1999 El Medio de Cultivo de las Plantas. Sustratos para Hidroponía y Producción de Plantas Ornamentales. Serie de publicaciones AGRIBOT No. 4 UACH. Preparatoria Agrícola, Chapingo, Méx. 72 p.
- _____. 2002. *Sustratos Hidropónicos. Materiales para cultivo sin suelo*. Serie de publicaciones AGRIBOT. UACH. Preparatoria Agrícola. Chapingo, México. 121p.
- Benvenuti, L. 2009. *Esterilización del terreno, comparación de sistemas solarización y aplicación de vapor* www.horticom.com revista en línea.
- Bunt, C. 1988. *Media and mixes for container-grown plants*. Unwin Hyman Ltd. Great Britain. 309 p.
- Burés, S. 1997. *Sustratos*. Ediciones agrotécnicas. España. 341 p.
- Cabrera, R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5(1), 5-11.
- Cadahía, C. 2005 *Fertirrigación Cultivos Hortícolas y Ornamentales*. Ediciones Mundi-Prensa 3ª edición, Madrid España pp. 308 – 316.
- Chong, C. and R.A. Cline. 1993. Response of four ornamental shrubs to container substrate amended with two sources of raw paper mill sludge. *HortScience* 28: 807-809.

- FAO, 1990 Soils Culture for Horticultural Crop Production. FAO. *Plant Production and Protection Paper*, N° 101 FAO, Rome, 188 pp.
- FAO, 2002. Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo, *Estudio Producción y Protección Vegetal. N° 90 FAO, Rome, 188* <http://www.fao.org/docrep/005/s8630s/s8630s08.htm#bm08..2.6.4>
- Gómez, P. G. 2002. *Agroplástico en México*. Editorial del Gobierno del Estado de Veracruz, México.
- González, J. M. A.; Pérez G. M.; Castro B. R.; Ramírez R. S. 2011. *Combinación de Sustratos y Solución Nutritiva en Chile Manzano (Capsicum pubescens R.)*. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo. Pp 18 -25.
- Hartmann, H. and D. Kester. 2002. *Plant propagation. Principles and practices*. Prentice Hall. New Jersey. 880 p.
- Hitchon, G.M., D.A. Hall, R.A.K. Szmidt. 1990. Hydroponic production of glasshouse tomatoes in Sardinian plaster-grade perlite. *Acta Horticulture* 287: 261-266.
- Lemaire, F.; Dartigues, A; L. M. y Charpeinter, S. (1989). *Cultures en Pots et Contenurs*. INRA - PHM Revue Horticole, Paris – Limoges, 184 pp
- Martínez, B.J., Muñoz P. Anton A. Rieradevall, J. 2011. Assessment of tomato Mediterranean production in open-field and standard multi-tunnel greenhouse, with compost or mineral fertilizers, from an agricultural and environmental standpoint. *Journal of Cleaner Production* V: 9: 9-10.p 985-997.
- Mauromicale, G., Lo Mónaco, A., Longo, A. M. G. 2010. *Improved efficiency of soil solarization for growth and yield of greenhouse tomatoes*. Agronomy For.
- Moinereau, J.; Herrmann, P; Favrot, J.C. y Riviere L.M. 1989. *Les substrats Inventaire, caractéristiques, ressources*. En: Les Cultures hors Sol. 2a Ed. Dir. D. Blanc. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Paria pp 15 -77.
- Peck, K. 1984. *Peat moss and peats*. Hummert's Quarterly 8(3): 1, 4-5.
- Penninggsfeld, F. y Kurzmann P. (1983). *Cultivos Hidropónicos y en Turba*. 2ª Ed. Ediciones Mundi – Prensa, Madrid. 343 pp.
- Quezada, R. G. y S. C. Méndez. 2005. Evaluación de sustratos para almácigos de hortalizas. *Agronomía Mesoamericana* 16(002):171–183.
- Quintero, M. F., C. A. González y J. M. Guzmán. 2011. *Sustratos para cultivos hortícolas y flores de corte. Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. pp: 79-108.
- Raviv, M.; Wallach, R. and Blom, T. J. 2004. The effect of physical properties of soilless media on plant performance, a review *Acta Horticulture*. 644:251– 259.
- SEMARNAT/CNA - OMM 2006. *Agroplasticultura y Riego Localizado*. Proyecto de fortalecimiento del manejo integrado del agua. México D.F.

- Sonneveld C. (1989) Rockwool as a substrate in protected cultivation, *Chronica Horticulture*, 29 pp. 33 -36
- Soria, B. y M.J. A. Olivert. 2002. *Cultivos sin suelo de hortalizas*. Generalitat Valenciana. España. 110 p.
- Trejo T. L.I.; Ramírez M. M., Gómez M. F.C., Cruz G. A. J., Baca C. G.A., y Tejeda S. O. 2013. Evaluación física y química de tezontle y su uso en la producción de tulipán *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Pub. Esp. <<http://redalyc.org/articulo.oa?id=263128352001>
- Urrestarazu, G. M. 2000. *Manual de cultivos sin suelo*. Coord. M. Urrestarazu. Ed. Mundi-Prensa. Servicio de publicaciones de la Universidad de Almería, España. Pp. 647.
- Vargas, T. P., R. J. Z. Castellanos, G. P. Sánchez, L. Ch. Tijerina, R. R. M López. y A. J. L. Ojodeagua. 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:375-381.
- Vargas, T., P., J. Zaragoza-Castellanos R., J. J. Muñoz R., P. Sánchez G., L. Tijerina Ch., R. M. López R., C. Martínez S. y J. L. Ojodeagua A. 2008. *Efecto del tamaño de partícula sobre algunas propiedades físicas del tezontle de Guanajuato*, México. *Agric. Téc. Méx.* 34: 323-331.
- Wilson, G. C. S. 1985. New perlite system for tomatoes and cucumbers. *Acta Hort.* 172: 151-156.

III. PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS HORTÍCOLAS

Héctor Manuel Rodríguez Morán

Introducción

Los sistemas de producción hortícolas intensivos y, en particular, bajo invernadero han demostrado un aumento de los rendimientos, en la homogeneidad y calidad de los productos cosechados, respecto a la producción tradicional, sin embargo, como contrapartida, estos sistemas se han vuelto excesivamente dependientes de insumos externos (insecticidas, fungicidas, fertilizantes, etc.) Mondino, *et al.*, (2008) aluden una estrategia de manejo que combine la rentabilidad con el respeto de los recursos naturales y el medio ambiente, concientizando la implementación de medidas preventivas. La calidad y sanidad de plántulas es un componente fundamental e imprescindible de la ecuación productiva.

La producción de plántulas en bandejas para trasplante se ha incrementado en los últimos años, esto como consecuencia del alto costo de las semillas, la fragilidad de los embriones, dificultades para tener una emergencia rápida y uniforme, por lo que en algunas especies hortícolas, no es práctico realizar la siembra directa de la semilla en el campo. Planteándose la necesidad de desarrollar procedimientos para la producción de plántulas y posterior trasplante al sitio definitivo.

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos más importantes en todo el mundo, radica en la gran aceptación que tiene a nivel mundial por su aspecto, textura y sabor que se adapta a una infinidad de platillos de las diversas culturas y gastronomías en el mundo (Lesur 2006). México no es la excepción, el tomate es una de las de las especies hortícolas con gran trascendencia, tanto por la superficie de siembra como por el rendimiento económico que este cultivo arroja, considerando a nuestro país como el más grande exportador de tomate a nivel mundial; razón por la cual, se debe

implementar el uso de nuevas tecnologías para la obtención de plántulas sanas y vigorosas garantizando la obtención de una producción rentable (Guzmán, 2003).

El siguiente capítulo tiene por objetivo transferir e implementar conocimientos validados en la producción de plántulas de tomate, bajo sistemas distintos a los tradicionales, mediante técnicas que aumenten los porcentajes de germinación y el buen desarrollo de las plántulas.

Empleo de semillas certificada

Antes de discutir las labores o prácticas culturales para la producción de plántulas, es conveniente referirnos a la semilla y facilitar la comprensión de la importancia de un buen semillero.



En el caso del tomate, al emplear semillas certificadas, se obtiene una mejora general de la productividad, logrando una mayor uniformidad en la germinación y en el desarrollo inicial de las plantas. (Figura 3.1)

Figura 3.1. Semillas certificadas de tomate Híbrido Moctezuma

La semilla es el vehículo en que se transmiten las características genéticas que determinaran los rasgos de calidad del cultivar que deseamos producir y su nivel de rendimiento potencial por lo cual, la calidad de semilla es uno de los factores que rige el potencial de rendimiento de una variedad.

La Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas de México, menciona particularmente cuatro puntos que garantizan la calidad y trazabilidad de las semillas de calidad.

- **Calidad Física:** Medida de la pureza física de la semilla, se expresa como el porcentaje del peso que corresponde a la semilla de la especie, con respecto al peso total de la muestra de un determinado lote;
- **Calidad Fisiológica:** Medida de la capacidad de la semilla para producir material de propagación fisiológicamente viable, se expresa como el porcentaje de semilla fisiológicamente viable, con respecto al total de la muestra de un lote;
- **Calidad Fitosanitaria:** Medida de la sanidad de la semilla que evalúa y determina la presencia o ausencia de organismos patógenos en el lote de semillas;

- **Calidad Genética:** Medida de la identidad genética de la semilla, se expresa como el porcentaje de semillas viables que se identifican con respecto a los caracteres pertinentes de la variedad vegetal.

Sistemas de producción de plántulas

Las hortalizas se dividen en dos grupos: las que se siembran directamente y las que son típicamente de trasplante. Las hortalizas que normalmente se trasplantan, muestran una rapidez en la regeneración de raíces adventicias. El tomate y la col, por ejemplo, se siembran primero en camas o en bandejas germinadoras de poliestireno, por lo que se trasladan al campo o invernadero en la operación denominada trasplante.

No es el caso de las hortalizas como la zanahoria, espinaca acelga, etc., pues las plantas de estas especies tienen un sistema radicular que exige desarrollarse en un mismo sitio.



Los trasplantes pueden ser con cepellón y a raíz desnuda. En la primera modalidad, las plantas sufren menos retraimiento y su crecimiento no se paraliza. Con el trasplante a raíz desnuda, siempre hay rotura de raicillas y las plantas experimentan un tipo de decaimiento aunque sea pasajero. (Figura 3.2).

Figura 3.2. Plántulas para trasplante con cepellón y a raíz desnuda

Para la producción de buenas plántulas, definidas como plantas pequeñas producidas por semilla de pocas semanas de edad y que se utilizan en los cultivos de trasplante para establecer el plantío definitivo, es necesario considerar los siguientes factores:

- Usar semilla de buena calidad.
- Las condiciones ambientales deben ser apropiadas (agua, temperatura, oxígeno y luz, en su caso);
- Empleo de un sustrato adecuado o la preparación correcta de la cama de siembra;
- Conocer las características fisiológicas del cultivo (días requeridos para la germinación, el trasplante en su mejor edad y condición).

Camas de siembra (Almácigo)

Suelen utilizarse principalmente como lechos de siembra, para favorecer el crecimiento de las plántulas en las primeras fases de su desarrollo, se *suelen*

hacer directamente sobre el suelo incorporando materiales frescos orgánicos o compostados o materiales inorgánicos que proporcionan características físicas adecuadas (Figura 3.3).



La forma en que se realice la preparación del terreno depende de varios aspectos como son: la profundidad de la siembra, la distancia de siembra, la época de siembra, la humedad y la aireación necesaria para la semilla (Maroto, 2008)

Figura 3.3. Almacigo de tomate directamente sobre el suelo

Una vez sembradas las semillas, al cabo de 15-25 días, se obtiene un material de propagación con 3-4 hojas y una altura promedio de 15 cm, el semillero se riega de forma abundante para el arranque de las plántulas y después del trasplante a su sitio definitivo, este sistema es conocido como trasplante a raíz desnuda.

A pesar de obtener un material de propagación de “bajo costo”, el sistema va siendo reemplazado por el uso de contenedores y sustratos preparados, para la obtención de una plántula sana, vigorosa, uniforme y oportuna y que facilite el trasplante ocasionándole un daño mínimo y garantizando un rápido establecimiento (Vallejo y Estrada, 2004).

Speedlings

Cultivos como el tomate o pimiento no se siembran directamente en el suelo, sino en semilleros. Las plántulas tipo *speedlings* se preparan en bandejas especiales de poliestireno (Figura 3.4). Algunas ventajas de este sistema son:

- Permitir atender con mayor cuidado a las plántulas, cuando están en la etapa de crecimiento cuando son más vulnerables al ataque de las plagas del suelo, gusanos, minadores, etc.
- Favorecer la protección de las plántulas cuando las condiciones ambientales son adversas, como por ejemplo la baja disponibilidad de agua en el suelo o las altas temperaturas.
- Mayor eficiencia en el uso de la mano de obra y otros insumos, ya que las plántulas se tienen concentradas en un área relativamente pequeña.
- Seleccionar las plantas que irán al campo, lo que garantiza que la plantación será más uniforme y más sana.

- Algunas desventajas que se mencionan son:
- Se requiere mucha mano de obra para establecer la plantación definitiva.
- Las plantas pueden sufrir un estrés como consecuencia del trasplante; Maroto (2008) indica que si las plantas se “cultivan” en una primera fase bajo ambientes controlados y después se trasplantan al aire libre, las plántulas pueden experimentar lo que se conoce como “shock ultravioleta” que induce un mal crecimiento.

El establecimiento exitoso del trasplante depende básicamente de un desarrollo adecuado del sistema radicular, por ejemplo al efectuarse el trasplante de plántulas de tomate tipo *speedlings*, éstas poseen una raíz pivotante restringida con un desarrollo constante de raíces laterales y basales, en cambio las plántulas establecidas vía siembra directa desarrollan una raíz pivotante vigorosa, con desarrollo variable de raíces basales.



Figura 3.4. Producción a gran escala de plántulas bajo invernadero

Producción de tomate en charolas y con sustrato

Bracho (2005) destaca que una alternativa útil para cultivos de alta importancia como el tomate, es la producción de plántulas con el uso de sustratos bajo ambientes controlados. Este sistema ha permitido incrementar la productividad, además de obtener un producto de mejor calidad, obtenido con un uso más racional y reducido de los insumos, y como consecuencia, un menor daño al medio ambiente.

Descripción de los diversos materiales que se emplean habitualmente:

Bandejas. Son de tamaño adecuado para 100-200 plántulas dependiendo el tamaño requerido para cada especie. El tamaño adecuado de la cavidad (espacio ideal para el sistema radical) para el tomate 1.5” (Figura 3.5). La forma más adecuada del bloque es la forma tipo pirámide con altura entre 5 y 8cm. Cada

cavidad debe tener en el fondo un agujero para su drenaje. Se emplean dos tipos de bandejas:

Charolas de poliestireno: La utilización de charolas de poliestireno (hielo seco), para la producción de plántulas de hortalizas es común desde hace mucho tiempo. Es un copolímero perteneciente a la familia de los plásticos.

Como principales ventajas se enumeran las siguientes:

- **Aislamiento térmico.** Permite que las plantas estén protegidas de cambios de temperatura y facilita que las semillas cumplan con su primera etapa de desarrollo.
- **Llenado.** La rigidez estructural permite llenar las cavidades con sustrato en forma rápida y simultánea, ya sea en forma manual o automatizada.
- **Tienen una vida útil de hasta 5 años**

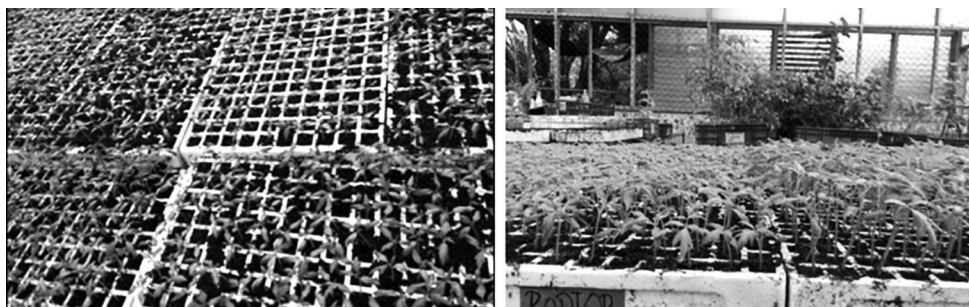


Figura 3.5. Plántulas de tomate en bandejas de polietileno



Figura 3.6. Bandejas de polietileno negro flexible

Charolas de polietileno. Están fabricadas con material plástico (polietileno) flexible. Como principales ventajas se enumeran las siguientes:

- a) Su flexibilidad facilita la extracción de las plántulas sin generar daño en las raíces.
- b) Su plástico es antiadherente, lo que facilita el trasplante de las plántulas sin que estas dañen sus raíces.

c) Cada charola flexible tiene una vida útil de hasta 2 años.

Sustrato. Un buen sustrato es esencial para la producción de plantas de alta calidad.



Los sustratos empleados son muy diversos tanto en sus características físicas como químicas, cuyas propiedades se basan en estar libres de enfermedades, y semillas de maleza, una elevada porosidad, gran capacidad de retención de agua fácilmente disponible, drenaje rápido, buena aireación, distribución del tamaño de partículas, baja densidad aparente y muy estable, entre los más utilizados se mencionan el peat moss, vermiculita y la perlita. (Figura 7)

Figura 3.7. Bloque prensado de *peat moss*

Infraestructura. Los semilleros se colocan bajo protecciones de invernaderos y mallas, siempre en recintos protegidos y cerrados, debido a que las plántulas deben estar protegidas de la lluvia, de las temperaturas extremas, y de los insectos plagas (Figura 3.8). Las bandejas se colocan encima de una mesa, debiendo asegurar un espacio de aire por debajo de las bandejas.

La mesa debe quedar a la altura de la cintura para facilitar los tratamientos y el manejo. En el caso del tomate, las plántulas son muy exigentes en el suministro de la luz, por lo tanto tienen que ser cultivadas bajo una cobertura que satisfaga el fotoperiodo requerido.



Figura3.8. Producción de plántulas en invernadero multitúnel

Procedimiento para siembra de charolas

Preparación de las charolas

Al utilizarse charolas del ciclo anterior es recomendable realizar un tratamiento previo a la siembra con el propósito de disminuir riesgos de enfermedades criptogámicas, por lo que se recomienda lavar y desinfectarlas minuciosamente, antes de iniciar la siembra; para su limpieza se sugiere utilizar abundante agua y detergente en el proceso de lavado para lo cual se debe tallar con un cepillo hasta eliminar cualquier residuo de sustrato, plántula o impurezas presentes; una vez lavado se procede a la desinfección utilizando una solución de blanqueador para ropa (cloro) en una proporción 20:1 (20 L de agua con 1 L de cloro comercial) Reveles (2008).

Llenado de charolas

Se requiere un aproximado de 4.0 L de sustrato (*peat moss*) por charola de 200 cavidades. El llenado de las charolas se debe efectuar con el sustrato húmedo sin compactarlo, buscando siempre que se llenen hasta el ras; se recomienda no “sacudir” las charolas, a fin de evitar compactación del sustrato y posibles problemas de drenaje, sin embargo al emplear sustratos como la perlita no hay problemas de compactación. Se llenan las cavidades uniformemente de forma manual evitando tirar el sustrato fuera del contenedor. Los hoyos para la siembra se pueden realizar con los dedos o con un molde adecuado para el tamaño y número de hoyos en la bandeja. La profundidad de los hoyos para la siembra debe ser uniforme y de acuerdo al tamaño de la semilla, en caso del tomate se siembra a un aproximado de 0.5 cm.

Siembra

Por la alta seguridad de germinación de las semillas (mediante el uso de semillas de calidad), se coloca en general, una semilla por cavidad, al no emplearse semillas certificadas es recomendable hacer un ensayo de siembra para verificar el porcentaje de germinación. Posteriormente las semillas sembradas se tapan con la misma mezcla.

Sembradora automatizada

Existen sistemas de producción de plántulas en las que todas las operaciones del proceso se desarrollan, de forma manual empleando algunas herramientas simples y están los sistemas de producción de plántulas en los que todas las operaciones se realizan utilizando medios mecanizados, es decir, máquinas, equipos y dispositivos formando módulos separados para las distintas operaciones del proceso de siembra y sistemas de producción mecanizados (Figura 3.9).

El principal propósito de este sistema es la obtención de gran volumen de producción, mencionándose a continuación las operaciones primordiales en proceso tecnológico de siembra en bandejas:

- a) En algunos casos, el desmenuzado y mezclado del sustrato.
- b) Suministro o abastecimiento de recipientes (bandejas, macetas, entre otros), a la cadena del proceso de siembra.
- c) Llenado de los recipientes con sustrato.
- d) El punzonado sobre el sustrato formando una cavidad en el centro de los alveolos de la bandeja para el asentamiento de la semilla.
- e) La siembra propiamente dicha.
- f) La aplicación de vermiculita u otro sustrato adecuado para el cubrimiento de la semilla, que facilite su emergencia.
- g) La humectación del sustrato para la germinación de la semilla.



Figura 3.9. Proceso de siembra automatizada. A) desmenuzado y llenado de bandejas. B) punzonado sobre el sustrato. C) siembra. D) cubrimiento de la semilla y humectación del sustrato

Dependiendo del tipo de sembradora, algunas emplean cámaras de vacío con una serie de orificios, agujas y boquillas que utilizan una fuente de generación de vacío y aire comprimido para transferir semillas, desde un depósito de semillas hasta las cavidades de las bandejas. En general, en todos estos sistemas es necesario adecuar los elementos del sistema de dosificación, en función del tipo de bandeja a utilizar y del tipo de semilla a sembrar, para asegurar una siembra de calidad (Gaytán *et al.*, 2007).

Incubación

Una vez terminado el proceso de la siembra, se riegan las bandejas en abundancia y se ponen una arriba de la otra dentro de una habitación de germinación en condiciones estables de temperatura (24°C) y de humedad del 100%.



Cuando no se cuenta con cámaras de germinación, cada pila de bandejas se tapa con plástico negro o transparente, para mantener la humedad del sustrato. Transcurrido 76-92 h, se abre la pila y se colocan las bandejas encima de las mesas dentro del invernadero. La duración del tiempo desde la siembra hasta la germinación depende de la temperatura, a mayor temperatura menor el tiempo. Es de suma importancia que no se inicie el proceso de elongación de las hojas de las plántulas antes que las bandejas hayan sido puestas en el invernadero.

Figura 3.10. Cámara de germinación

Manejo de las plántulas

Riego

Apenas se colocan las bandejas en el invernadero, se comienza el riego de las plántulas. Debe realizarse un riego diario, dependiendo de las condiciones ambientales (en zonas áridas varias veces al día). Es bueno insistir que el riego debe realizarse con agua de calidad (Shany, 2005).



Figura 3.11. Aplicación del riego

El mejor sistema para el riego es el “brazo” móvil con boquillas (Figura 3.11). El uso de microaspersores no es muy eficaz ya que el riego no es suficientemente uniforme.

Fertilización

La fertilización es un factor problemático y determinante para la obtención de buenas plántulas, un mal manejo de nutrientes puede causar una elongación no deseada, amarillamiento y hasta una quema.

Esta labor se efectúa cuando brotan las primeras hojas verdaderas, empleando fertilizantes que contienen macro y microelementos. Los más importantes son NPK y el hierro. La fertilización debe ser incorporada junto con el riego y no como aplicación foliar.

Principales dificultades en la producción de plántulas de tomate

Etiolación

Es un fenómeno común en el cultivo de plántulas en bandeja, ocasionando la elongación exagerada del tallo. Este fenómeno es causado por la alta densidad de plantas y por la competencia de luz. Para controlar este síndrome se emplean reguladores de crecimiento. Estos productos actuarían como una hormona anti-giberélica, entre los más empleados se encuentra el paclobutrazol, en general en las solanáceas, particularmente en el tomate responde muy bien.

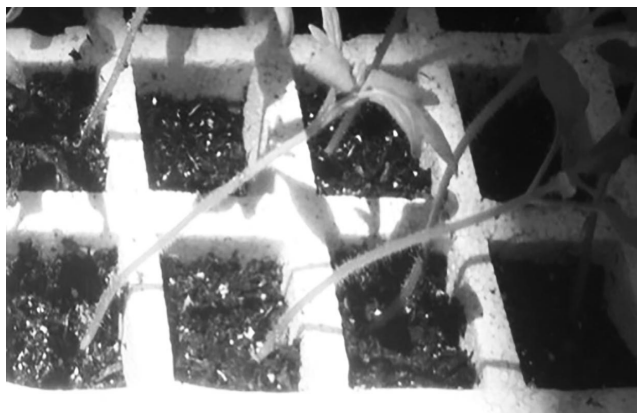


Figura 3.12. Plantas de tomate etioladas

Enfermedades en plántulas

El cultivo de tomate es atacado por una gran cantidad de enfermedades y plagas consideradas entre los principales factores limitantes de la producción. Los patógenos más importantes son: *Fusarium* spp., *Phyium* spp., *Rhizoctonia* spp.,

Phytophthora spp., moho blanco, *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de *Alternaria* spp. En este capítulo se mencionarán sólo aquellas que afectan en las primeras fases fenológicas.

***Damping off* (*Phytium* spp.)** Conocida como marchitez de plántulas o *Damping-off* en tomate. Muy frecuente, sobre todo en cultivo sin suelo.



Los síntomas de esta enfermedad empiezan como plantas aisladas que después se extienden en manchones, las plántulas se estresan como si fuera falta de agua pero al hacer una inspección minuciosa encontramos tanto en la zona radicular como en el cuello al ras del suelo una pudrición acuosa y en algunos casos se puede observar el crecimiento de micelio del hongo. El hongo provoca el ahorcamiento del cuello y pudrición de la raíz de la plántula ocasionando marchitamiento y muerte de ésta. (Figura 3.13)

Figura 3.13. Ahorcamiento del cuello de la planta

La manera más efectiva de controlar el *Damping-off* es un buen programa con fungicidas preventivos, cuando se tengan las condiciones muy favorables para el hongo, así como las medidas fitosanitarias correspondientes. Entre las principales moléculas químicas se emplea Propamocarb clorhidrato 64%. SA (100-200 mL/100 L de agua).

Daño por plagas

Minadores de hoja *Liriomyza* spp



Sus larvas se desarrollan dentro de la hoja, ocasionando las galerías o minas. Estos daños reducen la capacidad fotosintética de la planta, además de ser foco de entrada para hongos, bacterias, etc. La colocación de placas cromotrópicas amarillas ayudan tanto para su monitoreo como para su control.

Figura 3.14. Daño ocasionado por minadores

Extracción

Una plántula de calidad, lista para el trasplante, se distingue por presentar tallos vigorosos, altura de 15-20 cm, sin amarillamiento o clorosis, con buen desarrollo radical y libre de plagas y enfermedades Montaño y Núñez (2003).

Las plántulas se deben extraer con cuidado. Al sacar las plantas debemos seleccionarlas por tamaño, esto permitirá tener plantas uniformes, evitando la formación de sombras de una plántula más grande a una pequeña que le resten rendimiento.

Productores de escala comercial prefieren plántulas que hayan pasado por un periodo de adaptación y aclimatación antes de trasplantar.

Injerto

El injerto se define como la unión de dos porciones de tejido vegetal viviente que al unirse crezcan y se desarrollen como una sola planta. Se realizan en hortalizas tales como el tomate, pimiento, melones, etc.

Son menos frecuentes que en plantas leñosas, donde previenen el ataque de enfermedades criptogámicas.

- Objetivos del uso de plántulas injertadas en hortalizas
- Resistencia a enfermedades en el suelo
- Resistencia a nematodos
- Tolerancia a altas temperaturas
- Tolerancia a bajas temperaturas
- Tolerancia a la salinidad
- Tolerancia a los suelos húmedos
- Incremento en el rendimiento Incremento en la calidad del fruto
- Incremento en la absorción de los minerales y de la eficiencia de la fertilización
- Incremento en el vigor de la planta

Como desventajas podemos mencionar, que es una técnica costosa ya que se tiene que adquirir el doble de semilla (porta injerto y variedad), se tiene que producir doble cantidad de plántula, incrementando el costo inicial para establecer las plántulas en el invernadero. El proceso de injerto es muy delicado, porque se deben contemplar todos los factores (temperatura, humedad, luminosidad, etc.)

Para que el injerto tenga éxito debe haber una coincidencia de los tejidos próximos al *cambium*, para que posteriormente produzca “el callo” (producto de la cicatrización). Castellanos (2007). La conexión vascular en injertos compatibles se realiza en tres fases:

- Cohesión del patrón y la variedad
- Proliferación del callo de la unión
- Diferenciación y conexión vascular

En solanáceas, particularmente en el tomate, el método más utilizado en la práctica del injerto es el de “Empalme”, conocido también con el nombre de injerto “de descabezado” donde sólo se mantiene el sistema radicular del patrón durante todo el proceso (Figura 3.15). Exigente en cuanto a condiciones microclimáticas para el proceso de cicatrización de la herida como el control de luz, temperatura y humedad.

Los portainjertos de tomate más promisorios son híbridos interespecíficos de *Lycopersicon esculentum* x *Lycopersicon hirsutum*, resistencia al nematodo agallador de raíces *Meloidogyne incognita* y a patógenos del suelo como *Fusarium oxysporum*, *Verticillium dahlia* y *Pyrenochaeta lycopersici*. Báez *et al.*, (2010). Entre los portainjertos de tomate más empleados en México se encuentran: Multifort (De Ruiter), Aloha (Taki), RT-160961 (Taki) y Vigostar 10 (Hazera).



Figura 3.15. Proceso de injerto en tomate. A) selección más uniforme posible del patrón y variedad. B) corte del patrón por debajo de los cotiledones a 45°. C) corte diagonal a 45° de la variedad. D) Vista frontal del patrón y variedad. E) Ambas partes se sujetan por medio de unas pinzas de silicón.

Lista de referencias

- Báez, E. P.; Carrillo, J. A.; Báez, M. A.; García, R. S.; Valdez, J. B; Contreras, R. 2010. Uso de portainjertos resistentes para el control de la fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Snyder & Hansen) del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones de malla sombra. *Revista Mexicana de Fitopatología* 28(2): 11-122.
- Bracho, J. 2005. *Caracterización de sustratos para la producción de plántulas de tomate (Lycopersicon esculentum mill.)* en bandejas. Trabajo presentado para optar al grado de *Magister Scientiarum*. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Pp: 91
- Castellanos Ramos J.Z. 2009. *Manual de Producción de Tomate en Invernadero*. Editor Javier Castellanos Ramos. Impreso en México.
- Gaytán Ruelas, J. Guadalupe; Serwatowski, Ryszard; Gracia López, Carlos. Maquinaria para realizar la operación de siembra en charolas *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 15, núm. 3, 2006, pp. 28-33 Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez. La Habana, Cuba.
- Guzmán, J. M. 2003. *Sustratos y tecnología de almácigo*. In: Memoria de cursos de producción en ambientes protegidos. UCRCYTED. San José, Costa Rica. 25 p
- Lesur L., 2006. *Manual del cultivo del tomate: una guía paso a paso*, Ed. Trillas, México pp. 12,13.
- Maroto J.V. 2004. *Horticultura Herbácea Especial*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid 702pp.
- Mondino, M.C.; Ferratto, J. ; Babbitt, S. ; Ortiz Mackinson, M. 2008. Protocolo para la producción comercial de plantines de hortalizas con cepellón. *Publicación Miscelánea N° 43*. Estación Experimental Agropecuaria Oliveros.
- Montaño-Mata, N. J. y J. C. Núñez. 2003. Evaluación del efecto de la edad de trasplante sobre el rendimiento de tres selecciones de ají dulce *Capsicum chinensis* Jacq. En Jusepín, estado de Monagas. *Rev. Fac. Agronomía (LUZ)* 20:144-155.
- Reveles-Hernández, M.; Huchín-Alarcón, S. y Velásquez-Valle, R. 2012. Producción de plántula de chile en invernadero: Manual para el productor. *Folleto para productores Núm. 37*. Campo Experimental Zacatecas, Centro de Investigación Regional Norte Centro, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 28p.
- Shany, M. 2005. *Manual agrotécnico para el cultivo hortícola intensivo en Nicaragua*. USAID / Universidad Estatal de Michigan. 22p.
- Vallejo, F. A.; Estrada, E. I. 2004. *El cultivo de hortalizas de clima cálido*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia. 346p.

IV. CULTIVO DE TEJIDOS VEGETALES

Ma. Teresa de Jesús Segura Martínez
Wilberth Alfredo Poot Poot
Thalia Eleonora Reyes Pérez

Importancia de la biotecnología vegetal en la alimentación

Las plantas que hoy se cultivan son distintas de sus antepasados silvestres, ya que el hombre las ha modificado y seleccionado artificialmente por sus propiedades durante más de 10 000 años (Harlan, 1992; Solbrig y Solbrig, 1993). Esta selección ha originado que ciertas características fenotípicas desaparezcan y otras aparezcan; para aumentar la productividad de los cultivos, la cantidad y calidad nutricional de los mismos. Dentro de este proceso de selección algunas plantas han desarrollado adaptaciones a ambientes adversos como las plantas halófitas o las xerófitas a la falta de agua (Borrell *et al.*, 2000; Ribaut *et al.*, 2000).

La producción agrícola de alimentos a través de técnicas convencionales (cruzas y retrocruzas) son estrategias que han contribuido al mantenimiento y aseguramiento de los alimentos a nivel mundial. Se estima que entre 1960 y 2000, la población mundial se duplicó, pasando de 3 000 a 6 000 millones de personas; de seguir así, ello exigiría elevar más de 50% la producción de alimentos. Se han seguido diversas vías para este fin; la ampliación de la superficie cultivada, el aumento de la intensidad del uso de la tierra, acortamiento de los períodos de descanso, doble cultivo y la mejora del rendimiento por unidad de superficie (Vasil, 1998; PRB, 2005).

La biotecnología es una herramienta para el mejoramiento de especies vegetales ya que al superar muchos de los impedimentos biológicos para el mejoramiento de los cultivos, tales como las barreras genéticas que separan a las especies, en el futuro será posible introducir en un rubro agrícola las características favorables de otras especies, como la resistencia a enfermedades o pestes, o la capacidad de crecer en suelos magros o en zonas de escasas precipitaciones.

La biotecnología comenzó en el año de 1953, cuando los científicos (James Watson y Francis Crick) de la Universidad de Cambridge, descubrieron la estructura de ADN (ácido desoxirribonucleico). El descubrimiento desencadenó una intensa actividad científica y a mediados de la década de 1960, diversos biólogos moleculares pudieron determinar con detalle cómo funcionan los genes, cómo se transmiten así como el modo de acción. Los primeros estudios se realizaron con bacterias y virus, cuyos genes, son mucho más simples que los de plantas, animales y después de un tiempo con organismos de mayor complejidad.

En esta misma época el término de cultivo de tejido empezó a surgir y a partir de ese momento su uso se extendió para propagar *in vitro* un número considerable de plantas de interés agrícola con vías al mejoramiento genético, conservación de germoplasma y la propagación de plantas.

Historia del cultivo de tejidos

La reproducción asexual de plantas mediante cultivo de tejidos es posible gracias a que, en general, las células de una planta poseen la capacidad denominada totipotencialidad. Este concepto fue enunciado por Haberlandt en 1902, quien propuso la teoría de que todas las células vegetales poseen la capacidad de regenerar plantas completas. Sin embargo, los medios de cultivo utilizados en sus experimentos no contenían reguladores de crecimiento, Haberlandt no logró demostrar la división celular y su hipótesis no fue probada. Parte de este fracaso fue debido al desconocimiento de los reguladores de crecimiento y la lentitud en los avances en el área de cultivo de tejidos.

El descubrimiento de los reguladores de crecimiento vegetal (compuestos orgánicos con actividad biológica) como el ácido indolacético (AIA), posibilitó el mantenimiento indefinido de callos de zanahoria y tabaco *in vitro*. Posteriormente se descubrió el efecto de la leche de coco como estimulante para la formación de callo sobre el cultivo de embriones de *Datura stramonium*. En 1948 Skoog y Tsui, trabajando con cultivos de callo de tabaco, demostraron la existencia de una regulación química en la parte aérea y en la raíz. No fue hasta que el investigador F. C. Steward (1964) logró producir una zanahoria en un tubo de ensayo a partir de una célula; lo que permitió aumentar los conocimientos básicos de la biología y del proceso de desarrollo de los vegetales, lo cual constituyó un verdadero hito en el desarrollo de la biotecnología vegetal, que muy pronto habría de tener aplicación práctica.

La potencialidad de una célula para generar tejidos nuevos y eventualmente un organismo completo, disminuye con el grado de diferenciación alcanzado por esa célula, pero puede revertirse según las condiciones de cultivo a las que se le

someta. Por lo que en un tiempo no lejano el cultivo de tejidos será una estrategia poderosa para la producción de alimentos en el mundo y para la conservación de germoplasma de genotipos con características agronómicas de tolerancia a sequía, salinidad, patógenos y toxicidad por metales en suelos ácidos.

Cultivo de tejidos vegetales

El cultivo de tejidos vegetales también llamado micropropagación es un conjunto de técnicas que se utilizan para propagar plantas en condiciones asépticas y controladas, para permitir el establecimiento, mantenimiento y desarrollo de cualquier parte de una planta (Explante), desde una célula (Protoplastos) hasta un organismo completo.

Es común dividir las técnicas del cultivo de tejidos en dos grandes grupos de acuerdo a su consistencia física:

- Cultivos en medios semisólidos
- Cultivos en medios líquidos (con agitación o estacionarios)

Otra forma de dividir al cultivo de tejidos es de acuerdo al nivel de complejidad del cultivo.

- Cultivo de órganos
- Cultivos celulares
- Cultivo de protoplastos

Cultivos semisólidos

La consistencia de este tipo de cultivo, se logra por la adición de agentes gelificantes a los medios MS, B5 y N6. Los gelificantes más utilizados son el agar (0.6-1%), agargel (0.4-0.60%), transfergel (2.00-2.60%), phytagel (0.25-0.40%), agarosa (0.80-0.90%) y gelrite (0.10-0.205). Éstos se encuentran disponibles en empresas comercializadoras que los proporcionan bajo la característica “Probada para cultivo de tejidos”. Se debe considerar la pureza del agar, ya que es frecuente la presencia de impurezas de naturaleza variada; la marca comercial y las concentraciones del agar utilizado pueden alterar las respuestas *in vitro* de los cultivos (Debergh, 1982).

Los medios semisólidos son utilizados para la inducción de brotes y callos (Pawar, 2012), a partir de explantes sometidos o no a transformación genética (Martínez-Oceguera, 2006), conservación de germoplasma (Solís, 2001), pues debido a su consistencia permite la absorción de los componentes del medio con facilidad además de servir como soporte para los explantes. Cuando se utiliza este tipo de medios se recomienda ajustar el pH, antes de añadir el agente gelificante para prevenir un ajuste erróneo en la concentración de los iones hidronio.

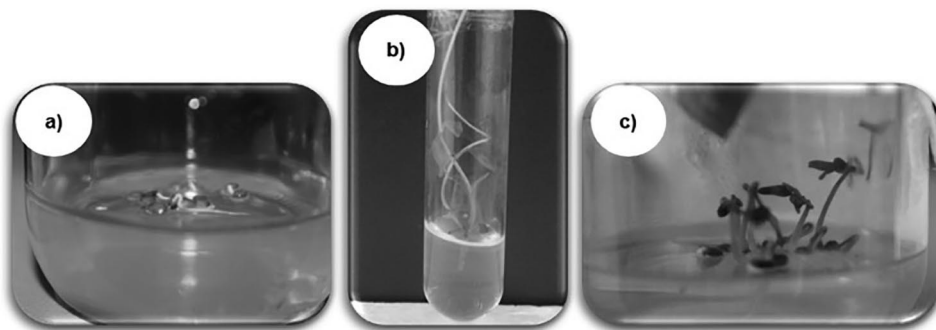


Figura 4.1. Medio de cultivo semisólido (Murashige y Skoog 1962). a) Germinación de semilla de tomate, b) Micropropagación de *Stevia rebaudiana*, c) Plántulas de Tomate (*Solanum lycopersicum*) Poot-Poot, 2016

Medio de cultivo líquido

Este tipo de medio es usado para obtener suspensiones celulares a partir de tejido calloso; el cultivo de células en suspensión puede iniciarse a partir de cualquier explante inoculado en medio líquido con agitación; sin embargo, hay una mayor probabilidad de éxito y rapidez en la obtención del cultivo si se parte de tejido calloso.

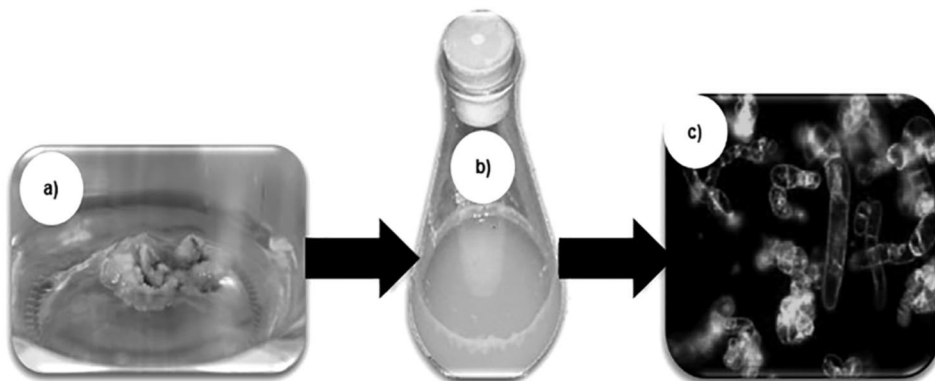


Figura 4.2. Medio de cultivo líquido. A) Callo de tomate, b) Suspensión celular de tomate en medio líquido c) Células disgregadas en b) y teñidas con diacetato de fluoresceína.

Cuando el tejido calloso se hace crecer sobre un medio semisólido, no todas las células se encuentran expuestas uniformemente al medio de cultivo; por ello, se forman gradientes de disponibilidad de nutrientes y de gases en el tejido, lo cual

puede conducir a que se diferencien en la toma de los nutrientes por las células. Los cultivos de células en suspensión generalmente se inician transfiriendo fragmentos de tejido calloso a matraces Erlenmeyer, con medio nutritivo líquido, y colocando éstos en un agitador rotatorio para facilitar la dispersión celular y la oxigenación del medio.

Las suspensiones celulares obtenidas en los medios líquidos se utilizan para la producción de metabolitos secundarios; las suspensiones celulares no requieren iluminación o fotoperiodos específicos, excepto cuando se desea producir metabolitos cuya síntesis es inducida por la luz y/o para suspensiones celulares fotoautotróficas. También pueden, o no, necesitar agitación para su crecimiento, por lo que es adecuado realizar una cinética de crecimiento para conocer las necesidades del cultivo celular. Las suspensiones celulares son una herramienta importante para el estudio de las vías metabólicas asociadas a los cloroplastos, así como la inducción de embriogénesis somática, crecimiento y diferenciación, organogénesis, ciclo celular, genética, nutrición, bioquímica y metabolismo; y para la obtención de metabolitos secundarios, tales como polifenoles, flavonoides, antocianinas, antquinonas (Nash *et al.*, 1972; Sharf *et al.*, 1982; Seguí-Simarro *et al.*, 2007).

Requerimiento para el cultivo de tejidos vegetales

Para el establecimiento de los cultivos utilizando cualquiera de los sistemas es necesario tener en cuenta aspectos generales comunes que se relacionan con el tipo de explante, la asepsia, el medio de cultivo y las condiciones de incubación.

Explante

Recibe este nombre el órgano, tejido o segmento de tejido vegetal que va a utilizarse para iniciar el cultivo. La selección del tipo de explante está relacionado con el objetivo a conseguir, por ejemplo: Si lo único que se quiere es lograr la formación de un sistema de callos para estudiar algún proceso fisiológico, se puede cultivar cualquier órgano, tejido o célula viva; pero si lo que se pretende es obtener plantas con sanidad controlada, el explante ideal para ello es el meristema o de primordios foliares. Por regla general, entre más joven y menos diferenciado sea el tejido más fácil será su adaptación y respuesta al cultivo *in vitro* (Rubluo *et al.*, 1982).

Asepsia

Es una de las etapas más importantes para asegurar que el cultivo de tejidos prospere adecuadamente, por lo que los procedimientos a utilizar para la asepsia deben ser efectivos y amigables con los explantes. Si bien no es posible recomendar un procedimiento general, se puede señalar que el más utilizado es la inmersión

de los tejidos en etanol (70% v/v) durante 20-60 segundos, seguido de hipoclorito de sodio 1 al 3% durante 3 a 30 minutos (Rojas-Idrogo *et al.*, 2014). Sin embargo, también se pueden utilizar otros compuestos como Tween-20 (0.01-0.1%), Tritón X-100 (gotas) y cloruro de mercurio (0.1%-1.5%) o detergentes comerciales. Es necesario eliminar los restos de estos productos mediante varios lavados con agua destilada estéril (Kilby y Hunter, 1990; Yao *et al.*, 1981).

Los explantes provenientes de vegetales que crecen en invernaderos o en cuartos climatizados son relativamente más fáciles de desinfectar que los provenientes de plantas que crecen en el campo; también es más fácil la desinfección de explantes de órganos jóvenes que la de explantes provenientes de materiales adultos. Las aplicaciones de fungicidas o bactericidas, aplicadas previamente a las plantas, pueden ser de utilidad.

Medio de cultivo

La selección de éste será de suma importancia en el establecimiento del cultivo de tejidos. Existen numerosas formulaciones, cada una de las cuales comprende entre 6 y 40 compuestos. Para mayor información revisar el trabajo de George *et al.*, (1987), quienes mencionan la existencia de más de 2 000 medios de cultivo. Estos básicamente, incluyen compuestos que suministran:

- Una fuente de carbono
- Nutrientes minerales
- Sustancias vitamínicas
- Sustancias reguladoras del crecimiento
- Agente gelificante (en el caso de medios semisólidos)

Los medios de cultivo más utilizados para la renegación de tejidos *in vitro* son: MS (Murashige y Skoog 1962), medio B5 (Gamborg, 1968), N6 (Chu *et al.*, 1975). De los tres medios antes mencionados, el medio de cultivo MS, es el más utilizado y se encuentra disponible comercialmente en diversas formulaciones bajo la forma deshidratada. Dependiendo de la necesidad del cultivo y del experimento puede utilizarse como sales totales (MS), 1/4 o a la mitad de sus sales (1/2 MS) y ajustarse al pH necesario.

Como parte importante del medio de cultivo, los reguladores de crecimiento conocidos también como hormonas vegetales o fitohormonas son utilizados para redirigir los procesos morfogénicos en los explantes durante el establecimiento del cultivo *in vitro*. Un regulador de crecimiento en un compuesto orgánico sintetizado en un lugar de la planta y traslocado a otra parte donde, en concentraciones muy bajas, produce una respuesta fisiológica (Hartung y Slovik, 1991; Davies, 1995).

Composición de algunos medios de cultivo:

Compuestos	Medio básico ¹		
	MS	N6	B5
NH_4PO_3	1.650	---	---
KNO_3	1.900	2.830	2.500
KH_2PO_4	170	400	---
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	440	166	150
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	---	463	134
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	370	185	250
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	---	---	152
KI	0.83	0.80	0.75
$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	---	---	10.00
H_3BO_3	6.20	1.60	3.00
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	22.30	4.40	---
$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	8.60	1.50	2.00
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.25	---	0.25
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.025	---	0.025
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	27.80	27.85	27.80
Na_2EDTA	37.30	37.25	37.30
$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.025	---	0.025
Glicina	2.00	2.00	---
Tiamina-HCl	0.10	1.00	10.00
Piridoxina-HCl	0.50	0.50	1.00
Ácido		0.50	0.50
1.00			
Mioinositol	100.00	---	100.00
Sacarosa	30.000.00	50.000.00	20.000.00
Sacarosa	5.7	5.8	5.5

Composición en mgL⁽¹⁾

MS = Medio de Murashigue y Skoog (Physiol. Plant. 15: 473-497. 1962).

N6 = Medio de Chu, C. C.; Wang, C. C.; Sun C. S.; Hsu, C.; Yin, K. C. y Chu C. S. (Sci. Sinica 18: 659-668. 1975).

B5 = Medio de Gamborg, O.L.; Miller, R. A. y Ojima, K. (Exp. Cell Res. 50: 151-158. 1968).

En 1957 Skoog y Miller demostraron el efecto de las auxinas y citocininas en la inducción de diferentes respuestas en tejidos de tabaco; en sus experimentos observaron que a bajas concentraciones de auxinas en combinación con altas concentraciones de citocinina se indujo la formación de brotes, mientras que altas concentraciones de auxinas con bajas concentraciones de citocininas se formaron raíces. Después de este trabajo han surgido otros que evalúan los procesos morfogénicos que ocurren durante el cultivo *in vitro*.

Los reguladores de crecimiento se clasifican dependiendo de su estructura química y de su efecto fisiológico:

- Auxinas
- Citocininas
- Giberelinas
- Etileno
- Ácido Abscísico
- Poliaminas
- Jasmonatos
- Ácido salicílico
- Brasinosteroides

La intención de este apartado es dar a conocer de manera general la importancia de los reguladores de crecimiento en el cultivo de tejidos; por lo que describir el efecto fisiológico de cada uno de ellos sería extenso. Se describe la estructura química y el efecto fisiológico de algunas fitohormonas utilizadas en los protocolos de laboratorio (Cuadro 4.2 y Figura 4.3).

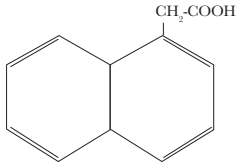
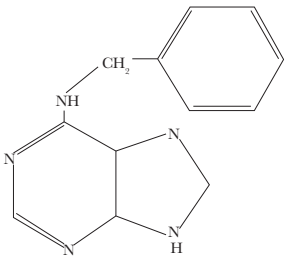
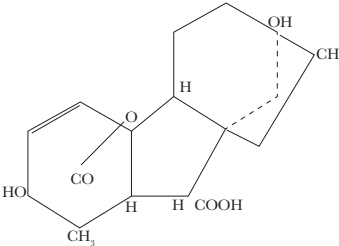
AUXINA	CITOCININA	GIBERELINA
		
ANA: Ácido naftalenacético	BA: Benciladenina	Ácido giberélico

Figura 4.3. Estructura química de los reguladores de crecimiento de mayor uso en cultivo de tejidos

AUXINAS	CITOCININAS	GIBERELINAS
Elongación celular	Estimulan la división celular	Elongación de brotes
Incremento de la longitud de tallos	Rompen la latencia de las yemas axilares	Elongación de entrenudos en los tallos
Inhibición del crecimiento de la raíz	Estimulan la expansión de las hojas	Retrasa la maduración en frutos
Producción de raíces adventicias	Retardan la senescencia	Estimulan la germinación de semillas
Estimulan la división celular	Inhibición de la dominancia apical	Estimulan la floración en días largos

Cuadro 4.2. Efecto fisiológico de los reguladores de crecimiento de mayor uso en cultivo de tejidos.

Respuesta morfogénica y cultivo de tejidos vegetales

El éxito en la propagación de una planta depende de que se logre la expresión de la potencialidad celular; es decir, de que algunas células recuperen su condición meristemática. Para ello debe inducirse primero la desdiferenciación y luego la rediferenciación celular. El proceso de diferenciación está regulado por el balance hormonal propio y por el estado fisiológico del órgano, tejido o célula puesta en cultivo. Sin embargo, ese balance puede ser modificado por el agregado de compuestos que imiten la acción de las hormonas vegetales (Kohlenbach y Schmidt, 1975).

Klerk y *et al.*, (1997) dividieron en tres fases la regeneración de las plantas durante el proceso morfogénico; fase de adquisición de competencia (desdiferenciación celular), fase de inducción (respuesta celular al estímulo hormonal) y fase de realización (divisiones sucesivas para formar el órgano determinado). Estas fases se presentan en la embriogénesis somática y la organogénesis las cuales son dos procesos morfogénicos muy frecuentes en el cultivo *in vitro* de especies vegetales. Es decir, la embriogénesis somática es el proceso por el cual se obtiene una estructura similar al embrión zigótico sin que ocurra la fertilización de los gametos; mientras que a través de la organogénesis pueden obtenerse estructuras vegetales como tallos, raíces o flores, inducidos a partir de una célula o de un grupo de células que tienen la propiedad de mantenerse en división activa (Williams y Maheswaran, 1986).

Factores que afectan los procesos morfogénicos

- El genotipo
- La composición salina del medio de cultivo
- Reguladores del crecimiento
- El explante
- Antibióticos

- Carbón activado
- Agar
- Atmósfera gaseosa
- La temperatura
- La humedad relativa
- La luz suministrada

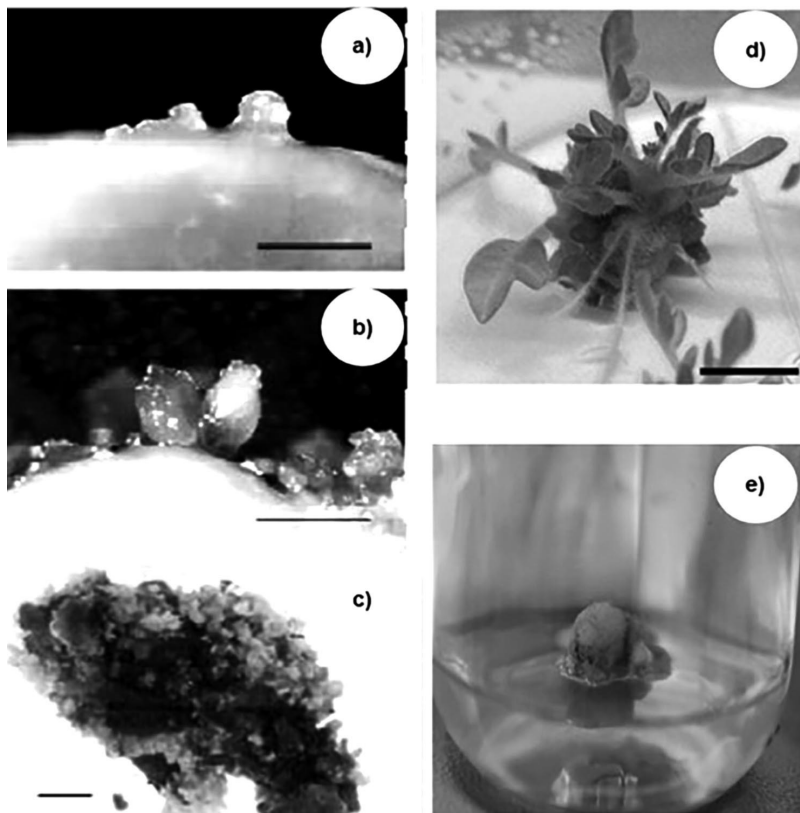


Figura 4.4: Procesos morfogénicos por cultivo *in vitro*. A, B y C) Embriogénesis somática en diferentes fases de crecimiento observada en *Codiaeum variegatum* (L) cultivado en MS + 1 mg l⁻¹ de BAP, d) Organogénesis en tomate (*Solanum Lycopersicum*) cultivado en MS + 2 mg l⁻¹, e) Callogénesis en tomate (*Solanum lycopersicum*) cultivado en MS + 1 mg l⁻¹ BA + 1mg l⁻¹ANA (Fotos: a), b) y c) Radice, 2010; d) Segui-Simarro *et al.*, 2007, e) Poot-Poot, 2016).

A partir de la siembra *in vitro* del explante al medio de cultivo semisólido adecuado, puede inducirse la formación de nuevos órganos (brotes, raíces o flores) directamente sin pasar por callo (Organogénesis directa) (Figura 4.4). Si por el contrario se induce

la formación de embriones somáticos a este proceso se le denomina embriogénesis directa; pero si se observa un crecimiento celular en forma desordenada, sin función determinada y luego ocurre la diferenciación celular para formar órganos entonces hablamos de una organogénesis indirecta (Figura 4.5) (Hicks, 1980).

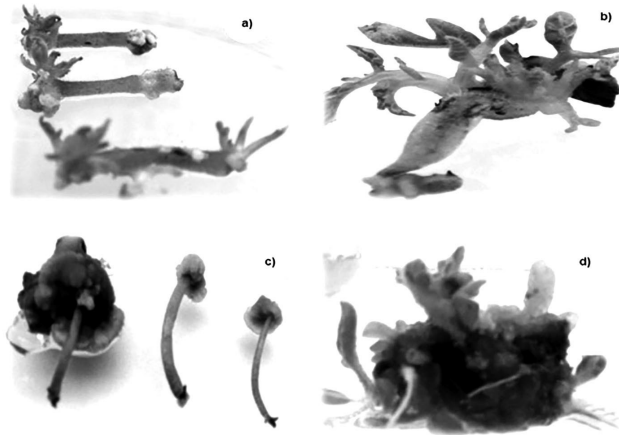


Figura 4.5 Organogénesis directa e indirecta en Tomate (*Solanum lycopersicum* L.): a) y b) Organogénesis directa: brotes después de 10 días de incubación en MS + 2 mg/L zeatina + 0.2 mg/L IAA (ácido indolacético), c) y d) Organogénesis indirecta: brotes con formación intermedia de callo después de incubación en MS + 2 mg/L BAP + 0.2 mg/L IAA (Pawar *et al.*, 2012).

Ventajas del cultivo de tejido *in vitro*

El cultivo de tejidos es una herramienta que ofrece ventajas a la biotecnología vegetal para regenerar plantas completas a partir de pequeños fragmentos de tejidos incubados en un medio artificial apropiado (micropropagación). Esta ventaja es debido a la propiedad de totipotencialidad celular, es decir, generar a partir de una célula una planta completa (clones); en la actualidad es una alternativa para la resolución de un gran número de problemas relacionados con las enfermedades que limitan el desarrollo, productividad y aprovechamiento de las plantas (Fert y Paul, 2000).

A través del cultivo *in vitro* de tejidos se puede lograr lo siguiente (Navarro, 1979; Fowler, 1987; Carpita y McCann, 2000):

- Propagación masiva de plantas en cortos periodos de tiempo
- Conservación de germoplasma
- Transformación de tejidos vegetales para la generación de plantas transgénicas
- Plantas libres de enfermedades (sin virus, bacterias y hongos etc.)

- Obtención de microinjertos vegetales
- Producción de metabolitos secundarios con actividad biológica
- Propagación de especies vegetales de ornato
- Análisis y evaluación de la expresión de genes
- Este método de propagación se puede e puede incluir aspectos de fitomejoramiento
- Posibilidad de multiplicar rápidamente una variedad de la cual sólo existan pocos individuos

Implementación de un laboratorio de cultivo de tejidos

Los laboratorios de cultivo de tejidos vegetales puede presentar variaciones en magnitud y complejidad, dependiendo de los objetivos; así, mientras que un laboratorio de investigación puede ser pequeño en tamaño pero muy especializado en equipos e instalaciones, uno de producción comercial tiende a ser más grande y simple. Un laboratorio de investigación puede también tener un rol de enseñanza y, en este caso, es frecuente que se asignen en él áreas especiales para la enseñanza y la demostración. En este capítulo se mencionan los requerimientos mínimos para iniciar un laboratorio para el cultivo de tejidos vegetales.

Requerimientos mínimos para establecer un laboratorio de cultivo de tejidos:

- Un área de limpieza del explante: si el material vegetal tiene como origen el campo, es adecuado mantenerlo durante un mes en el laboratorio bajo tratamiento con fungistáticos o bacteriostáticos para disminuir la cantidad de fitopatógenos.
- Un área de propagación vegetativa: se debería contar con una campana de flujo laminar, en caso de no contar con ella, es posible utilizar mecheros con alcohol en una mesa de acero inoxidable previamente limpiada con cloro al 30% y etanol al 75%.
- Autoclave: este equipo es importante ya que permite conseguir las condiciones de asepsia en los utensilios para manipular el explante. Dependiendo de la cantidad de material vegetal a propagar, se puede usar un autoclave pequeño o grande cuyo diseño puede ser horizontal o vertical.
- Instrumentos de acero inoxidable: se utilizan pinzas de 30 cm, bisturí, tijeras, estos pueden ser esterilizados en autoclave o con esterilizadores de perlas de cristal.
- Utensilios de vidrio y plástico: se utilizan tubos de ensayo de vidrio de 10 x 15 cm, cajas Petri de vidrio, cajas magenta o frascos de vidrio.

- Área de incubación: normalmente se utilizan las cámaras bioclimáticas pero en caso de no contar con ellas, puede utilizarse lámparas fluorescentes que proporcionen la cantidad de luz $50 \text{ a } 200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ S}^{-1}$ y un clima para controlar la temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ y un higrómetro para medir la humedad relativa, la cual debe mantenerse entre 80-90%.
- Las necesidades para iniciar un laboratorio de cultivo de tejidos vegetales son mínimas, sin embargo, el conocimiento de química analítica y de personal con experiencia son de importancia.

Desinfección y germinación in vitro de semillas de tomate (*solanum lycopersicum*)

- Para preparar 500 ml de medio de cultivo MS a la mitad de sus sales; pese 1.083 g del medio deshidratado y disuélvalo en 200 ml de agua destilada, ajuste el pH a 5.7 y añórelo a 500 ml, después añada gelrite al 0.1 %.
- Caliente los 500 ml del medio MS en un horno de microondas hasta que el gelrite se haya fundido completamente, inmediatamente transfiera 25 ml del medio a frascos de vidrio, luego tápelos con papel aluminio; después deposite los frascos en el autoclave y esterilice por 15 minutos a 15 libras de presión a 121°C .
- Saque los frascos del autoclave y transfíralos a una superficie plana, espere que gelifique completamente.
- En un frasco de 50 ml de plástico deposite 200 semillas de tomate y agregue 40 ml de una solución al 10 % de hipoclorito de sodio comercial y espere 5 minutos; retire la solución y lave con el mismo volumen de agua estéril; después agregue 40 ml de etanol al 70% por 5 minutos y nuevamente lave con agua estéril y siembre 10 semillas por frasco.
- Incube los frascos en el cuarto de cultivo: use lámparas fluorescente con una cantidad de luz de $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ S}^{-1}$ y un fotoperiodo de 18 horas luz / 8 horas oscuridad; una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 10 días, una humedad relativa de 60%.

Las plántulas provenientes de la germinación de semillas de tomate pueden usarse como fuente de hojas cotiledonales para la formación de callos y a partir de callos suspensiones celulares; cada uno de los cuales son adecuados para la obtención de protoplastos (células sin pared celular) para la evaluación transitoria de genes en estudios de ciencia básica (Figura 4.5).

Cultivo de tejidos in vitro

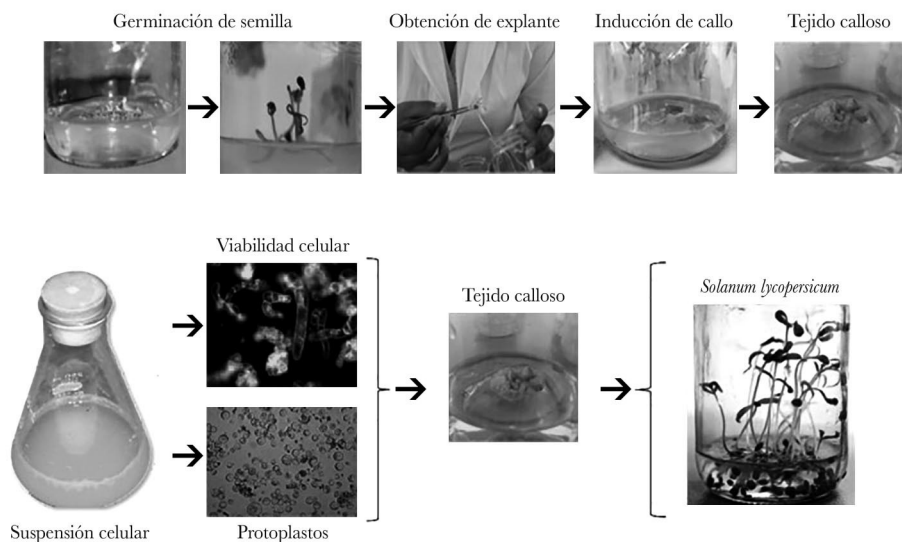


Figura 4.5. Germinación de semillas, obtención de callo, suspensiones celulares y plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L) (Poot-Poot, 2016).

Lista de referencias

- Borell A.K., Y.Tao, y C.L. McIntyre. 2000. *Physiological basis, QTL, and MAS of the stay Green drought resistance trait in grain shorgum*. En Molecular approaches for the genetic improvement of cereals for stable production in water limited environments. J. Ribaut, D. Poland (Eds) CIMMYT, México. pp: 142-146.
- Carpita, N. C., y M. C. Mccann. 2000. *The cell wall*. En: Buchanan, B., Gruissem W., Jones R. (Eds.) Biochemistry and Molecular Biology of Plants. USA: American Society of Plant Physiologists. pp: 52-108.
- Chu, C. C., C. C. Wang, C. S. Sun, C. Hsu, K. C. Yin, C. Y. Chu, y F. Y. Bi. 1975. Establishment of an efficient medium for another culture of rice through comparative experiments on the nitrogen source. *Sci. Sinica*. 18: 659-668.
- Davies, P. J. 1995. *The plant hormone concept: Concentration, sensitivity and transport*. In Plant Hormones, Physiology, Biochemistry and Molecular Biology. (P. J. Davies, ed.). pp:13-38.
- Debergh, P. C. 1983. Effects of agar brand and concentration on the tissue culture médium. *Physiol. Plantarum*. 59:270-276.

- Ferl, R., y A. L. Paul. 2000. Genome organization and expression. En: Buchanan B., Gruissem W., Jones R. (eds.). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. USA: *American Society of Plant Physiologists*. pp: 312-357.
- Fowler, M. W. 1987. *Products from plant cells*. En: Bu'lock J., Kristiansen B. (Eds.). *Basic Biotechnology*. Academic Press, M., London, England. pp: 525-544.
- Gamborg, O. L., R. A. Miller, K. y Ojima. 1968. *Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells*. *Exp. Cell. Res.* 50:151-158.
- George, E.F., D. J. M. Puttock y H. J. George. 1987. *Plant Culture Media*. Vol. 1 (Formulations and Uses). Exegetics Limited. England. 567 p.
- Hartung, W., y S. Slovik. 1991. Physicochemical properties of plant growth regulators and plant tissues determine their distribution and redistribution: Stomatal regulation by abscisic acid in leaves. *New Phytol.* 119: 361-382.
- Hicks, G. S. 1980. Patterns of organ development in plant tissue culture and the problem of organ determination. *Bot. Rev.* 46: 1-23.
- Kilby, N. J. y C. S. Hunter. 1990. Repeated harvest of vacuole located secondary product from in vitro grown plant cells using 1.02 MHz ultrasound. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 33: 448-451.
- Kohlenbach, H. W. y B. Schmidt. 1975. Cytodifferentiation in the mode of a direct transformation of isolated mesophyll cells to tracheids. *Z. Pflanzenphysiol.* 75: 369-374.
- Martínez-Oceguera, J. M., R. Gutiérrez-Campos, y E. García-Pineda. 2006. Transformación de Plantas de Tomate Verde (*Physalis ixocarpa* Brot. var. rendidora) con el Gen oc-I (Orizacistatina I). *Revista Mexicana de Fitopatología*. 24 (1): 13-19.
- Murashige, T., y F. Skoog. 1962. A revised médium for rapid growth and bioassays with tobáceo tissue cultures. *Physiol. Plant.* 15:473-497.
- Nash, D. T., y M. E. Davies. 1972. *Some aspects of growth and metabolism of Paul's Scarlet rose cell suspensions*. *J. Exp. Bot.* 23:75-91.
- Navarro, L. 1979. Microinjerto de ápices caulinares in vitro para la obtención de plantas de agrios libres de virus. *Bol. Serv. Plagas.* 5: 127-148.
- Pawar, B. D., A. S. Jadhav, A. A. Kale, V. P. Chimote y S. V. Pawar. 2012. Zeatin induced direct *in vitro* shoot regeneration in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *The Bioscan.* 7(2): 247-250.
- PRB Population Reference Bureau (2005). Disponible en Internet: <http://www.prb.org/datafind/datafinder6.htm>.
- Radice, S. 2010. En: *Biotechnología y Mejoramiento Vegetal II*, Argenbio, INTA. pp: 26-33.
- Ribaut, J. M., G. Edmeades, E. Perotti, y D. Hoisington. 2000. *QTL analysis, MAS*

- results and perspective for drought tolerance improvement in tropical maize*. En Molecular approaches for the genetic improvement of cereals for stable production in water-limited environment". J. M. Ribaut and D. Poland (eds). CIMMYT, México. pp: 131-136.
- Rojas-Idrogo, C., M. J. Kato, G. E. Delgado Paredes, E. L. Segal Floh, y W. Handro. 2014. Producción de metabolitos secundarios en cultivo de raice in vitro y suspensiones celulares de *Ipomoea carnea* spp. *carnea* Jacq. *Anales de Biología*. 36: 107-120.
- Rubluo, A., L. A. Mroginski, y K. Kartha. 1982. *Morphogenetic responses of pea leaflets cultured in vitro*. En: Fujiwara, A. (ed.). Plant tissue culture 1982. Jap. Assoc. Plant Tissue Culture, Tokio. pp: 151-152.
- Scharf, K. D., y L. Nover. 1982. Heat-shock-induced alteration of ribosomal protein phosphorylation in plant cell cultures. *Cell*. 30:427-437.
- Segui-Simarro, J. M., y F. Nuez. 2007. Embryogenesis induction, callogenesis, and plant regeneration by in vitro culture of tomato isolated microspores and whole anthers. *Journal of Experimental Botany*. 58 (5):1119-1132.
- Skoog, F., y C. O. Miller. 1957. Chemical regulation of growth and organ formation in plant tissues cultured in vitro. Symp. *Soc. Exp. Biol.* 11: 118-130.
- Solís, A., R. Martínez, J. Pupo, F. Cabrera, y R. Parra. 2001. Caracterización de germoplasma de tomate (*Lycopersicon esculentum*, mill) con vistas a la implementación de un programa de fitomejoramiento participativo. *Cultivos Tropicales*. 22 (2): 33-37.
- Suarez, I. E., y J. A. Salgado. 2008. Propagación in vitro de *Stevia rebaudiana* BERT. (*Asteraceae-Eupatorieae*) a través de organogénesis. *Temas Agrarios*. 13(1): 40-48.
- Williams, E. G., y G. Maheswaran. 1986. Somatic embryogenic factors influencing coordinated behavior of cells as an embryogenic group. *Ann. Bot.* 57: 443-597.
- Yao, D., y A. D. Krikorian. 1981. Multiplication of rice (*Oryza sativa* L.) from aseptically cultured nodes. *Ann. Bot.* 48:255-259.

V.
TRASPLANTE
Y LABORES
CULTURALES

Rafael Delgado Martínez
Kathya Fernanda Villagómez González

Introducción

El tomate es la hortaliza número uno en el mundo. Se puede sembrar mediante agricultura protegida o en campo abierto. En agricultura protegida suelen utilizarse plantas indeterminadas ya que brindan producción durante periodos largos. El ciclo de vida es superior a un año, aunque se cultiva como anual hay que tener en cuenta que las heladas y el calor excesivo pueden dificultar su buen desarrollo en esas épocas. Como prevención de factores climáticos negativos o factores que puedan dañar al cultivo como plagas y enfermedades, es conveniente la adopción de nuevas tecnologías como el cultivo en invernadero o el uso de malla sombra. Los invernaderos nos brindan beneficios como la obtención de productos fuera de temporada, esto favorece a los agricultores por el mercado ajustan la época de cosecha cuando se tiene mejor precio, otros beneficios que cabe mencionar es el incremento de los niveles productivos del cultivo, el rendimiento aumenta de 2 a 3 veces más en comparación a campo abierto esto se debe a que en el invernadero se tiene mejor cuidado del cultivo. A lo largo del ciclo del cultivo es necesario tener un buen manejo realizando las labores culturales correspondientes como son podas, tutorado, desbrote, deshierbe, polinización entre otras, mediante las cuales, el cultivo alcanzará altos rendimientos y calidad del fruto. También es necesario tomar en cuenta la elección de la variedad de semilla que se adapte a las condiciones ambientales de la región, para tener una buena calidad de fruto y en un rendimiento alto.

Labores culturales

Cada vez se intensifican las labores culturales en cultivos hortícolas, pues, el corto período de tiempo que transcurre en el invernadero, el deseo de obtener la mayor rentabilidad, la utilización de marcos de

plantación muy estrechos, etc., obliga a realizar estas prácticas con objeto de encauzar el crecimiento y desarrollo de la planta hacia formas más productivas. En la actualidad la mayoría de los cultivos se someten a las operaciones de labores culturales; aunque en cada uno de ellos pueden tener objetivos diferentes (Reche, 2016).

Las labores culturales son las actividades consideradas de uso común dentro del ciclo productivo, mediante las cuales se tiene mayor rendimiento y calidad del fruto. Los beneficios de brindar al cultivo un manejo óptimo, desde su germinación, plantación, hasta su cosecha, tanto así como la preparación del mismo para su comercialización.

Toda labor cultural que se realice tiene ventajas en el cultivo siempre y cuando se realice correctamente, las personas que vayan a realizar la labor, tienen que estar bien capacitadas ya que pueden ocurrir errores como una poda indiscriminada que puede ocasionar un desequilibrio del cultivo.

Labores culturales necesarias durante el ciclo del cultivo de tomate.

Siembra

La siembra es una operación de cultivo que presenta especificidades. En la actualidad, existe una cierta tendencia hacia las siembras de precisión para lo cual las semillas deben estar convenientemente calibradas, utilizado en algunos casos (sobre todo en semillas de pequeño tamaño) semillas pildoradas. Existen dos tipos principales de pildoración; el encapsulamiento por recubrimiento sin alterar la forma de las semillas, y la pelatización, en que por adición de capas recubridoras se cambia la forma y volumen de las semillas. En el revestimiento se añade una capa con fungicidas, Fito reguladores y nutrientes. La pelatización utiliza varias capas con aglomerados y aditivos cimentadores en los que se incluye también fungicidas, nutrientes, Fito reguladores y a veces microorganismos promotores del crecimiento (Lee, 2004).



Figura 5.1. Desinfección y siembra de tomate en charolas germinadoras

Para las siembras en el cultivo de invernadero se usan charolas germinadoras de 200 cavidades, las cuales deben desinfectarse. Se llenan de sustrato, procurando que no queden espacios muy grandes de aire en las cavidades, existen en el mercado algunos específicos para este fin, ricos en nutrientes y materia orgánica. Se colocan las semillas una por cavidad, después se cubren procurando que se tapen a una profundidad no mayor a tres veces su tamaño.

Después de la siembra se riegan las charolas ya sembradas, Se cubren con plástico negro para aumentar la temperatura y acelerar la germinación.



Figura 5.2 charolas germinadoras cubiertas en plástico

Acondicionamiento del suelo

Es necesario realizar un muestro de suelo ya que de ahí obtendremos información para determinar si es viable invertir en el terreno que se quiera plantar. Con la obtención de los resultados del muestreo se puede hacer un diagnóstico para la utilización de mejoradores de suelo, siempre y cuando sea necesario. Castellanos (2009) menciona que existen diversos mejoradores del suelo, principalmente cal agrícola para suelos ácidos y yeso agrícola para suelos sódicos. Un mejorador universal ampliamente difundido y cuyos beneficios en las propiedades físicas del suelo están probados, es la materia orgánica, ya sea como estiércol fresco, seco o composta. Solo hay que revisar el aspecto de inocuidad antes de decidir la fuente de materia orgánica que se va a aplicar.



Figura 5.3. Incorporación abono orgánico y preparación del suelo en el invernadero

Las labores del suelo consisten en hacer uso de implementos mecánicos para la realización de rastra y barbecho que son los que comúnmente se utilizan en la preparación de suelo para cultivos de hortalizas.

La preparación del suelo inicia con la aplicación de herbicida para la eliminación de malezas, después dos pasos de rastra y rototiller, se adiciona el abonado de materia orgánica, y por último se elaboran las camas de siembra. En seguida se instala el sistema de riego para dar continuidad al trasplante.

Marco de plantación

Los marcos de plantación son influenciados por el sistema del cultivo. La disposición de las plantas ha evolucionado para optimizar en la medida de lo posible la mecanización de las labores del cultivo. Se establecen líneas de cultivo pareadas a 1.8 metros una de otra, dejando un pasillo de 0.8 m para que permita el paso de maquinaria ligera para auxiliar las labores culturales (Castellanos, 2009).

Sánchez (2002), menciona que el sistema de producción basado en altas densidades de población por unidad de superficie (10-16 plantas/m²) es factible.

El principal problema de las altas poblaciones es el riesgo de enfermedades por el exceso de follaje y la alta humedad relativa que se genera. Es claro que se tienen grandes volúmenes de producción, pero bajo mayores condiciones de riesgo fitosanitario. El concepto es bueno, sin embargo no ha superado la validación comercial extensiva. La tendencia en los invernaderos ha sido usar de 2.5 a 3 plantas/m², apostando por los ciclos medios y largos y sosteniendo un determinado volumen a los mercados, con un rendimiento sostenido a lo largo del ciclo del orden de 1.5 kg/m² por semana (Castellanos, 2009).

Densidad

La distancia de plantación en variedades determinados es de 30 cm entre plantas y de 1 m entre hileras; en las variedades indeterminadas la distancia de plantación es de 30 cm entre plantas y de 30 cm entre hileras intercalando a tresbolillo a doble hilera y a un metro entre doble hilera (Villavicencio y Vázquez, 2008).

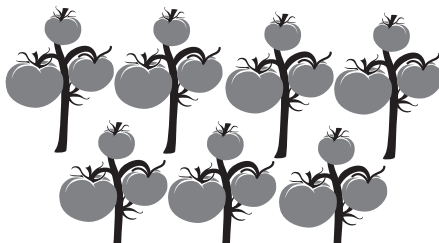


Figura 5.4. Marco de plantación a dos hileras por cama, en tresbolillo

Es recomendable tener una separación entre plantas de 40 cm a 50 cm aproximadamente ya que aumenta la iluminación, hay menos competencia de nutrientes, mayor aeración y menor incidencia de plagas y enfermedades.

Trasplante

Los trasplantes pueden ser con cepellón y a raíz desnuda. En la primera modalidad, las plantas sufren menos retraimiento y su crecimiento no se paraliza. Con el trasplante de raíz desnuda siempre hay roturas de raicillas y las plantas experimentan algún tipo de decaimiento aunque sea pasajero (Maroto, 2008).

Antes de iniciar el trasplante se recomienda disminuir la aplicación del agua del riego una semana antes, esto se realiza con la finalidad de endurecer los tejidos y facilitar la adopción de las condiciones de estrés que se llegara tener dentro del invernadero, también tiene como beneficios que las raíces inicien una exploración en busca de agua. Gracias a ello se consigue que se desarrollen más pronto. La aplicación de enraizadores también ayuda a la planta a llevar a cabo un mejor desarrollo.



Figura 5.5. Esquema general del trasplante

Poda

Con la poda se pretende mantener las plantas con la vegetación suficiente, en sus justos límites, a fin de conseguir precocidad y calidad, así como obtener, en muchos casos, una mayor producción. Es necesario tener en cuenta que dicho control y conformación del desarrollo estará siempre limitado por la fisiología de la planta. Para ello se suprimen órganos improductivos e inútiles, enfermos que entorpezcan

el desarrollo de la planta. También se persigue con la poda, conformar la planta limitando el número de ramas y brotaciones, para que se faciliten las labores culturales y, en ocasiones, incrementar el número de plantas al reducir el marco de plantación. Es de sobra conocido que la fructificación y el desarrollo vegetativo son contrapuestos, por lo que una planta con excesiva vegetación es deficiente en número de flores. La poda puede ser muy útil para equilibrar ambas funciones. Las plantas que se dejan desarrollar libremente, sin que actúe ningún tipo de poda, pueden producir una vegetación abundante en detrimento de la floración, obteniendo frutos de irregular tamaño y escasa calidad. Es preferible realizar las podas por la mañana ya que la cicatrización es más rápida que si se hace al atardecer (Reche, 2016).

Factores como el clima, riego y la fertilización son controladores del desarrollo y crecimiento del cultivo del tomate. La poda de las hojas y brotes es una actividad que se realiza con la finalidad de manipular el crecimiento de la planta es importante realizarla ya que las variedades de tomate que se siembran principalmente en agricultura protegida son indeterminados.



Figura 5.6. Poda de formación en cultivo de tomate indeterminado

La poda de hojas o deshojado consiste en eliminar las hojas inferiores que son las que están dañadas y hojas viejas. La poda beneficia a la planta al conseguir mayor ventilación, mayor eficiencia en la aplicación de agroquímicos, mayor iluminación que ayuda a la pigmentación de los frutos, menor incidencia de plagas y enfermedades, entre otros beneficios. La poda se debe realizar de manera periódica, procurando no quitar más de tres hojas para evitar una poda indiscriminada que puede ocasionar un desequilibrio del cultivo ya sea energético o hídrico que perjudicará el rendimiento del cultivo.

Hay diferentes podas que se realizan durante el ciclo del cultivo de tomate, una de ellas es la poda de formación que se dirige principalmente, a conformar la planta de acuerdo al número de brazos que se desee que tenga, también consiste en retirar las primeras hojas de la planta antes del primer ramillete esta poda se inicia desde el semillero; aunque lo usual es que se realice a partir del trasplante.

La poda de manejo consiste en el retiro de hojas viejas ya mencionado anteriormente se retiran las hojas que están por debajo del último racimo que va madurando, Tiene también como objetivo mantener la forma de la planta, regulando su producción para que sea de calidad.

Desbrote

El desbrote es una actividad necesaria en el cultivo de tomate. Consiste en eliminar brotes o comúnmente se le conoce como “chupones”, estos aparecen en las axilas de las hojas, tienen la misma función que un tallo esto quiere decir que también pueden producir flores y frutos, es necesaria la eliminación de estos ya que dejarlos provoca pérdida de nutrientes y líquidos en la planta, de igual modo produce mucho follaje que provoca menor captación de luz y menor aeración, y la planta está más propensa a plagas y enfermedades. Se aconseja la eliminación de brotes cuando tengan aproximadamente 5 cm de longitud, de tal manera las cicatrices serán pequeñas y se evitará la entrada de enfermedades.

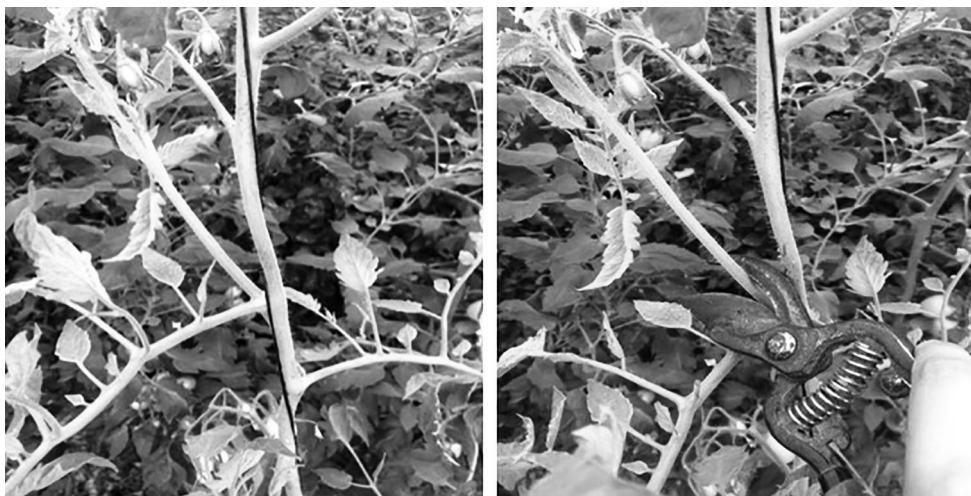


Figura 5.7. Eliminación de brotes en plantas de tomate indeterminado

Dependiendo del desarrollo de la planta se sabrá el número de podas de brotes que es necesario realizar, en general deben realizarse dos veces por semana cuando la

planta se encuentre en estado vegetativo y una vez cuando se encuentre en estado reproductivo. Existen dos maneras de realizar el desbrote; una de ellas es la mecánica que consiste en la utilización de tijeras las cuales se tienen que estar desinfectadas (cloro, permanganato de potasio etc.), para evitar el ataque de patógenos. Otro método es el manual, éste consiste en dar un tirón hacia arriba aprovechando el punto de unión entre tallo y hoja cuidando no dañar el tallo retirando la epidermis de la planta al momento de la eliminación del brote ya que puede quedar propensa a la entrada de patógenos. Tal operación se realiza una o dos veces por semana, tan pronto alcancen los brotes un tamaño suficiente para ser eliminados. El desbrote de todos modos se tiene que hacer, a primera hora de la jornada (Castellanos, 2009).

Entutorado

Los tallos se enredan para orientarlos con un hilo de rafia, o bien se sujetan con clips específicos para esta tarea, los hay de diferentes modelos y precios. La rafia debe ser especial para utilizarse en invernadero es decir tratada contra radiación UV, pues de lo contrario se puede romper antes de concluir el ciclo del cultivo. Las consecuencias son graves para el productor, pues si se rompe antes de concluir el ciclo del cultivo, traerá pérdidas de plantas y frutos en medio de periodo de producción.

La rafia se enrolla en ganchos que existen para tal fin o bien en carretes unidos a ganchos que permiten soltarla. La longitud de la rafia varia, dependiendo de la altura del emparrillado para tutores y de longitud entre nudos de la variedad, cuando las plantas incrementan su altura entre 10 y 20 cm, se atan a la rafia. Es fundamental hacerlo con oportunidad, antes de que las plantas se acamen, lo que ocurre 7 a 10 días después del trasplante. La rafia se sujeta al tallo, ya sea mediante un nudo no corredizo o un anillo de plástico, desarrollado para este fin. Al anudar la rafia al tallo, el ojal debe quedar holgado, para no ligar el tallo. Conforme se desarrolla la planta, la rafia se enreda alrededor del tallo, o bien mediante anillos de plástico.

El espacio entre el liado en los tallos debe ser de una distancia adecuada, si es muy corto liga al tallo e interfiere en el transporte de agua, nutrientes y foto asimilados; además de que consume mayor mano de obra, mientras si es muy largo, cuando los frutos desarrollan y adquieren peso y tamaño, la rafia se desliza y corre el riesgo a que el tallo se rompa; normalmente con una vuelta por simpodio (espacio entre ramilletes), es suficiente. La oportunidad del entutorado es fundamental, si se llega a retrasar por alguna razón, consume más mano de obra, se llega a marcar los pequeños frutos dado que su piel es muy sensible y además hay mayor riesgo de romper los tallos (Castellanos, 2009).

El entutorado normalmente se hace cada 8 días, pero varía conforme a la tasa de formación de ramilletes, la cual difiere entre variedades y estaciones de crecimiento (González, 2004).

Otra actividad que se realiza es el bajado de la planta cuando mide de 2 a 2.5 m, dependiendo de la medida de la parrilla del tutor, puede ser de 3 m a 4.5 m aproximadamente, consiste en bajar la planta de tomate indeterminado previa eliminación de las hojas inferiores y acamar el tallo al suelo para así dejar a una altura razonable. Como beneficio ayuda a tener mejor manejo y control del cultivo.



Figura 5.8. Entutorado de tomate en invernadero

Castellanos, (2009) menciona que bajar la planta consiste en descolgar de manera progresiva y no de manera súbita. El descuelgue consiste en desarrollar la rafia 1 a 2 vueltas. Cuidar que los tallos se liden en un mismo sentido y que no se pretenda mantener la planta erecta entretejiendo la rafia entre las hojas en lugar de los tallos.



Figura 5.9. Bajado de la planta

Polinización

Polinización es el proceso por el cual una flor queda fecundada. Para que este proceso ocurra debe pasar el polen del estambre al estigma, es decir, de la parte masculina a la parte femenina de las flores. Para que una fecundación sea apropiada, debe haber condiciones de clima adecuadas; de lo contrario la fecundación quedaría total o parcialmente afectada. En regiones con condiciones de clima por debajo de 10°C, es muy común que la polinización se dificulte. En estos casos sucede que el polen, al estar un poco compacto por la humedad relativa alta, no se logra una buena fecundación y el resultado final es un fruto hueco o bofo y deforme. Es muy común que en cierta etapa del ciclo de producción se presenten una o dos fructificaciones de mala calidad y al pasar el tiempo vuelve y se arregla; al momento de presentarse esa etapa no hay nada que podamos hacer, sólo esperar. El problema no es de mala nutrición y manejo, sino climático (Valerio, 2012).

La polinización ayuda a la obtención de frutos más grandes y atractivos para ello se han empleado diferentes métodos: utilización de fitohormonas, vibración manual, sacudida por viento e insectos “polinizadores”.

El uso de fitohormonas como método de polinización ayuda a concentrar e induce una fuerte división celular de los tejidos del ovario, contribuyendo así a un excelente cuajado, y a un rápido crecimiento del fruto.



Figura 5.10. Polinización mecánica o vibración manual

Polinización por flujo de aire (polinización anemófila), en este método de polinización se utiliza una máquina de motor que hace sacudir a la planta con un chorro de aire provocando así el movimiento de las flores.

Vibración manual consiste en golpear ligeramente el emparrillado de tutoreo para hacer vibrar las plantas también. Es una forma de polinizar siembre y cuando la humedad relativa y temperatura sea óptimas.

Polinización a base de insectos (polinización entomófila), el uso de insectos básicamente concierne a la polinización con abejorros del genero *bombus*, es el que por su rusticidad se ha impuesto. El abejorro visita las flores en busca de polen como fuente de proteína para alimentar las larvas de la colonia. Visita entre 6 y 10 flores por minuto, de manera que una colmena llega a visitar entre 20 y 50 mil flores diariamente. La vida útil de la colmena va de 8 a 9 semanas, dependiendo del manejo, el uso de agroquímicos y de las condiciones ambientales, siendo las bajas y altas temperaturas lo que más las castiga. Una colmena no estresada por dichos factores, en promedio dura 10 semanas. Las colmenas llevan impresas la semana en que fueron introducidas y la fecha en que termina su actividad incluyendo un plazo de seguridad de 2 semanas (Castellanos, 2009).

Despuntado

Consiste en eliminar el brote apical, con lo que al frenar el desarrollo vegetativo se induce un cambio en los repartos de asimilados que son destinados ahora a los frutos, aumentando el calibre de los mismos. El momento del despunte depende de las condiciones ambientales, sabiendo que un fruto recién cuajado tarda de 1.5 (verano) a 3 (invierno) meses en recolectarse, y suele programarse para que transcurrido este tiempo finalice el cultivo. Se recomienda dejar una o dos hojas por encima de la última inflorescencia para que esas hojas alimenten y sombreen a ese último ramo (Cadenas, 2003). Esta actividad se realiza al final de ciclo productivo para favorecer el desarrollo de ramas laterales y maduración del fruto.



Figura 5.11. Eliminación de frutos mal formados

Aclareo de frutos

El número de frutos por ramillete incide sobre el tamaño final de los mismos. Es necesario despuntar las inflorescencias con gran número de flores para que los

frutos desarrollen buen tamaño y también para evitar que se desprenda el ramillete. La poda de frutos debe ser tan oportuna como sea posible, poco después de que los frutos han sido cuajados se eliminan todos aquellos mal formados, los que lleva un retraso significativo en relación con el resto y los que se identifiquen que no han sido bien polinizados. En las variedades para el racimo solo se dejan de 5 a 6 frutos por racimo. Es conveniente tener siempre en mente que las hojas son la fuente de los carbohidratos y es en los frutos donde se almacenan (Castellanos, 2009).

Cosecha

Para los frutos de tomate destinados a consumo en fresco, la cosecha se realiza manualmente, por lo que la decisión de si el producto ha alcanzado la madurez correcta para la cosecha depende del criterio del cosechador. La madurez del tomate al momento de la cosecha determina su vida de almacenamiento y calidad, y afecta la forma en que debe ser manipulado, transportado y comercializado. Por lo tanto, en tecnología post cosecha es esencial comprender el significado y forma de medir la madurez del fruto. El significado del término maduro, el conocimiento de métodos para la determinación y aplicación de un índice de madurez satisfactorio. Los frutos deben ser cosechados con una madurez adecuada, con un mínimo daño y pérdidas, y tan rápidamente como sea posible y a un mínimo costo (Escalona *et al*, 2009). Se corta el fruto manualmente y se coloca en cajas de cartón que se usan para la venta, después se separan dividiéndolos en tres colores rojo, verde y rayado también conocido como color payaso que es el color tipo rosado, también se toma en cuenta el tamaño del fruto. Generalmente se cosecha cuando el color es rayado ya que dura más en el anaquel. Después de dividirlos por colores y tamaño se elige cuál se va a comercializar ya que surgen mermas.



Figura 5.12. Selección por colores y tamaño



Figura 5.13. Producción de tres variedades de tomate indeterminado.

Durante el transporte se cuida el fruto para que no sufra daños mecánicos como magullamiento, raspaduras, abrasiones o fracturas, (Escalona *et al*, 2009), mencionan distintas maneras de evitar que el fruto de tomate se exponga a daños mecánicos al descargarse manualmente, mediante bandas transportadoras, o al descargarse en agua dentro de tanques con agua corriente para reducir daños físicos. El agua en los tanques de descarga debe ser clorada y la temperatura debe ser ligeramente mayor que la temperatura del producto para prevenir la absorción de agua y organismos que provoquen pudrición del producto. Una operación puede tener dos tanques separados por un sistema de aspersión de agua limpia para mejorar para mejorar la sanidad del manejo.

Inocuidad

La inocuidad es actividad de importancia necesaria durante la producción, almacenamiento y distribución de los alimentos, esto se realiza para asegurar que el producto no esté contaminado y no represente riesgos para la salud. En cualquier punto de la cadena desde el invernadero hasta la mesa del consumidor los frutos pueden contaminarse mediante el contacto directo o indirecto del producto fresco con heces de animales o humanos que representan la principal fuente de contaminación microbiana. Una vez que el producto es contaminado, remover o eliminar los microbios patógenos se vuelve difícil. Por lo tanto, es preferible prevenir la contaminación de los frutos en todos los pasos de la cadena desde producción hasta el consumo, en lugar de tratar de eliminar la contaminación después de ocurrida (FDA, 2008).

En la etapa de la producción, los riesgos de contaminación se pueden presentar en diferentes puntos y por diversas causas.

1. Presencia de animales alrededor de los invernaderos
2. Contacto de los frutos con el suelo, máxime cuando se hayan utilizado fertilizantes orgánicos como humus o compostas, sin haber sido tratados adecuadamente.
3. Utilización de agua contaminada para las diversas actividades como riegos, aspersiones de plaguicidas y/o fertilizantes, lavado de fruta, estaciones de lavado de manos, otros.
4. Trabajadores infectados o con síntomas de enfermedad o mala higiene
5. Uso de contenedores y herramientas sucios para cosecha y empaque
6. Pisos y paredes sucios del vehículo del transporte de la fruta hacia el empaque entre otros (Castellanos, 2009).

En invernadero es recomendable usar tapetes sanitarios tratados con óxido de calcio (cal viva), la cual es reactiva a la humedad de los microorganismos que pudieran introducirse dentro del invernadero y provoca que estos mueran. Las puertas del invernadero deben estar siempre cerradas para evitar el paso de agentes dañinos. Los pasillos del invernadero deben estar limpios sin residuos de podas, cosechas ya que pueden ser hospederos para plagas y enfermedades. Es necesario eliminar las malezas que se encuentren fuera del invernadero.



Figura 5.14. Tapetes sanitarios tratados con óxido de calcio (cal viva)

Lista de referencias

- Cadenas, F. (2003). *El cultivo protegido del tomate*. En: Técnicas de producción en cultivos protegidos (Coord.. Camacho, F.F.). V. 212. Tomo 2. 483-539. Ed. Mundi-Prensa. Cajamar, Almería, España.
- Castellanos Z. J. (2009). *Manual de Producción de Tomate de Invernadero*. Editorial Intagri. Guanajuato, México. 458 p.
- Escalona C.V., A. P., Monardes M. H., Urbina Z. C. Martin B. A. (2009), *Manual de Cultivo de Tomate (lycopersicon esculentum mill.)* Nodo Hortícola. Consultado en línea 26 de abril de 2017. Disponible en: www.cepoc.uchile.cl/pdf/Manua_Cultivo_tomate.pdf
- González I.M.L. (2004). Evaluación de cinco variedades de jitomate (*Lycopersicon esculentum Mill*), bajo invernadero. Tesis de licenciatura Universidad Autónoma Chapingo, Méx, 87 p.
- Lee, J. M.: Advances in seed treatments for horticultural crops. *Chronica Horticulturae*, 44(2): 11-20, 2004.
- Marino V., (2012). *Polinización adecuada de tomates*. Consultado en línea 26 de marzo de 2017. Disponible en: www.hortalizas.com/nutricion-vegetal/polinizacion-adecuada-de-tomates/
- Maroto J.V, (2008). *Elementos de Horticultura General*. 3ª Edición. 3ra Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 480 p.
- Reche M. J.; (2016). Agente de Extensión Agraria. *Poda de Hortalizas en Invernadero (Berenjena, Pimiento y Tomate) Núm. 2094*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica.
- Sánchez del C., F; (2002). Descripción general del proceso técnico de producción de jitomate basado en despuntes tempranos y altas densidades p. B1-B17. In Abraham Rojano, Waldo Ojeda y Raquel Salazar (Eds.). *Curso Internacional de invernaderos 2002*. Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.
- Villavicencio V. A.; Vásquez C. W.; (2008). *Guía técnica de cultivos*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Manual núm. 73.

VI. SISTEMA DE RIEGO

Néstor Magdaleno Montoya Pineda
José Hugo Tomás Silva Espinosa

Relación entre la humedad del suelo y la planta

Desplazamiento

Al momento de realizar el riego el agua penetra a una velocidad de acuerdo al tipo de suelo, a las labores que se le han realizado o al estado de sequedad que presente, cuando el suelo se encuentra muy seco, el agua tiene un movimiento hacia abajo y a los lados, hacia los poros más pequeños (microporos). A medida que el agua se encuentra en movimiento se van llenando todos los poros o huecos existentes en las partículas del suelo, generando una expulsión del aire y gases que se pudieran encontrar. Al presentar una saturación total. Ésta no es permanente, porque existen poros con un tamaño mayor (macroporos), que no son capaces de retener todo el peso del agua, por lo que desciende y deja un hueco que es ocupado por aire, dado una renovación de la atmosfera inferior del aire (Talens, 2009)

Salinidad y drenaje

Teniendo un buen drenaje en el terreno, las sales en disolución son arrastradas por lixiviación que son benéficas al provocar un lavado de sales nocivas, pero también perjudiciales al provocar pérdidas de fertilizante y así provocar una contaminación de aguas subterráneas. Al no tener un buen drenaje en el suelo se observan encharcamientos que duran mucho tiempo, lo que provoca la muerte de plantas por asfixia radicular o problemas para absorción de (Fe), provocando un problema de clorosis (Talens, 2009)

Necesidades y riegos

El aporte adecuado de agua a las plantas es de vital importancia para su desarrollo, esto es llamado como agua aprovechable que es el punto que las plantas absorben el agua del suelo con mayor facilidad. Existe un punto donde las plantas no pueden absorber agua del suelo mediante las

raíces, debido a la fuerza de retención que tienen las partículas del suelo y las sales presentes (Talens, 2009).

Características y parámetros del suelo a considerar

Capacidad del suelo para almacenar agua

En la mayoría de los suelos, la red de espacios porosos comprende un volumen que oscila entre 30-50% del total. De todos los poros, los de mayor diámetro permiten un paso rápido del agua y sólo los pequeños son capaces de retener y almacenar agua. En un suelo determinado, el porcentaje total de poros y su tamaño depende de distintos parámetros físicos del suelo.

Textura

Es la proporción de los diferentes componentes minerales: arena, limo y arcilla. Estos componentes son diferenciados por su tamaño, en el Cuadro 6.1, se muestran los diferentes tamaños entre poros de distintos suelos.

Tipo de suelo	Diámetro de partículas
Arena	Entre 0.05 y 2 mm
Lino	Entre 0.002 y 0.05 mm (no visibles a simple vista)
Arcilla	Menores de 0.002 mm (no visibles a simple vista)

Cuadro 6.1. Tamaño relativo de las partículas del suelo

Estructura

La manera en que las partículas se unen y forman agregados dejando entre sí espacios porosos dan como resultado una determinada estructura del suelo. La labranza intensiva, pastoreo intenso y el paso de maquinaria agrícola cuando el suelo se encuentra húmedo, son algunas de las prácticas que los agricultores realizan en muchas ocasiones generando así la destrucción de la estructura de los suelos.

La siguiente tabla muestra las diferentes capacidades de almacenamiento de agua en distintos suelos:

Tipo de suelo	Capacidad de almacenamiento
Arenoso	150 litros
Limoso	150 litros
Franco	300 litros
Arcilloso	450 litros

Cuadro 6.2. Tipos de suelos y su capacidad para almacenar agua

Teniendo como consecuencias la compactación del suelo y disminuyendo así la capacidad de agua. Por esa razón para poder llevar acabo la agricultura de manera eficiente tener un suelo equilibrado de agregados del suelo y materia orgánica que ayuda a mejorar las características del suelo, dando como resultado un suelo fácil de trabajar, permeable y buena capacidad de acumulación de agua. El suelo que posee estas cualidades corresponde a los suelos francos donde la composición de su estructura está comprendida entre 30-50 % de arena, 30-50% de limo y 20-30 de arcilla.

A pesar de que los suelos tienen gran capacidad de almacenamiento solo es una parte del total del agua almacenada que podrá ser aprovechada por las plantas. Al cambiar las proporciones de arena, limo y arcilla cambia también la denominación técnica del suelo y su capacidad para retener agua y de ponerla a disposición de las plantas (Lop, 2005).

Caracterización de un suelo desde el punto de vista de la disponibilidad de agua para las plantas

El volumen total de agua que puede almacenar un suelo, no estará en su totalidad disponible para las plantas y, del que está disponible, no todo se puede absorber con igual facilidad. Tomando en cuenta la información anterior se tiene que los suelos poseen diferentes parámetros de agua almacenada, utilizable, fácilmente utilizable y punto de marchitez permanente (Cuadro 6.3).

Tipo de suelo	Agua en el suelo			
	Almacenada	Utilizable	Fácilmente utilizable	Punto de marchitez
Arenoso	150 litros	66 litros	33 litros	84 litros
Franco	300 litros	132 litros	66 litros	168 litros
Arcilloso	450 litros	198 litros	99 litros	252 litros

Cuadro 6.3. Almacenamiento de agua en el suelo.

Capacidad de campo

Es el volumen de agua que un suelo puede retener después de saturarlo (encharcarlo) y dejarlo drenar (escurrir) libremente durante 48 horas. La capacidad de campo es el agua retenida en los poros pequeños del suelo, donde los poros más grandes se hayan llenado de aire. Cuando un suelo está a capacidad de campo la presión necesaria para comenzar a extraer el agua retenida es baja, de menos de 0.3 atmósferas.

Tipo de suelo	Porcentaje de retención de agua
Suelos arenosos	6%
Suelos ligeros	10 al 15%
Suelos medios	20 al 25%
Suelos pesados	30 al 40%

Cuadro 6.4. Porcentaje de retención de agua en diferentes tipos de suelos.

Punto de marchitez permanente

Es denominado como el contenido de agua de un suelo donde las plantas no pueden extraer más y, por tanto, se marchitan y mueren. La presión necesaria para comenzar a extraer el agua que contiene un suelo en su punto de marchitez es de 15 atmósferas. De forma general, el punto de marchitez es igual al 56% de la capacidad de campo. Esto quiere decir que, si el suelo franco tiene una capacidad de campo de 300 l/m³ de suelo, en su punto de marchitez seguirá conteniendo 168 litros. Pero el agua no puede ser aprovechada por las plantas.

Tipo de suelo	Porcentaje
Suelos arenosos	2%
Suelos ligeros	6%
Suelos medios	9%
Suelos pesados	18%

Cuadro 6.5. Porcentaje de agua, distintos suelos a punto de marchitez permanente

Agua útil para las plantas

Es la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez. Tomando como ejemplo un suelo franco con una capacidad de campo de 300 l/m³ menos el punto de marchitez que es de 168 l/m³, da como resultado que este tipo de suelo tiene 132 l/m³ de agua útil. Agua fácilmente utilizable por las plantas se alcanza en un rango de 0.5 - 1 atmósferas y, por tanto, sin merma de su capacidad productiva. El agua fácilmente utilizable depende de cada especie de planta. En agricultura se considera, de forma orientativa, que para los cultivos menos sensibles a la sequía el agua fácilmente utilizable es el 50% del agua útil y para los más sensibles entre 25-30%. Para el suelo franco anterior, el agua fácilmente utilizable por los cultivos menos sensibles sería de 66 l/m³ de suelo y de 33 l/m³ para los más sensibles (Lop, 2005).

Tipo de suelo	Porcentaje
Suelos arenosos	4%
Suelos ligeros	5 al 9%
Suelos medios	10 al 15%
Suelos pesados	17 al 22%

Cuadro. 6.6. Porcentaje de agua aprovechable por las plantas

Sistema de riego en invernadero

El aporte adecuado de agua y nutrientes a las plantas es de vital importancia para el desarrollo óptimo del cultivo. Hoy en día se encuentra en el mercado un sinfín de sistemas de riego. Hay sistemas de baja tecnología que constan de una bomba centrífuga y un sistema de inyección a base de Venturi; y sistemas de alta tecnología que dan la posibilidad de programar los horarios de riego y la dosis de fertilizante que se desea aplicar. La agricultura protegida en los últimos años ha incorporado nuevas tecnologías para el uso óptimo de aporte de agua y nutrientes a los cultivos, generando así un menor impacto en el medio ambiente y ayudando a la economía de los agricultores.

Características de sistema de riego en invernadero

Su objetivo es realizar pequeñas aportaciones de agua, de manera continua y frecuente, en un lugar próximo a la planta, humedeciendo sólo parte del volumen del suelo conocido como bulbo mojado lugar donde se concentran la mayoría de las raíces. Aunque existen diversos sistemas de riego localizado el ejemplo más típico es el conocido como riego por goteo (Lop, 2005).

Características riego localizado

Es el tipo de riego a presión donde el agua es aplicada en la parte de la planta donde se desarrollan la mayoría de las raíces. Los sistemas de riego localizado se agrupan en cuatro categorías que son las siguientes:

Riego por goteo:

- El agua es aplicada lentamente en la superficie del suelo a través de pequeños orificios emisores denominados goteros con caudales de 2 a 8 litros/h.

Microaspersión:

- El agua es pulverizada en la superficie del suelo, produciendo áreas pequeñas regadas localizadas con un diámetro de 1 a 5 m. teniendo un

caudal los emisores de 10 a 150 litros/h denominados microaspersores al tener al menos un elemento móvil.

Riego a chorros:

- Donde el agua es aplicada en pequeños chorros a ras de suelo, son colocados de manera adyacente a la planta con caudales de 100 a 150 litros/h (Pereira *et al.*, 2010).

Bulbo de mojado



Figura 6.1. Bulbo mojado

Los goteros están diseñados para trabajos a baja presión que van de los 5 a 10 m. dando como resultados pequeños caudales de descarga (2, 4 o 8 lh^{-1}). El agua que es descargada por los goteos se infiltra y se distribuye vertical y horizontalmente. Dando como resultado una superficie mojada en forma de bulbo donde se concentran la mayor parte de las raíces de las plantas. El tamaño del bulbo de humedad, así como de su forma dependen básicamente del caudal del gotero, de la

duración del riego y del tipo de suelo donde es realizado el riego. En los suelos de textura media o fina se producen bulbos más anchos y con poca profundidad, mientras tanto en suelos arenosos se tiene un bulbo más estrecho y con una profundidad mayor (Pereira *et al.*, 2010).

Componentes de un sistema de riego

Los principales componentes con los que cuenta un sistema de riego:

- Embalse o depósito
- Cabezal de riego
- Red de riego
- Goteros
- Elementos de control

Depósito

Permite regular y garantizar el suministro de agua cuando la planta plantación lo requiere, así como tener siempre disposición de agua cuando se produce el riego a turnos.



Figura 6.2. Depósito de agua

Cabezal del sistema de riego

Está conformado por un conjunto de elementos que tiene por funciones medir el agua, aplicar y dosificar fertilizantes, filtrar el agua, regular presiones y ejecutar los programas de riego previos. Para contar con un buen funcionamiento del sistema de riego todos los elementos deben estar regulados por un programador de riego que permite controlar todas las funciones de los componentes del cabezal de riego. Normalmente, la presión del cabezal del sistema de riego en un invernadero oscila entre 1-2 kgf/cm², que es proporcionada por un equipo de bombeo. Un cabezal no siempre cuenta con los mismos componentes, esto dependerá de las necesidades concretas de la instalación y la disponibilidad de recursos.

Bomba de impulsión

Es la encargada de dar presión suficiente a toda la instalación para que el agua llegue a los emisores. Pueden ser bombas centrífugas accionadas por motores eléctricos o bien motores de combustión (gasolina o diésel) cuando no se dispone de electricidad.

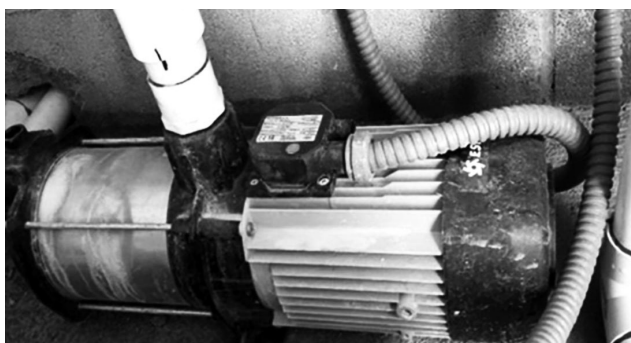


Figura 6.3. Bomba de impulsión (principal)

Equipo de filtración

Generalmente, el agua de riego presenta impurezas que hay que tratar para que no se produzcan problemas en la instalación. Por eso es necesario que el sistema de riego cuente con filtros que prevengan los efectos perjudiciales de las partículas sólidas en suspensión, orgánicas o los minerales contenidas en ella, ya que al no ser eliminadas obstruirían los orificios de desagüe de los emisores y la sección de las tuberías, pudiendo dañarse también otros dispositivos de la instalación con elementos móviles. Existen diferentes tipos de filtros, según el problema que se quiera tratar:

- Filtros de arena
- Los coladores de malla
- Los coladores de anillas

Filtros de arena

Tiene como función eliminar impurezas de tipo orgánico, tales como algas, además de pequeñas partículas minerales. Son tanques metálicos o de poliéster, en su interior contienen una capa gruesa de arena que es atravesada por el agua, quedando retenidas la arena, algas y otras materias en suspensión.

En este tipo de filtro es necesario realizar el lavado con frecuencia por el motivo de que la pérdida de carga aumenta con la materia retenida en la arena, es recomendable colocar en el cabezal al menos dos filtros, de forma que pueda realizarse la limpieza de uno con el agua filtrada previamente con el otro, lo que se conoce como limpieza por retrolavado o inversión del flujo. Con aguas que no tengan mucha materia orgánica puede servir, si bien el consumo de agua es mucho más elevado, debido a la frecuencia de las limpiezas por retrolavado, y puede pasar materia orgánica a la instalación, lo que a mediano plazo puede provocar problemas en las instalaciones.

Filtros de anillas



Figura 6.4. Filtro de anillas

Tienen como método filtrante un conjunto de discos ranurados, que se comprimen formando un cartucho, quedando pequeños agujeros correspondientes a las ranuras entre disco y disco. El cartucho se monta sobre una

carcasa que suele ser de plástico. El efecto de filtrado es intermedio entre los filtros de malla y los de arena, su facilidad para la automatización de la limpieza mediante la aplicación de chorros de agua a presión ha generado que cada vez sean más utilizados en sistemas de riegos. Los filtros de anilla dejan pasar el agua y retienen las partículas cuyo tamaño sea mayor al del paso de la ranura.

Filtros de malla



Figura 6.5. Filtro de malla

Realizan una retención de partículas superficial, por lo que se obstruyen muy rápidamente. Por tal motivo que solo son utilizados para filtrar partículas inorgánicas de aguas no muy sucias. Suelen instalarse en un cabezal de riego

después de la inyección de fertilizantes. Los coladores de malla consisten en un cuerpo cilíndrico, de plástico o metálico, en cuyo interior hay un cilindro o cartucho de malla de plástico o acero inoxidable por donde pasa el agua. Se caracterizan por el número de mesh, que para un filtro de malla se define como el número de orificios por pulgada.

No. mesh	Tamaño de hueco (en micras)
20	850
60	250
80	180
100	150
120	130
150	106
170	90
200	75
250	63

Cuadro 6.7. Relación entre Número de Mesh y hueco en mallas de acero inoxidable

Equipo de fertirrigación



Figura 6.6. Tanque de fertilización

La fertirrigación es una de las operaciones más importantes que se realizan en un cabezal de riego. Una vez que el agua es filtrada y acondicionada, se inyectan en la red de riego los distintos fertilizantes y tratamientos para las plantas. Esto se hace mediante el equipo de fertirrigación. Básicamente, un equipo de fertirrigación consta de unos tanques o depósitos, donde se realizan las soluciones nutritivas, así como unos equipos de inyección de fertilizantes a la red

de riego; tanque de fertilización, agitadores, equipo de inyección de fertilizantes, programador, etc.

Tanques de fertilización

Depósitos donde se introduce la solución madre de fertilizantes utilizados para la nutrición de las plantas. Los depósitos son conectados en paralelo a la red de riego. Son generalmente de plástico o de poliéster reforzado. Según el tipo de instalación, pueden tenerse entre uno y siete depósitos, pues muchos de ellos no se pueden mezclar al mismo tiempo en un tanque, por lo que se deben aplicar en tanques separados. En caso de tener un solo tanque hay que realizar las aportaciones de los fertilizantes en días separados para que no se mezclen.

Agitadores

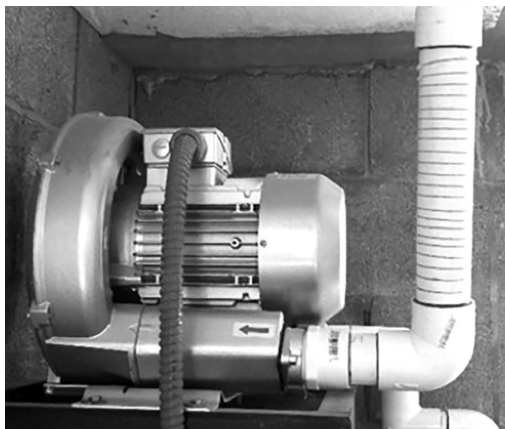


Figura 6.7. Agitador de aire

La utilización de agitadores favorece a tener una mezcla más homogénea de la solución madre contenida en los tanques de fertilización. Existen dos tipos de agitadores de aire y mecánicos, los agitadores de aire son accionados mediante una turbina que genera el aire y es conducido a través de tubería de PVC y en el fondo del depósito de

encuentra la salida del aire que ha sido inyectado y así generando efervescencia de la mezcla. Los mecánicos, con una hélice directamente accionada por un motor eléctrico generan una turbulencia de la mezcla que permite una mayor agitación, por lo que se utilizan con fertilizantes menos solubles.

Inyección de fertilizantes mediante Venturi

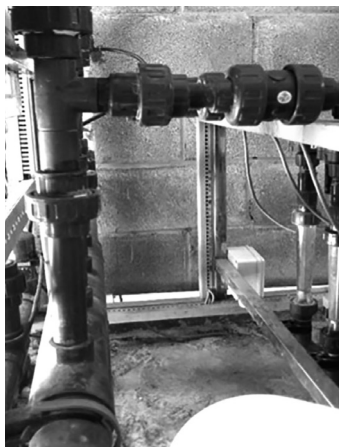


Figura 6.8. Sistema de inyección Venturi

La solución de fertilizantes que se prepara en los tanques debe ser incorporada a la red de riego con el uso de dispositivos de inyección. Es un dispositivo de plástico con un estrechamiento interior que permite que el fertilizante se inyecte en la red por diferencia de presión. Es un sistema sencillo, con muy poco mantenimiento, aunque produce pérdidas de presión en la red. La inyección de fertilizante es proporcional al caudal que circula por el Venturi. Pueden colocarse más de un inyector Venturi en los sistemas de fertilización, colocando uno para cada tanque de fertilizantes. El sistema se puede controlar mediante electroválvulas, de forma que la succión sólo se produzca cuando éstas se encuentren abiertas. Es un sistema barato, pero tiene la desventaja de producir muchas pérdidas de carga. Las bombas de inyección son más precisas que el sistema anterior, pero más caras.

Equipo de inyección de fertilizantes bomba de inyección



Figura 6.9. Bomba de inyección de fertilizante

Al presentarse una mayor presión del agua que circula en la red es requerido utilizar una bomba de inyección que puede ser de accionamiento eléctrico o hidráulico. Tienen un émbolo o una membrana que con un movimiento de vaivén inyecta la solución fertilizante en la red de riego. Pueden tomar la solución desde un tanque fertilizante sin presión e inyectarla a una presión superior a la del agua de riego y en ocasiones toman la

solución nutritiva después de que el sistema Venturi lo ha inyectado a la tubería. Existen dos tipos de bombas inyectoras: eléctricas e hidráulicas. Las primeras están accionadas por un pequeño motor eléctrico, mientras que, en las segundas, la presión de la propia red de riego proporciona la energía necesaria para su funcionamiento, no precisando un aporte de energía externo (Marín, 2013).

Red de riego

Está conformada por un sistema de tuberías que llevan el agua desde el tanque principal pasando por un sistema de filtros de entrada y salida para después pasar al cabezal de riego donde se agregan los fertilizantes hasta llegar a los emisores donde se localiza el cultivo.

Tuberías principales y secundarias

Son las encargadas de transportar el agua hasta las unidades de riego. Su instalación normalmente en PVC (policloruro de vinilo) o en PE (polietileno), aunque es más frecuente el PVC, ya que para diámetros grandes es más económico. La red principal, para su instalación se realizan zanjas para que el tubo no quede en la intemperie cuando se usa PVC, cuando se usa PE no es necesario enterrar la tubería (Marín, 2013).

Tuberías terciarias

Distribuyen el agua en la unidad de riego y se conectan los ramales portaemisores. Pueden instalarse en PVC y en PE, normalmente es conveniente hacerlo en PE, lo que da mayor flexibilidad a la red y no es necesario enterrarlas, resultando más económico.

Válvulas de paso

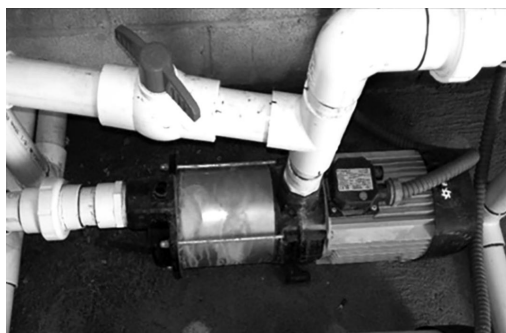


Figura 6.10. Válvula de paso (retorno)

Tienen la finalidad de abrir o cerrar una conexión o tubería, el cerrar parte de ella sirve para regular la presión disminuyendo hasta alcanzar la presión adecuada aguas abajo.

Electroválvulas



Figura 6.11. Electroválvula de pulgada y media

Es una válvula hidráulica automatizada por un solenoide (bobina), con la incorporación de piloto o un relé adecuado dan un control de caudales y de mecanismos de seguridad.

Válvula de aire



Figura 6.12. Válvula de aire

Su principal función es expulsar el aire de las tuberías, para que el agua pueda circular a presión sin problemas. Además que ayuda a vaciar el agua contenida en la tubería después de que ha finalizado el programa de riego o fertilización (Talens, 2009).

Reguladores de presión



Figura 6.13. Regulador de presión

Permite reducir el exceso de presión que contiene la tubería dándonos la presión adecuada de trabajo.

Manómetro

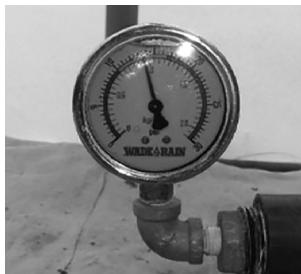


Figura 6.14. Manómetro

Instrumento para medir la presión de trabajo que permite disminuirla o aumentarla según sea necesario.

Emisores



Figura 6.15. Emisor gotero

Realizan pequeñas aportaciones de agua, de manera continua y frecuente, en un lugar próximo a la planta, humedeciendo sólo parte del volumen del suelo generando un bulbo mojado donde se concentran la mayoría de las raíces de las plantas. Los sistemas de riego localizado son diversos sistemas de riego localizado (microaspersión, cintas de exudación, riego subterráneo, etc.) siendo el más usado para invernaderos el riego por goteo (Lop, 2005).

Elementos de control

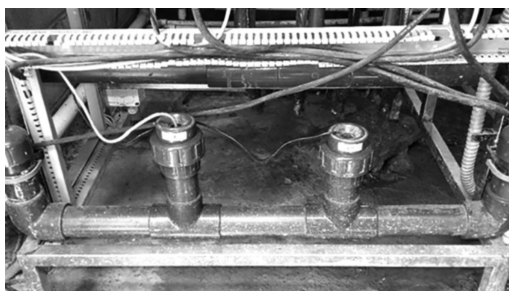


Figura 6.16. Medidor de pH y CE

La programación de la inyección de fertilizantes depende de los valores de pH y Conductividad eléctrica (CE) que, son medidos con sensores en tiempo real; y registrados en el sistema de control de riego. El sistema controla las electroválvulas y los inyectores encargados de la apertura y cierre del flujo de fertilizante y la cantidad de nutrientes aportada al riego. El agua de riego se aporta

con valores de pH y CE fijos y una proporción de nutrientes también fija para cada sector de riego y período del cultivo. El equipo de control recibe las medidas de pH y CE en tiempo real. En función de la medida de CE, el sistema incrementa o reduce la cantidad de nutrientes que, en proporciones fijas, se añaden al tanque de mezcla, para aumentar o disminuir la conductividad. Para corregir el pH se añade solución ácida o solución básica, dependiendo de si la medida realizada indica solución básica o ácida. El riego puede programarse en función de distintos factores. El método más sencillo es programar un tiempo de aplicación de riego fijo para cada cultivo y época del año, basados en la experiencia del productor (Talgil Computing & Control Ltd., 2006).

DREAM II

El sistema de control DREAM de la empresa TALGIL ofrece soluciones particularmente económicas y de gran eficiencia para el manejo de redes de riego medianas a grandes. El sistema utiliza modernas tecnologías de hardware y software con un diseño altamente flexible, que cubre todos los aspectos requeridos incluyendo: provisión de agua, riego, fertilización, filtración y todas las funciones involucradas: monitoreo, recolección de datos, informes de eventos, detección de problemas, alarmas, etc. El sistema de control puede ser armado con uno o varios controladores DREAM. Cada unidad está equipada con una gran pantalla gráfica de LCD y un teclado, permitiendo la programación local en el propio sitio. El sistema ofrece control centralizado mediante la utilización de un software especial operado en PCs que se comunican con los controladores DREAM por medio de varios canales de comunicación.

Irrigación:

- Capacidad para definir cientos de programas de riego, cabezales de riego y válvulas
- Dosificación de agua por tiempo, volumen, volumen por área y ET
- Irrigación por días de la semana o por ciclo de días
- Ciclo único o riego por pulsos
- Inicio: Automático por tiempo o por condición o de forma manual
- Cada programa permite secuencia de válvulas o de grupos de ellas
- Operación de válvula principal: retrasada, adelantada, o simultáneamente con las válvulas.
- Puede manejar múltiples fuentes de agua

Fertilización:

- Permite la definición de sitios locales y sitios centrales de fertilización. Hasta 6 fertilizantes por sitio

- Modos de dosificación de fertilizante:
Continuo - Tiempo (h:m:s), Volumen (Litros)
Concentración - L/m^3 , $L/m:s$, seg/min , $m:s/L$
Proporcional - Litros
- Tres etapas de fertirrigación: Pre-riego, Inyección, post-riego.



Figura 6.17. Controlador de fertilización y riego dream dos

FERTMASTER

El control preciso de la CE y el pH se ha convertido en un factor importante en los sistemas de nutrición modernos. Las culturas sin suelo y aún los cultivos a campo abierto requieren hoy en día un buen control del electro conductividad y de la acidez del agua de riego, y es para ello que se ha diseñado FERTMASTER. Es una herramienta de alta eficiencia capaz de manejar hasta 6 inyectores, una bomba aceleradora/booster, una válvula principal/bomba de agua que puede ser alternativamente reemplazada por un agitador. El sistema puede leer un medidor de caudal, seis medidores de fertilizante como entradas digitales y un sensor analógico de CE y un sensor analógico de pH (Talgil Computing & Control Ltd., 2009).

Salidas opcionales:

- Hasta 6 inyectores de fertilizante
- 1 bomba aceleradora
- 1 válvula principal/ bomba de agua
- 1 agitador en lugar de la válvula principal

- 3 salidas de alarma (en modo independiente)
- Todas las salidas son 24v AC hasta 10 Watt

Entradas de contacto seco:

- Hasta 6 medidores de fertilizante
- Opcional 1 medidor de caudal
- 8 contactos de selección (en modo independiente)

Entradas analógicas:

- 1 sensor de CE
- 1 sensor de pH
- 1 sensor de temperatura PT100

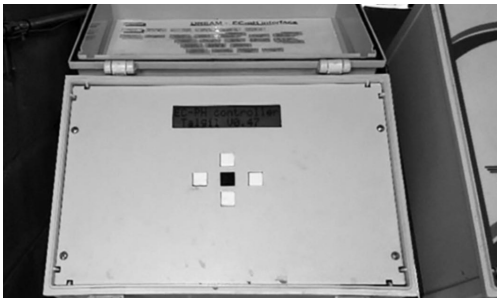


Figura 6.18. Equipo de fertilización

Cálculo de aplicación de riego en invernadero

Edad SDT	Demanda hídrica ml/planta/día	Dotación de riego m ³ /ha	Frecuencia de riego
2	300-350	33-39	Cada 4 días
3	400-500	33-42	Cada 3 días
4	550-600	46-50	Cada 3 días
5	600-800	34-45	Cada 2 días
6	800-1000	45-56	Cada 2 días
7	1000-1200	28-33	Diariamente
8	1200-1400	33-39	Diariamente
>9*	1400-1600	39-44	Diariamente

Cuadro 6.8. Demanda hídrica del tomate de invernadero en suelo para plantaciones de primavera en la región central de México, para una densidad de 2.8 plantas/m²

El volumen de agua de riego en invernadero está dado de acuerdo a la etapa de desarrollo de cultivo y las semanas después del trasplante (SDT). Sin embargo, no sólo se tienen que tomar estos datos como referencia, el clima juega un papel fundamental para determinar la demanda del cultivo. Tomando como ejemplo un invernadero de 816 m² con una densidad de plantación de 2.8 plantas/m² con una distancia entre surcos de 1.80 m, se dispone de 9 surcos cada uno manejado a dos cintillas con una longitud de 45 m.

Para realizar el cálculo de la demanda de agua de riego por la planta es necesario tomar en cuenta los siguientes datos.

- Número de plantas
- Gasto de los emisores
- Demanda hídrica del cultivo

Además de los puntos mencionados para calcular la demanda de riego, es importante tomar las necesidades básicas

- Cultivo (uso consuntivo de la planta)
- Clima (lluvia, humedad, calor, etc.)
- Suelo (características físicas y químicas)

Lo primero a calcular será el número de plantas que se encuentran en el invernadero: El invernadero cuenta con nueve surcos con una longitud de 45 m, y la distancia entre plantas de tomate es de 0.40 m sembrados a tres bolillos a doble hilera, esto da un total de 18 hileras.

1. Cálculo para determinar el número de plantas.

$45 \text{ m} / 0.40 \text{ m} = 112.5 \text{ plantas por hilera} \times 18 \text{ N}^\circ \text{ total de hileras} = 2\,025 \text{ N}^\circ \text{ plantas}$

2. Cálculo para determinar el gasto de los emisores.

$45 \text{ m longitud de la cintilla} / 0.20 \text{ m distancia entre emisores} = 225 \text{ emisores por hilera} \times 18 \text{ N}^\circ \text{ total de hileras} = 4\,050 \text{ Total de emisores.}$ Según los datos de diseño de la cintilla, cada emisor tiene un gasto de 1 L/h, esto nos da que en una hora de riego con este sistema tendríamos un gasto de 4 050 litros/hora.

3. Cálculo de la demanda hídrica del cultivo.

Para realizar el cálculo de la demanda del cultivo de tomate se toma en cuenta los datos que se muestran en la Cuadro 6.8. Considerando etapa fisiológica del cultivo (SDT) y la demanda hídrica que está determinada por ml/planta/ día.

Se tiene que la edad del cultivo en semanas después del trasplante (SDT) es de 7 semanas con una demanda hídrica de 1000 a 1200 ml/planta/día.

Ya que se tienen todos los valores necesarios para determinar la demanda de agua que requiere el cultivo de tomate bajo invernadero, se determina la cantidad de agua que el cultivo requiere para poder desarrollar sus actividades fisiológicas.

Tomando en cuenta una demanda hídrica de 1 000 ml/planta/día, se aplicaría un volumen de riego de 2 025 litros diarios al cultivo. Una vez obtenido el volumen de riego por aplicar, lo que resta es determinar el tiempo que se necesita para que dicho volumen sea distribuido por el sistema de riego. Se obtiene el resultado con una regla de tres simple donde:

60 minutos de riego 4 050

X 2 025

donde X = 30 minutos

Fertilizante aplicado en el sistema de riego

El cabezal de riego está habilitado con 4 tanques de los cuales son usados solo 3 para realizar la fertilización del cultivo de tomate en una etapa de cosecha, la capacidad de los tanques es de 450 L (0.45 m^3) donde la solución de encuentra 100 veces concentrada. En cabezales con tanques fijos de 1 000 L, se pueden concentrar los fertilizantes 100 veces y realizar los riegos al cultivo, ajustando los inyectores a un gasto de 50 % de cada tanque de solución madre. Otra forma de inyección de la solución se realiza mediante el ajuste de la CE en el controlador DREAM II. Como se puede postrar en la Figura 6.19, en el tanque A se encuentran los nitratos y microelementos, mientras tanto en el B se encuentran los sulfatos y fosforo, quedando el tanque C donde se almacena el ácido que mediante el sensor con el cual está habilitado el sistema realiza la regulación de pH. El gasto de cada uno de los tanques como se puede observar la figura es de un litro de solución que será incorporado a un caudal de 100 litros (Camacho *et al.*, 2008).

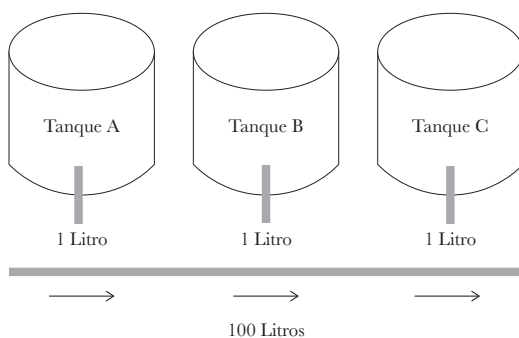


Figura 6.19. Inyección de la solución madre hacia el caudal de riego.

Teniendo un gasto de un litro por tanque, aplicando la cantidad de 2 000 litros de agua durante el horario de riego que ha sido programado, se tiene como resultado un gasto de 20 litros de solución de cada uno de los tanques habilitados para la fertilidad del cultivo.

Nutrimiento	Etapa previa a cosecha 0-75 DDT	Inicio de producción 75-125 DDT	Fin de cosecha 125 DDT
NO ₃ ⁻	6-8	8-10	7-10
H ₂ PO ₄ ⁻	0.5-0.9	0.6-1.0	0.6-1.0
SO ₄ ⁻	3-6	3-6	3-6
K ⁺	4-5	5-6	4.5-5.5
Ca ⁺⁺	5-6	5-6	5-6
Mg ⁺⁺	1.5-2.0	1.8-2.5	1.5-2.5
CE, ds/m	1.1*	1.3*	1.2*
Vol. Riego Fértil	8 a 30 m ³ /día/ha	30 m ³ /día/ha	30 m ³ /día/ha

* La conductividad eléctrica no considera el efecto del sodio en agua

Cuadro 6.9. Concentración de la solución nutritiva para el cultivo de tomate en suelo, en sus tres etapas de desarrollo y el volumen de riego requerido

Lista de referencias

- Castellanos, et al., 2011. *Manual de Producción de Tomate en Invernadero*. Intragri. México. 457p.
- Fernández, R. y F. Camacho, 2008. *Manual práctico de Fertirrigación en riego por goteo*. Ediciones Agrotécnicas. España. 169 p.
- Lop, F. A., et al. 2005. *Curso de Riego para Agricultores. Proyecto de autogestión del agua en la agricultura*. WWF/Adena.
- Marín, C.M., 2013. *Instalación de Riego Localizado en Invernadero*. Marín Pons & Asociados, S.R.L.
- Moya, J.A., 2009. *Riego Localizado y Fertirrigación*. Ediciones Mundi-Prensa. España. 575p.
- Pereira, S.L., et al. 2010. *El Riego y sus Tecnologías*. Centro Regional de Estudios del Agua. Universidad de Castilla. España.

VII.

FERTILIZACIÓN, DIAGNÓSTICO Y MONITOREO NUTRIMENTAL DEL CULTIVO DE TOMATE EN INVERNADERO

Juan Manuel Alcalá Ruiz
Patricio Rivera Ortiz

La producción comercial de tomate bajo invernadero requiere que el productor haga uso óptimo de los recursos disponibles. Si la fertilidad natural de un suelo fuera capaz de aportar todos los elementos minerales que extrae un cultivo, no sería necesario aplicar fertilizantes. Sin embargo, en la práctica no es así, con el avance de la tecnología, la agricultura se intensificó y muy especialmente las hortalizas, donde el tomate es una de ellas. Uno de los recursos de mayor importancia es el fertilizante, orgánico e inorgánico, que provee los nutrimentos necesarios para un adecuado crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate. Si faltan nutrimentos el rendimiento y calidad del producto serán pobres, en cambio con excesos el costo de producción se incrementa, pudiendo ocasionar toxicidad en la planta de tomate y también la posibilidad de una lixiviación de los nutrimentos provocando contaminación de los mantos acuíferos. Los productores exitosos toman las precauciones debidas para utilizar los fertilizantes en forma óptima, cubriendo las necesidades de los cultivos con poco riesgo de contaminar los mantos acuíferos. A medida que las plantas crecen y se desarrollan las necesidades nutrimentales varían en función de la especie, variedad, el estado de desarrollo y de las condiciones agroclimáticas, por lo que el manejo de la nutrición es de vital importancia.

El conocimiento de qué elementos minerales requiere el tomate para su crecimiento, su ritmo de absorción en cada una de las etapas de su desarrollo es fundamental para formular recomendaciones de abonado. La decisión de que nutrimento aplicar, en qué cantidad, época y forma, debe ser el corolario de un proceso de análisis que el técnico debe tomar considerando el medio en que se desarrollará el cultivo y los niveles de producción que desea alcanzar.

Elementos esenciales

Un adecuado programa de manejo nutricional balanceado sólo se puede realizar cuando hay un claro entendimiento del rol de todos los nutrientes esenciales para las plantas.

En las plantas se encuentran muchos elementos químicos, pero solamente algunos de ellos son esenciales para el crecimiento y desarrollo de los vegetales.

El término de “elemento mineral esencial” lo propusieron Arnon y Stout en 1939, de acuerdo a los siguientes criterios:

- Las plantas son incapaces de completar su ciclo de vida en ausencia del elemento mineral.
- Que las funciones del elemento no son remplazadas por otro elemento.
- Debe ser conocida la función del elemento dentro del metabolismo vegetal.
- Su acción debe ser directa sobre la planta y no a través de modificaciones favorables en el sustrato.

El 95 % del peso fresco total de las plantas lo constituyen 3 elementos, el carbono (C), el hidrógeno (H) y el oxígeno (O), todos provenientes de la atmósfera, incorporados a las plantas mediante el proceso de la fotosíntesis. El carbono proviene del CO_2 del aire, en cambio el H y el O provienen del agua, la cual debe llegar al suelo para ser absorbida por las plantas y trasladada por el sistema vascular hasta las hojas donde se realiza el proceso fotosintético. Las plantas toman el resto de los elementos desde el suelo en distintas cantidades, por ello se les agrupa en macroelementos para referirse a aquellos que las plantas requieren en mayor cantidad como el nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S); y microelementos cuando son requeridos en pequeñas cantidades, como hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn) boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl).

Todos los elementos esenciales son tomados o asimilados por las plantas en forma de iones. Estos iones pueden ser positivos (cationes) o negativos (aniones). Dentro de la planta los nutrimentos o iones presentan diferente movilidad, presentándose los primeros síntomas de deficiencia según la edad de la hoja, distinguiendo entre hojas viejas y hojas jóvenes. Los síntomas en las primeras son por consecuencia de la falta de nutrientes móviles, tales como N, P, K y Mg, que van a desplazarse a las zonas de crecimiento, mientras que cuando los síntomas se observan inicialmente en hojas jóvenes, estaremos ante deficiencias de elementos inmóviles, como el Fe, Mn, Ca, B, o de escasa movilidad como el Zn, Cu y S. En el Cuadro 7.1, se presenta un listado de elementos químicos considerados como esenciales, las formas químicas en que son absorbidos por las plantas.

Elemento	Peso atómico	Forma de iónica	Peso del ión	Peso equivalente
Carbono	12	CO_2	Está con otros iones	
Oxígeno	16	H_2O u O_2	Está con otros iones	
Hidrógeno	1	H_2O	Está con otros iones	
Nitrógeno	14	NO_3^- o NH_4^+	18.62	18
Potasio	39	K^+	39	39
Fósforo	31	H_2PO_4^-	97	97
Calcio	40	Ca^{2+}	40	20
Magnesio	24	Mg^{2+}	24	12
Azufre	32	SO_4^{2-}	96	48
Hierro	56	Fe^{2+}	56	28
Cloro	35.5	Cl^-	35.5	35.5
Cobre	64	Cu^{2+}	64	32
Manganeso	55	Mn^{2+}	55	27.5
Zinc	65.5	Zn^{2+}	65.5	32.75
Molibdeno	96	MoO_4^{2-}	160	80
Boro	11	BO_3^- o $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$	155	77.5

Cuadro 7.1. Forma iónica y pesos de los elementos esenciales para las plantas

Funciones de los nutrientes en las plantas

»Nitrógeno (N), Es fundamental en el crecimiento y producción. Forma parte de todas las proteínas, de la clorofila que da el color verde a las plantas y de muchas enzimas.



Figura 7.1. Hoja normal (derecha) y hoja con deficiencia de nitrógeno (izquierda)

Síntomas de deficiencias: se detiene la producción de clorofila, que deriva en un amarillamiento general (clorosis). Por ser un elemento móvil, los síntomas se inician en las hojas más viejas y luego en tallos y frutos.

Excesos y toxicidad: la planta tiene un color verde oscuro, estimula un crecimiento vegetativo muy vigoroso, con crecimiento lento de la raíz, caída de flores y disminuye la producción.

»**Fósforo (P)**, participa en la acumulación y transferencia de energía; estimula la brotación de los meristemos de toda la planta, en especial de raíces; promueve la formación de semillas y aporta energía durante la fotosíntesis y transporte de carbohidratos.

Síntomas de deficiencia: las hojas toman un color verde oscuro a gris, en algunos casos rojizos y los tallos son más cortos. Las venas se tornan rojizas y púrpuras. En general el crecimiento es menor y producen menos raíces, yemas, hojas, flores y frutos.

»**Azufre (S)**, es esencial en la formación de proteínas, ya que forma parte de algunos aminoácidos; forma parte de las enzimas y vitaminas y es necesario en la formación de clorofila, por tanto ayuda a mantener el color verde, y estimula el crecimiento vigoroso y la producción de semilla.

Síntomas de deficiencia: la planta queda pequeña y amarilla (clorosis), porque tiende a acumular nitrógeno no proteico. La clorosis es similar a la de nitrógeno, pero los síntomas se presentan en hojas jóvenes, por la poca movilidad del elemento.

»**Calcio (Ca)**, es esencial en la cementación (unión) de las células a través de los pectatos de calcio. Ayuda a la estructura y a la permeabilidad de las membranas celulares y a la división y elongación celular. Es de baja movilidad en la planta.



Figura 7.2. Deficiencia de Ca (*Pudrición apical: Blossom end rot*)

Síntomas de deficiencia: muerte de ápices de raíz y hojas, especialmente de hojas nuevas, que se caen. Los tallos se debilitan, las frutas llegan a presentar pudrición apical.

»**Magnesio (Mg)**, la función más importante es que forma parte de la molécula de clorofila, por lo que participa activamente en la fotosíntesis. El magnesio también interviene en la síntesis de xantofilas y caroteno. Interviene además en la síntesis de

varias enzimas, en especial en las que activan el metabolismo de carbohidratos y proteínas.

Síntomas de deficiencia, en las hojas viejas se inicia un amarillamiento entre las venas. En etapas avanzadas las venas también se ponen amarillas. Las hojas se tornan café y mueren. El exceso de calcio, amonio y potasio pueden causar deficiencias de magnesio. También la presencia de carbonatos en suelos y agua.

»**Cobre (Cu),** es un activador y cofactor enzimático. Posee una gran afinidad para activar algunas enzimas que intervienen en la elaboración de lignina.

Síntomas de deficiencia: se presenta daño en el ápice de las hojas nuevas, que crecen achaparradas. Las deficiencias son mayores en suelos de pH altos. Cuando la deficiencia es grave, los síntomas son similares a la falta de potasio.

»**Hierro (Fe),** este nutrimento participa en la síntesis de clorofila en la respiración y en el del nitrógeno. Es inmóvil en la planta, especialmente en las hojas.

Síntomas de deficiencia: debido a la falta de hierro, surge clorosis que se inicia en las hojas nuevas. En general mientras más alto sea el pH del suelo o del agua, la probabilidad de deficiencia es mayor, especialmente sobre pH 7.5.

»**Boro (B).** El Boro agiliza la germinación del polen y el posterior desarrollo del tubo polínico por lo que es determinante en la producción. Interviene en la absorción y metabolismo de los cationes, en la síntesis de ácidos nucleicos, en el transporte de carbohidratos y en los procesos de división y elongación celular (tubo polínico, ápices de brotes y de raíces).

Síntomas de deficiencia: por su baja movilidad, los síntomas aparecen primero en las hojas nuevas, las cuales quedan pequeñas y deformes, descoloridas y bronceadas. Los brotes nuevos crecen achaparrados y los entrenudos se alargan.

Toxicidad: los síntomas de toxicidad de boro son clorosis intervenal y una necrosis en todo el borde de las hojas. Las hojas en crecimiento dejan de crecer por los bordes y se doblan hacia arriba o hacia abajo. Es importante tener cuidado en la preparación de la solución nutritiva para evitar una alta concentración de este elemento.

»**Zinc (Zn),** es un activador enzimático que participa en la síntesis de triptófano, aminoácido precursor del ácido indolacético, hormona del grupo de las auxinas, vital en el crecimiento de brotes, hojas y frutos.

Síntomas de deficiencia: acortamiento de entrenudos, hojas arrosetadas y chicas, área de las hojas claras, casi blancas, entre las venas, en especial en las hojas viejas que se caen. Los frutos no se desarrollan y también caen.

»**Molibdeno (Mo)**, es componente de la enzima nitrato reductasa, e interviene en el proceso de absorción de hierro.

Síntomas de deficiencia: El follaje se vuelve azulino plateado.

»**Manganeso (Mn)**, este micronutriente es un activador de enzimas que intervienen en la fotosíntesis, la respiración y el metabolismo del nitrógeno. También ejerce una función reguladora sobre la permeabilidad de la membrana celular.

Síntomas de deficiencia: es un elemento poco móvil en la planta, por lo que los primeros síntomas de deficiencia se presentan en las hojas nuevas. Se produce una clorosis intervenal.

»**Cloro (Cl)**, es un agente osmótico que ayuda a mantener el turgor celular de la planta. Participa en la evolución del nitrógeno en la fotosíntesis.

Síntomas de deficiencia: Su déficit es poco frecuente, ya que las plantas lo requieren en muy poca cantidad y es muy soluble.

Toxicidad: niveles elevados de cloruros pueden causar toxicidad, la que se manifiesta en los bordes de las hojas como una quemadura. En algunas especies comienza en el ápice de las hojas y avanza hacia abajo generalmente por el borde.

Formas de expresar las concentraciones nutrimentales

- Son varias las formas en que pueden expresarse o medirse las concentraciones de los iones en las aguas de riego o en las soluciones nutritivas.
- **Mol.** El peso molecular expresado en gramos está contenido en un litro de agua o solvente. Cuando se considera la fracción dividida en mil partes, se dice que la solución es milimolar (mM). Es la milésima parte del mol, o lo que es lo mismo, la masa de una partícula elemental expresada en miligramos. El símbolo del milimol es mmol.
- **Miliequivalente**, es el resultado de dividir la masa atómica de un átomo o la masa molar de un radical iónico expresado en miligramos, entre la valencia del átomo o del radical. La valencia considerada de la partícula elemental en cuestión es la definida por los fenómenos de electrólisis. El símbolo del miliequivalente es meq.
- **Partes por millón.** En el caso de las soluciones nutritivas, se mezclan porciones de un elemento o compuesto en un millón de partes del solvente que comúnmente es agua. Expresiones equivalentes a ppm son mg L-1 o mg kg-1.

El papel del suelo en la fertirrigación, es más importante desde el punto de vista de su composición física que química, pues está comúnmente aceptado que la actividad del complejo arcillo-húmico en fertirrigación es mucho menor que en otros sistemas de riego y abonado. Sin embargo, antecedentes o propiedades químicas como contenido de caliza activa, contenido de materia orgánica y su relación carbono-nitrógeno, además del contenido de fósforo total y de los cationes de intercambio (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} y Na^{+}), son importantes al momento de definir una estrategia de riego y nutrición para un cultivo.

El suelo tiene un poder amortiguador, por lo que al aplicarle ácidos o bases, no varía en gran medida su pH. Este poder amortiguador está relacionado con el manejo del agua y la nutrición, lo que permite al cultivo tolerar interrupciones momentáneas en el suministro de agua y nutrientes.

Las extracciones de macronutrientes que realiza la planta de tomate están relacionadas con las condiciones de desarrollo del cultivo (suelo, clima y técnicas de cultivo), con el destino de la producción, la variedad sembrada y el rendimiento agrícola.

La necesidad de fertilizantes del cultivo va a depender de la disponibilidad de nutrientes del suelo de acuerdo al pH, el contenido de materia orgánica, la humedad, la variedad, la producción y la calidad esperada del cultivo. Por eso las aplicaciones de fertilizantes estarán sujetas al resultado del análisis químico del suelo, el análisis foliar, las observaciones de campo y las recomendaciones del técnico.

Una fertilización eficiente es aquella que, con base en los requerimientos nutricionales de la planta y el estado nutricional del suelo, proporciona los nutrientes en las cantidades suficientes y en épocas precisas para el cultivo. El programa de fertilización debe considerar los siguientes puntos:

- Tipo de cultivo
- Necesidades nutricionales del cultivo
- Características y aportes de nutrientes del terreno
- Contenido de nutrientes aportados por el fertilizante
- Solubilidad del producto
- Efecto sobre el suelo y sobre las capas freáticas
- Dosis y momento de aplicación

Se debe tener en cuenta que el tomate es una planta exigente en nutrientes; requiere una alta disponibilidad de macronutrientes como N, P, K, Ca, Mg, S, y micronutrientes como Fe, Mn, Cu, B, Zn. Aunque la exigencia de N es alta, un exceso de este elemento puede llegar a un exagerado desarrollo vegetativo con bajo porcentaje de formación de frutos. Desde el momento del trasplante hasta la floración, la relación de fertilización de nitrógeno y potasio debe ser 1:1; cuando

comienza el llenado de fruto, se requiere una cantidad mayor de potasio, ya que este elemento contribuye con la maduración y el llenado de frutos; la relación de estos nutrientes debe ser 1:2 o 1:3 (Cuadro 7.2)

Relación	Rango/unidades	Efecto
K/Ca+Mg	<0.5 meq	Falta de color en el fruto
	0.5 a 1 meq	Óptimo
	> 1 meq	Pudrición apical del fruto (def. de calcio)
Ca/Mg	<2 meq	Deficiencia de calcio
	4 a 5 meq	Óptimo
	>10 meq	Deficiencia de magnesio
Mg/K	<0.1 meq	Deficiencia de magnesio
	0.2 a 0.4 meq	Óptimo
	>0.5 meq	Deficiencia de potasio
K/N	< 1 meq	Frutos blandos y maduración manchada
	1.2 a 1.8 meq	Óptimo
	>2 meq	Hombros verdes

Cuadro 7.2. Relaciones de nutrientes en el suelo para el cultivo de tomate

Fuente: Infoagro, 2006

El análisis del suelo tiene por objetivo conocer aspectos relacionados con la fertilidad física y química. Todos ellos se traducen en prácticas de manejo del suelo y del cultivo, lo que permite detectar variaciones en los parámetros del suelo y en la toma de decisiones. Es una herramienta que permite conocer antes del trasplante, lo que se requiere aplicar en una fertilización de fondo y calcular la cantidad de nutrimentos que se requiere para cubrir el rendimiento esperado

El agua contiene cantidades importantes de calcio, magnesio, sulfato y bicarbonato, que deben considerarse al momento de formular la SN. También el agua contiene elementos tales como sodio y cloro que, en cantidades altas aumentan la salinidad del agua y pueden ocasionar toxicidad a las plantas.

La mayoría de las aguas, presentan un alto pH (alcalinidad), influido por altas concentraciones de CO_3 y HCO_3 . Estos compuestos son responsables de la resistencia del agua a su acidificación a valores recomendables para una SN (5.5-6.0) y además ocasionan taponamientos de los sistemas de riego por goteo. Para neutralizar la alcalinidad es necesario aplicar ácidos fuertes como el fosfórico, nítrico y sulfúrico. Si la concentración de bicarbonato es inferior a 0.5 me/L, no es necesario acidular el agua.

No es conveniente destruir totalmente los HCO_3 , porque el pH puede bajar a 4.3 o menos, con consecuencias negativas para la planta desde el punto de vista

fisiológico, por lo anterior es recomendable dejar una concentración de 0.5 a 1 me/L de HCO_3 para amortiguar los cambios en el pH del agua.

Tasa de absorción de los nutrientes

De acuerdo con Cadahia (1995), para producir una tonelada de tomate la planta necesita extraer del suelo diferentes cantidades de nutrientes (Cuadro 7.3).

Nutrimento	Consumo neto	
	Kg/t	Kg/ha
N	2.1-3.8	400
P_2O_5	0.3-0.7	200
K_2O	4.4-7.0	850
Ca	1.2-3.2	276
Mg	0.3-1.1	48

Cuadro 7.3. Extracción nutrimental por el cultivo de tomate, para un rendimiento de 12 kg/m²

Fuente: Castilla, 1995; Cadahia, 1995

La absorción de nutrientes es muy baja en los primeros estadios de desarrollo, período que dura entre 45 y 60 días, hasta el cuajado del primer racimo, y en el que la planta absorbe un 15% del total de los nutrientes. A partir de ese momento y hasta el final del ciclo absorbe el restante 85 %, período que dura entre 90 y 105 días.

En la primera etapa es importante evitar la aplicación de cantidades demasiado elevadas de nutrientes (tanto de materia orgánica como de abonos nitrogenados), ya que puede conducir a un excesivo desarrollo vegetativo en detrimento de la producción de fruto.

El nitrógeno es el elemento que más influye sobre el desarrollo vegetativo y productivo, y al mismo tiempo es el elemento de más difícil manejo, ya que en su forma más habitual en el suelo (nítica), es susceptible de perderse por lavado en capas del suelo no alcanzables por las raíces, pudiendo producirse pérdidas de hasta el 60%.

En cuanto a la nutrición, cabe destacar la importancia de la relación N:K a lo largo de todo el ciclo de cultivo, que suele ser de 1:1 desde el trasplante hasta la floración, cambiando hasta 1:2 e incluso 1:3 durante el período de recolección. En el cultivo del tomate en racimo el papel del potasio en la maduración del tomate es esencial, pudiéndose emplear en forma de nitrato potásico, sulfato potásico, fosfato mono-potásico.

El fósforo juega un papel relevante en las etapas de enraizamiento y floración, ya que es determinante sobre la formación de raíces y sobre el tamaño de las flores. En ocasiones se abusa de él, buscando un acortamiento de entrenudos en las épocas tempranas en las que la planta tiende a ahilarse. Durante el invierno hay que aumentar el aporte de este elemento, así como de magnesio, para evitar fuertes carencias por enfriamiento del suelo.

El calcio es otro macroelemento fundamental en la nutrición del tomate para evitar la necrosis apical (*blossom end rot*), ocasionado normalmente por la carencia o bloqueo del calcio en terrenos generalmente salinos o por graves irregularidades en los riegos.

Días desde emergencia	Kg/ha ⁻¹ /día ⁻¹			1/(N:P)	1/(N:K)
	N	P	K		
1-10	0.30	0.01	0.40	0.03	1.33
11-20	0.30	0.02	0.50	0.07	1.67
21-30	0.30	0.03	0.50	0.10	1.67
31-40	0.40	0.03	0.50	0.08	1.25
41-50	0.40	0.03	0.55	0.08	1.38
51-60	0.45	0.04	0.55	0.09	1.22
61-70	0.50	0.04	0.60	0.08	1.20
71-80	1.70	0.18	2.20	0.11	1.29
81-90	2.80	0.22	4.80	0.08	1.71
91-100	1.30	0.10	2.90	0.08	2.23
101-110	2.70	0.30	5.70	0.11	2.11
111-120	4.60	0.60	7.80	0.13	1.70
121-130	3.90	0.45	7.00	0.12	1.79
131-140	2.70	0.17	2.00	0.06	0.74
Total	250.5	23.90	3.80	0.09	1.52
Kg/t de fruta	1.97	0.19	2.99		

Cuadro 7.4. Consumo diario de N, P y K en el cultivo de tomate, bajo un sistema de riego por goteo, según el tiempo desde la emergencia (rendimiento: 127 t/ha).

Fuente: Tapia y Mollinedo, 2003

Entre los microelementos de mayor importancia en la nutrición del tomate está el hierro, que juega un papel primordial en la coloración de los frutos, y en menor medida en cuanto a su empleo, se sitúan manganeso, zinc, boro y molibdeno.

La tasa de absorción diaria de nutrientes que resulta en un óptimo rendimiento y calidad del producto es específico para cada cultivo y depende de las condiciones climáticas. A continuación, se presenta en forma referencial la tasa de consumo óptimo de N, P y K vs función de tiempo para un cultivo de tomate en invernadero obtenida en condiciones óptimas (Cuadro 7.4)

El desconocimiento de las variaciones temporales en la tasa de absorción puede conducir a una sobre fertilización y consecuentemente a un incremento de la salinidad, una reducción en la absorción de otros nutrientes y la contaminación del medio ambiente. Un abastecimiento sub-óptimo resulta en una disminución de nutrientes en el suelo y una inadecuada tasa de absorción, con la consecuente disminución en los rendimientos comerciales.

Relaciones iónicas

Uno de los principales problemas planteados en la nutrición de cultivos como tomate y pimiento, se refiere a las relaciones catiónicas (Ca^{+2} , Na^+ , K^+ y Mg^{+2}) y aniónicas (NO_3^- , SO_4^- y H_2PO_4^-) contenidos en la disolución. Steiner realizó un planteamiento para los aniones y cationes.

- Las plantas absorben iones selectivamente.
- Las plantas nunca seleccionan un ion en particular.
- Las plantas absorben los cationes de acuerdo a relaciones mutuas (K^+ , Ca^{++} y Mg^{++}).
- Las plantas absorben aniones, según las relaciones mutuas (NO_3^- , SO_4^- y H_2PO_4^-).

Los fertilizantes para fertirriego

Los fertilizantes a usar en fertirrigación deben ser altamente solubles, de alta concentración y de composición química sencilla (Cadahia, 1998).

Los fertilizantes de uso más extendidos son los abonos simples en forma de sólidos solubles (nitrato de calcio, nitrato de potasio, nitrato de amonio, fosfato monopotásico, fosfato monoamónico, sulfato de potasio, sulfato de magnesio) y en forma líquida (ácido fosfórico, ácido nítrico), debido a su bajo costo y a que permiten un fácil ajuste de la solución nutritiva, aunque existen en el mercado abonos complejos sólidos cristalinos y líquidos que se ajustan adecuadamente, solos o en combinación con los abonos simples, a los equilibrios requeridos en las distintas fases de desarrollo del cultivo.

El aporte de microelementos, resulta vital para una nutrición adecuada, pudiendo encontrar en el mercado una amplia gama de sólidos y líquidos en forma mineral y en forma de quelatos, cuando es necesario favorecer su estabilidad en el medio de cultivo y su absorción por la planta.

Fertilizante	Fórmula química	PM	% elementos que aporta	Rel. Solubilidad	Valencia	Pe
Nitrato de K	KNO_3	101.1	36 K 13 N	1:4	1	101.1
Cloruro de K	KCl	74.6	51 K 47Cl	1:3	1	74.6
Sulfato de K	K_2SO_4	174.3	45 K 18 S	1:15	2	87.2
Fosfato monopotásico	KH_2PO_4	136.1	29 K 23 P	1:3	1	136.1
Nitrato de amonio	NH_4NO_3	80	33 N	1:1	1	80
Sulfato de amonio	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	132.2	20.5 N 24 S	1:2	2	66
Fosfato monoamónico	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115.0	23 P 11 N	1:4	1	115
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	118	19 Ca 15.5 N	1:1	2	59
Cloruro de calcio	CaCl_2	110	36 Ca 64 Cl	1:1	2	55
Sulfato de magnesio	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246.4	9.8 Mg 13S	1:2	2	123.2
Nitrato de magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	256.4	11 N 9.5 Mg	1:1	2	128.2
Urea	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	60	46 N	1:2	1	60
Ácido fosfórico 85%	H_3PO_4	98	32 P	Miscible	1	98
Ácido nítrico	HNO_3	63	22 N	Miscible	1	63
Ácido sulfúrico	H_2SO_4	98	32 S	Miscible	2	49

Cuadro 7.5. Composición química, pesos moleculares, valencia, pesos equivalentes y solubilidad de los fertilizantes más usados para preparar soluciones nutritivas.

Adaptado de: Wolf *et al.*, (1985)

Los fertilizantes solubles cambian su solubilidad con relación a la temperatura. La mayoría de los fertilizantes, además, tienen una reacción endotérmica al solubilizarse en agua. La dilución de ácido fosfórico en cambio produce una reacción exotérmica. Por esto conviene agregar primero ácido fosfórico para aprovechar el aumento de la temperatura y así facilitar la disolución de los fertilizantes agregados a continuación (Lupin *et al.*, 1996).

Miliequivalentes de iones que aportan las diferentes fuentes de fertilizantes, valores importantes para la preparación de soluciones nutritivas (Cuadro 7.6).

Fertilizante	Mg L ⁻¹	Aniones			Cationes			
		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻	NH ⁺⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
KNO ₃	101.0	1				1		
Ca(NO ₃) ₂ ·4 H ₂ O	164.0	2					2	
NH ₄ NO ₃	80.0	1			1			
NH ₄ H ₂ PO ₄	115.0		1		1			
K ₂ SO ₄	174.0			2		2		
KCl	75.0					1		
CaCl ₂ ·6H ₂ O	219.0						2	
MgSO ₄	120.0			2				2
MgSO ₄ ·7H ₂ O	246.5			2				2
H ₃ PO ₄	98.0		2					
K ₂ PO ₄	136.0		1			1		

Cuadro 7.6. Miliequivalentes de aniones y cationes aportados por los diferentes fertilizantes Fuente: ACEA, Pacheco, A

Compatibilidad de los fertilizantes

Un aspecto importante en fertirrigación es conocer la compatibilidad de los fertilizantes solubles cuando se van a mezclar (Cuadro 7.7). Para ello existen tablas que indican el grado de compatibilidad entre los distintos fertilizantes. La compatibilidad dice relación con los precipitados que se producen al hacer ciertas mezclas, por ejemplo los fertilizantes fosfatados en mezcla con fertilizantes cálcicos.

Fertilizantes	U	N A	S A	F M A	F M P	N P	N C	N Mg	S P	S Mg	A F	C P
UREA (U)		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
NITRATO AMONIO (NA)	C		C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
SULFATO AMONIO (SA)	C	C		C	C	L	C	C	C	C	C	C
FOSFATO MONO AMONICO (FMA)	C	C	C		C	C	C	C	C	C	C	C
FOSFATO MONO POTASICO (FMP)	C	C	C	C		C	C	C	C	C	C	C
NITRATO DE POTASIO (NP)	C	C	L	C	C		C	C	C	C	C	C

Fertilizantes	U	N A	S A	F M A	F M P	N P	N C	N Mg	S P	S Mg	A F	C P
NITRATO DE CALCIO (NC)	C	C	I	I	I	C	C	C	C	C	C	C
NITRATO DE MAGNESIO (NMG)	C	C	C	I	I	C	C		C	C	C	C
SULFATO DE POTASIO (SP)	C	C	L	C	C	C	C	C		C	C	L
SULFATO DE MAGNESIO (SMG)	C	C	C	I	C	C	C	C	C		C	C
ÁCIDO FOSFÓRICO (AF)	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		C
CLORURO DE POTASIO (CP)	C	C	C	C	C		C	C	C	C	C	

Cuadro 7.7. Compatibilidad de los fertilizantes solubles.

Compatible (C); Limitada (L); Incompatible (I)

Fuente: Román (2001).

El uso de dos o más tanques de fertilización permite separar a los fertilizantes que interactúan, separando el calcio, magnesio y microelementos, del fósforo y el sulfato, evitando así la formación de precipitados.

Generalmente se usan dos soluciones concentradas de fertilizantes:

- El tanque "A" con NPK
- El tanque "B" con N, K, Ca, SO_4 y micronutrientes.
- Un tercer tanque "C" con una solución de ácido (generalmente nítrico), cuya función es ajustar el pH de la solución nutritiva.

Se recomienda el uso de fertilizantes de reacción ácida y/o la inyección periódica de ácido en el sistema de fertirriego para disolver los precipitados y destapar los goteros. La inyección de ácido en el sistema de riego remueve también bacterias y algas. Se recomienda elegir fertilizantes fosfatados ácidos (ácido fosfórico o fosfato monoamónico) cuando se riega con aguas duras y/o alcalinas.

Cálculo de las soluciones fertilizantes

No existe una solución nutritiva ideal, ya que ésta depende de muchas variables ambientales que no pueden ser controladas en su totalidad, dentro de las variables a considerar para la preparación de una SN para ser aplicada en el suelo, se pueden mencionar las siguientes:

- Especie y variedad de la planta
- Estado y desarrollo de la planta
- Parte de la planta que interesa (fruto, flor, follaje, tallo, raíz)

- Estación de año (principalmente por la duración del día)
- Clima (principalmente temperatura, HR, intensidad lumínica y hora)
- Suelo (pH, textura, humedad, M.O., etc.)

La solución que va a nutrir al cultivo estará formada por los iones presentes en el agua más los nutrientes que se van a aportar al cultivo con los fertilizantes. Los aportes de los fertilizantes previstos en meq/l serán por lo tanto la diferencia de las concentraciones de nutrientes de la solución ideal menos el aporte de los nutrientes presentes en el agua de riego y en el suelo.

Los requerimientos nutrimentales y de agua en el cultivo de tomate, son menores en las primeras etapas de desarrollo del cultivo (80 DDT) y se incrementan en la etapa de inicio de cosecha (80 a 120 DDT), hasta que empieza observarse una disminución en la producción junto con el consumo de nutrimentos (Cuadro 7.8).

DDT	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
0-80	10.66	3.09	14.99	8.56	3.16
81-120	53	3.2	17.5	7.5	2.6
121-160	20	26	5.05	5.05	1.6

Cuadro 7.8. Tasa de extracción de nutrientes (Kg/ha/día) en tomate para diferentes etapas del cultivo. Fuente: Tapia y Mollinedo, 2003.

El cálculo de las cantidades de fertilizantes para preparar la SN se presentará en dos partes: En la primera se calculará la composición de la SN de los llamados macronutrimentos, en la segunda parte, se tratará el cálculo para la preparación de la SN de micronutrientes.

Ajuste de los macronutrimentos

En este caso hay que tomar en cuenta que los fertilizantes aportan dos o más componentes, ya que el aporte de un elemento (catión) siempre va acompañado de otro elemento (anión). Por ejemplo, si utilizamos KNO₃ para aportar (K), debemos tener en cuenta que aportamos el mismo número de equivalentes de K que de NO₃. Para el desarrollo de la disolución se considerará la SN propuesta por Hoagland en 1950 (Cuadro 7.9), y para el caso de los aportes del agua se utilizarán los datos del cuadro.

Fernández y Camacho (2007) citados por Castellanos (2009), señalan una secuencia metodológica para la elaboración de una solución nutritiva para el cultivo de tomate en el suelo, los pasos se enuncian en el siguiente orden:

Elemento	Concentración en mM/L	Miniequivalentes/L
NO ₃ ⁻	14	14
NH ₄ ⁺	1	1
H ₂ PO ₄ ⁻	1	1
K ⁺	6	6
Ca ⁺⁺	4	8
Mg ⁺⁺	2	4
SO ₄ ⁻	2	4

Cuadro 7.9. Solución nutritiva de Hoagland 2 (Hoagland y Arnon, 1950) Fuente: ACEA, Pacheco A. (S.A.) Nota: Milimoles por el número de valencia = meq/L

- Disponer del análisis del agua.
- Ordenar cationes y aniones, de acuerdo a su importancia en la nutrición. Eliminar bicarbonatos hasta dejarlos en 1.0 meq/L, usando ácido.
- Completar macronutrientes.
- Dejar los ajustes de sulfatos para el final; de acuerdo a la solución recomendada nos permite estar en un rango de 3 a 6 me/L.
- Ajustar micronutrientes
- Distribuir en los tanques de solución madre.
- Programar los riegos

El análisis de agua permite conocer tres aspectos fundamentales en la preparación de la solución nutritiva: cuantificación de los iones presentes en el agua de riego y que forman parte de la solución nutritiva, selección de cultivos tolerantes a la salinidad o descartar su utilización si se encuentran iones fitotóxicos que superen los límites, y conocer la cantidad de carbonatos y bicarbonatos para realizar los cálculos correspondientes para neutralizarlos. A continuación se describirá el uso del formato del doctor Francisco Camacho, en las primeras tres filas se llenan con los datos del análisis de agua: Cuadro 7.10, los datos de la solución nutritiva en me/L que se desea elaborar para la aplicación en el cultivo.

Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na	Na	NH ⁺⁺	CO ³	HCO ³	Cl	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	pH	CE (mS/cm ²)
me/L											
2.0	2.0	1.5	-	-	-	3.5	1.0	1.0	-	7.5	8

Cuadro 7.10. Contenido del agua de riego a utilizar en el desarrollo del ejercicio

Para conocer las aportaciones reales se resta a la fórmula de la solución nutritiva inicial, las aportaciones que contiene el agua, de esta forma obtenemos la concentración de nutrimentos (aniones y cationes) que serán aportados por los fertilizantes elegidos.

Como primer paso se colocan los resultados de la solución nutritiva propuesta en el primer renglón del formato propuesto por Camacho 2007. Posteriormente se vacían los meq/L obtenidos del análisis del agua a emplear. Los aportes reales (fila 3) se obtienen de la diferencia entre la SN propuesta y los aportes del contenido agua y la llamaremos SN ajustada.

	Aniones me/L					Cationes me/L						CE
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	pH	Ms/cm
1. Solución nutritiva	14	1.0	4.0			1.0	6.0	8.0	4.0			
2. Agua de riego	-	-	1.0	3.5	1.0	-	-	2.0	2.0	1.5		
3. SN ajustada	14.0	1.0	3.0	-3.0	1.0	1.0	6.0	6.0	2.0	1.5		

Cuadro 7.11. Ajuste de la solución nutritiva propuesta

Como segundo paso se colocarán en la primera columna los fertilizantes seleccionados para la elaboración de la SN y en la segunda columna los me/L que aportará cada fertilizante en función de los aportes requeridos por la SN ajustada con la cual se satisface la demanda del cultivo.

(1)	(2)	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄	HCO ₃	Cl	NH ₄	K	Ca	Mg	Na
Fertilizante	me/L	14	1	3.0	-3.0	-	1.0	6.0	6.0	2.0	
Ca(NO ₃) ₂	6.0	6.0							6.0		
HNO ₃	3.0	3.0			-3.0						
KNO ₃	4.0	4.0						4.0			
NH ₄ NO ₃	1.0	1.0					1.0				
K ₂ SO ₄	1.0			1.0				1.0			
KH ₂ PO ₄	1.0		1.0					1.0			
MgSO ₄	2.0			2.0						2.0	
Aporte de fert. me/L		14.0	1.0	3.0			1.0	6.0	6.0	2.0	
Aporte total me/L		14.0	1.0	4.0	0.5	1.0	1.0	6.0	8.0	4.0	1.5

Tabla 7.12. Elaboración de la solución nutritiva de acuerdo a los fertilizantes propuestos

Se estima la cantidad de fertilizante para suministrar el Ca requerido en la solución nutritiva ajustada. Para nuestro caso, se requiere aportar 6.0 me/L, para ello se selecciona el nitrato de calcio, con el cual se va a suministrar 6.0 me/L de calcio y la misma cantidad de nitratos, hasta aquí se ha aportado todo el requerimiento de calcio y quedan por suministrar 8 me/L de nitratos. Este fertilizante contiene además una pequeña cantidad de amonio para lo cual se utiliza el factor 0.074, el cual multiplicado por los 6 me/L de nitrato, nos estará aportando 0.44 de 1 me/L de NH_4 requerido.

En seguida se procede a neutralizar los 3.0 me/L de bicarbonatos (HCO_3) con 3.0 me/L de ácido nítrico, quedando solo 0.5 me/L de bicarbonatos mismos que se consignan con signo negativo ya que se les está eliminando de la solución, además el ácido nítrico está aportando 3.0 me/L de nitratos.

Para cubrir los requerimientos de amonio usamos el nitrato de amonio con el cual se aporta 1 me/L de amonio y de nitrato, con esto se cubre la cantidad de amonio requerida.

Continuamos con la aportación de NO_3 con 4 me/L de Nitrato de Potasio y tenemos cubierta la aportación de NO_3 y se cubren 4 me de K, quedando 2 por cubrir.

El requerimiento de 1 me/L de H_2PO_4 (dihidrógeno de fosfato) se cubrirá con 1 me/L de KH_2PO_4 (fosfato de potasio monobásico) con el cual se estarán aportando también 1 me/L de K.

Dada la aportación de magnesio por el agua, solo se requiere suministrar, a la SN ajustada 2.0 me/L de Mg, para lo cual usaremos el sulfato de magnesio, aportando además 2 me/L de SO_4 , con esto queda cubierto las necesidades de Mg.

Por último, ajustaremos los requerimientos de potasio y sulfatos con un me/L de K_2SO_4 (sulfato de potasio), y con esto quedan completo los requerimientos de la SN ajustada.

Cabe hacer mención que las cantidades aportadas por los fertilizantes se van consignando en la columna y fila correspondiente al elemento y fertilizante en cuestión.

El exceso o la falta de sulfatos no se consideran un problema, debido a los amplios márgenes de tolerancia de los cultivos (De Rijck y Schrevens, 1998).

Una vez completada la cantidad de fertilizante en me/L para preparar la SN, se requiere convertirlos a gramos de sales fertilizantes o ml de ácido por litro o por metro cúbico.

Iniciaremos con los 3.5 me/l de HCO_3 , los cuales se neutralizaron con 3 me/L de HNO_3 , dejando 0.5 me/L de HCO_3 sin neutralizar. Como regla general se dejan 0.5 me de HCO_3 - para evitar una acidificación exagerada.

El cálculo para convertir de me/L a ml/L de HNO_3 que hay que añadir a la SN es el siguiente:

- Densidad de $\text{HNO}_3 = 1.41 \text{ g/ml}$; pureza = 70%, entonces:
- Cantidad de $\text{HNO}_3 \text{ (m/L)} = (3 \text{ me/L}) \cdot (\text{Peq } \text{HNO}_3 \text{ mg/me}) \cdot (1/\text{Densidad } \text{HNO}_3) \times (1\text{g}/1000\text{mg}) = 3 \times 63 \times (1/1.41) \times (1/1000) = 0.19 \text{ ml de } \text{HNO}_3/\text{L} \text{ o } 190 \text{ ml/m}^3$

Para convertir de me/L a g/L de fertilizante, se procede de la siguiente forma:

- Nitrato de potasio (KNO_3) se requieren 4 me/L:
- Cantidad de $\text{KNO}_3 \text{ (g/L)} = 4 \text{ me/L (Peq } \text{KNO}_3 \text{ mg/me)} \cdot (1\text{g}/1000\text{mg}) = 4 \times 101.1 \times (1/1000) = 0.404 \text{ g/L o } 404 \text{ g/m}^3$
- b) Nitrato de calcio ($\text{Ca(NO}_3)_2$) se requieren 6 me/L:
- Cantidad de $\text{Ca(NO}_3)_2 \text{ (g/L)} = (6 \text{ me/L}) \cdot (\text{Peq } \text{Ca(NO}_3)_2 \text{ mg/me)} \cdot (1\text{g}/1000) = 6 \times 118 \times (1/1000) = 0.708 \text{ g/L o } 708 \text{ g/m}^3$
- c) Sulfato de potasio (K_2SO_4) se requiere 1 me/L:
- Cantidad de $\text{K}_2\text{SO}_4 \text{ (g/L)} = (1 \text{ me/L}) \cdot (\text{Peq } \text{K}_2\text{SO}_4 \text{ mg/me}) \cdot (1\text{ g}/1000) = 1 \times 87.2 \times 0.001 = 0.087 \text{ g/L o } 87 \text{ g/m}^3$
- d) Sulfato de magnesio (MgSO_4) se requieren 2 me/L:
- Cantidad de $\text{MgSO}_4 \text{ (g/L)} = (2 \text{ me/L}) \cdot (\text{Peq } \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) \cdot (1/1000) = 2 \times 123.2 \times 0.001 = 0.246 \text{ g/L o } 246 \text{ g/m}^3$
- e) Fosfato de potasio monobásico (KH_2PO_4) $\text{g/l} = (1 \text{ me/L}) \cdot (\text{Peq } \text{KH}_2\text{PO}_4 \text{ mg/me}) \cdot (1/1000) = 1 \times 136.1 \times 0.001 = 0.136 \text{ g/L o } 136 \text{ g/m}^3$

Ajuste de los micronutrientes

En la práctica la preparación de una SN de micronutrientes, se torna complicada toda vez que es difícil conseguir cada una de las fuentes de fertilizantes que proporcionan elementos menores. Por tal motivo, se recomienda, comprar mezclas de fertilizantes comerciales que contengan los micronutrientes en las proporciones que los requieren las plantas.

Al respecto Castellanos (2009), recomienda usar 15 gramos de una mezcla comercial por cada metro cubico de solución nutritiva final, y para el Boro se pueden pesar 1.5 gramos de Solubor o 1.8 gramos de ácido bórico por cada metro cubico. Las concentraciones de los micronutrientes en las SN se expresan en mg L^{-1} , que equivale a 1 ppm.

Con fines ilustrativos, se mostrarán los cálculos para conocer las cantidades de micronutrientes que se agregan a partir de una mezcla comercial, que presenta las siguientes concentraciones: Fierro (12.1%); Zn (7.5); Mn (1.2); Cu (0.6%); Mo (0.002%), B (0.100%)

Si usamos la concentración de Hierro (3 ppm) en la SN como referencia, entonces requerimos:

- Cantidad de la mezcla fertilizante de micronutrientes = ppm Fe en SN/concentración del elemento en % = $3 / 0.121 = 24.79$ g de fertilizante por m³ de solución, con ello tendremos una concentración de 3 ppm.
- Para conocer la concentración de los otros micronutrientes que aporta la mezcla comercial, se procede de la siguiente manera:
- Concentración del micronutriente (ppm) = Cantidad de la mezcla de micronutrientes obtenida para el Fe (24.79 gr) x la concentración del micronutriente en la mezcla
- Zn: 24.79×0.075 ppm de Zn; Mn: $24.79 \times 0.012 = 0.2975$ ppm de Mn; b) Cu: $24.79 \times 0.006 = 0.149$ ppm de Cu; Mo: $24.79 \times 0.00002 = 0.0005$ ppm de Mo; B: $24.79 \times 0.001 = 0.25$ ppm de B.

Con estos datos se pueden encontrar las diferencias con respecto a la concentración requerida en la solución nutritiva y, en su caso, agregar otra fuente complementaria para completar la diferencia. En el siguiente cuadro se muestran las concentraciones propuestas por algunos autores.

Autor	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
	mg L ⁻¹					
Steiner	2.0	0.7	0.02	0.09	0.5	0.04
Adas	3.0	1.0	0.1	0.1	0.2	0.05
Coic	0.8	0.65	0.2	0.1	0.3	0.05
Hoagland	1.4	0.5	0.02	0.05	0.5	0.009
Hewitt	5.0	1.0	0.1	0.2	0.5	0.05
Resh	2.0	0.5	0.03	0.05	0.5	0.02
Castellanos*	1.0	0.65	0.04	0.25	0.4	0.05

*Para SN en cultivo de tomate en suelo

Cuadro 7.13. Concentración de micronutrientes propuestas por diferentes autores.

Preparación de soluciones madre

Las soluciones madre generalmente se concentran 100 o 200 veces más con respecto a la concentración de la SN, las altas concentraciones de la solución madre, puede ocasionar precipitaciones de los fertilizantes al reaccionar entre ellos, para evitar estas reacciones que impedirían una adecuada disolución de los fertilizantes se

recomienda separar los diferentes nutrientes en dos o tres tanques (A, B y C): en el tanque A se mezclan los fertilizantes que contienen calcio y se puede incorporar el Fe (quelatado); en el tanque B se mezcla el resto de los fertilizantes que aportan los macro y micronutrientes; en el tanque C corresponde a los materiales ácidos. Con un litro de solución madre 100 veces más concentrada, se pueden preparar 100 litros de solución nutritiva final para ser aplicada al cultivo.

Como ejemplo, se realizará el cálculo para tener una solución madre 100 veces más concentrada de acuerdo a los datos de la SN desarrollada en este documento:

Fertilizante	me/L	Cantidad de fertilizante para 1000 L solución normal	Cantidad de fertilizante para solución madre (100 veces concentrada)
$\text{Ca}(\text{No})_{32}$		$\text{me/L} \times \text{PM} = 6 \times 101 \text{ mg/meq} = 606 \text{ g/m}^3$	$606 \text{ g/m}^3 \times 100 \times 0.001 = 60 \text{ kg/m}^3$
HNO_3		$\text{me/L} \times \text{PM} / \% \text{ pureza} / \text{densidad} = 6 \times 63 \text{ mg/meq} / 0.70\% / 1.41 = 382.9 \text{ ml/m}^3$	$382.9 \text{ ml/m}^3 \times 100 \times 0.001 = 38.3 \text{ L/m}^3$
KNO_3		$\text{me/L} \times \text{PM} = 4 \times 118 \text{ mg/meq} = 472 \text{ g/m}^3$	$472 \text{ g/m}^3 \times 100 \times 0.001 = 60 \text{ kg/m}^3$
NH_4NO_3		$\text{me/L} \times \text{PM} = 6 \times 101 \text{ mg/meq} = 606 \text{ g/m}^3$	$606 \text{ g/m}^3 \times 100 \times 0.001 = 47.2 \text{ kg/m}^3$
K_2SO_4		$\text{me/L} \times \text{PM} = 6 \times 87.2 \text{ mg/meq} = 523 \text{ g/m}^3$	$523 \text{ g/m}^3 \times 100 \times 0.001 = 52.3 \text{ kg/m}^3$
KH_2PO_4		$\text{me/L} \times \text{PM} = 1 \times 136.1 \text{ mg/meq} = 136 \text{ g/m}^3$	$136 \text{ g/m}^3 \times 100 \times 0.001 = 13.6 \text{ kg/m}^3$
MgSO_4		$\text{me/L} \times \text{PM} = 2 \times 123.1 \text{ mg/meq} = 246 \text{ g/m}^3$	$246 \text{ g/m}^3 \times 100 \times 0.001 = 24.6 \text{ kg/m}^3$

Nota: PM (peso molecular); densidad del ácido; % pureza (concentración del fertilizante)

Cuadro 7.14. Cálculo para definir la cantidad de fertilizante y ácido en una solución final y una solución madre 100 veces más concentrada.

Independientemente de si la solución madre se almacena en dos o tres contenedores, existe una serie de consideraciones que hay que tomar en cuenta (Martínez y García, 1993).

- En el mismo depósito, no se mezcla el nitrato de calcio con fosfatos y sulfatos, tanto de macronutrientes, como de micronutrientes.
- El tanque que contenga el Fe quelatado debe acidificarse entre 5.5-6.5, para evitar degradaciones.

- Cuando se utilice un complejo de micronutrientes, éste se debe incorporar en el tanque antes que los demás fertilizantes (nitrato de calcio, y el nitrato de potasio).
- Es deseable que los fertilizantes se repartan de manera proporcional entre los distintos tanques, de forma tal que tengan un peso semejante. Esto es fácil de conseguir si tomamos en cuenta que el nitrato de potasio y el nitrato de amonio se pueden mezclar con cualquier otro fertilizante.
- Después de tomar la decisión de qué fertilizantes poner en cada depósito, se debe agregar el agua hasta la mitad, después los ácidos, posteriormente los fertilizantes y, por último, se termina de llenar el depósito.

Ejemplos de programas de fertirrigación

Solo para fines ilustrativos y de ejemplificación se presentan algunos programas de fertirriego en Tomates Saladette, en suelo calcáreo.

Etapa	%M.S	Equilibrios					Unidades				
		N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
I.-0-8 DDT	0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
II.9-35 DDT	5%	1	2	0.25	0.25	0.125	18	25	6	0.25	1.2
II.36-75 DDT	10%	1 1.5	1.5	0.75	0.4	0.2	35	38	37	8	4
IV. 76-110 DDT	20%	1	1	1.5	0.8	0.4	70	50	150	32	16
V. 111-149	25%	1	0.5	2	0.5	0.25	87	32	250	25	12
VI. 150-179 DDT	20%	1	0.25	1.75	0.4	0.2	70	5	150	8	4
V11. 179 DDT	20%	1	0.1	1.5	0.2	0.1	70	5	150	8	4
EXTRACCIÓN							350	163	768	92	45

DDT=días después del trasplante MS= materia seca

Cuadro 7.15. Ejemplo Plan teórico de fertilización en unidades totales por hectárea para el cultivo de tomate con fertirriego.

- La dosis total de unidades a aplicar será de 350 de Nitrógeno, 163 de Fósforo, 768 de Potasio, 92 de Calcio y 45 de Magnesio.
- Las 163 unidades de Fósforo serán en base a Ácido Fosfórico más 150 unidades de fertilización de fondo.

- La fertilización cálcica es pequeña solo 92 unidades esto es por ser un suelo calcáreo rico en Calcio situación que no sucedería si fuese un suelo neutro o ácido.
- Los microelementos no están programados por falta de espacio en el cuadro pero obviamente deben ser programados y aplicados tanto vía suelo como vía foliar especialmente Fierro y Zinc.

El presente programa solo constituye la etapa de planeación del programa de fertirrigación, de ninguna manera serán estas las unidades totales a utilizar, forzosamente se deberán llevar a cabo varias técnicas de monitoreo y diagnóstico nutrimental y el presente programa de esta fertilización, así que éste podrá variar sin ningún problema sus unidades y su ritmo planeado de aplicación en base al diagnóstico nutrimental. Siempre será la misma planta el mejor indicador de su estado nutrimental.

Programa de fertilización para tomate en invernadero

A continuación se presenta la distribución del fertilizante por etapas del cultivo tomate, de macro nutrientes (Garza y Molina, 2008).

Etapa	Etapa DDT	Número de aplicaciones	N (Kg/ha)	P ₂ O ₅ (Kg/ha)	K ₂ O (Kg/ha)
Trasplante a floración	0-30	8	40	100	50
Floración a cuaje	31-60	8	40	40	27
Cuaje inicio de cosecha	61-120	16	50	40	46
Cosecha	120-270	40	120	40	127
	270	72	250	220	250

Cuadro 7.16. Requerimiento de nutrientes por etapas cultivo de tomate

Uso de abonos orgánicos

La materia orgánica en los suelos corresponde a una mezcla de sustancias de origen vegetal, animal y microbiano. Este material está en un estado activo de desintegración y sujeto al ataque por parte de microorganismos del suelo. Es un constituyente del suelo que debiera irse renovando con la incorporación de rastrojos y compuestos orgánicos en general. El proceso para incrementar el porcentaje de materia orgánica en un suelo es muy lento. La materia orgánica influye sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y su importancia se basa en las

siguientes consideraciones: a) La materia orgánica funciona como granulador de las partículas del suelo mejorando su estructura, que a su vez proporciona una mejor aireación del suelo. b) Es fuente de elementos nutritivos, especialmente nitrógeno, fósforo y azufre. c) Mejora la condición física del suelo aumentando la cantidad de agua que puede retener el suelo. d) Constituye la principal fuente de energía para los microorganismos del suelo, por lo tanto, es la principal responsable de la actividad biológica de los suelos. e) Aumenta la capacidad de intercambio catiónico de los suelos.

Diagnóstico nutrimental

Debe ser el punto de partida y la base científica para la formulación de planes de fertilización. El diagnóstico nutrimental es un conjunto de procedimientos de campo y laboratorio encaminados a conocer los contenidos de los elementos esenciales y de algunos no esenciales, tanto en el suelo como en la planta, a fin de detectar deficiencias, toxicidades o desbalances de los diversos elementos en la planta. La información obtenida con dichas técnicas sobre la plantación es muy valiosa para poder programar y mantener un adecuado suministro de los nutrimentos al cultivo.

Diagnosticar correctamente el estado nutricional de los cultivos es condición necesaria para mejorar la eficiencia de la utilización de los recursos e insumos involucrados en el sistema productivo. El diagnóstico y monitoreo de la nutrición en el cultivo de tomate se puede realizar con el uso de las siguientes técnicas:

- Síntomas visuales del cultivo
- Análisis de suelo
- Análisis foliar
- Análisis de agua de riego
- Análisis de extracto de pasta
- Análisis de la solución de suelo mediante la sonda de succión o “chupatubos”
- Análisis de extracto celular de peciolo (ECP)

Síntomas visuales de deficiencia nutrimental del tomate

La sintomatología visual es la primera herramienta disponible para conocer la situación nutricional de una planta y la identificación de los signos de hambre de nutrimentos. Consiste en la observación directa de las plantas para detectar los síntomas característicos de deficiencia o toxicidad de algún elemento esencial en hojas, frutos, tallo, puntos de crecimiento, etc. (Ver apartado de funciones de nutrimentos en las plantas).

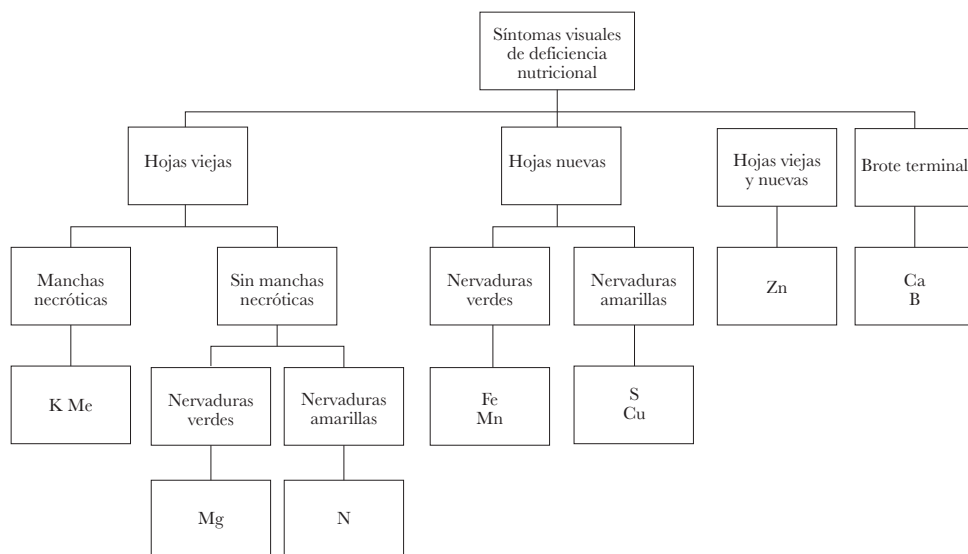


Figura 7.9 Síntomas visuales de deficiencias nutrimentales

Análisis de suelo

Se determinan las características del suelo que influyen en el aporte nutrimental así como el contenido de elementos aprovechables, por medio de pruebas físicas y químicas. Este método es muy valioso cuando se utiliza antes de establecer el cultivo ya que con él se puede hacer una mejor planeación de la fertilización y manejo de la plantación.

En un suelo bajo explotación intensiva y con una fuerte inyección de fertilizantes es fácil que se incremente la concentración de nutrimentos y si no se tiene cuidado es factible que se generen desbalances nutrimentales. Por ello es importante estar atento a los incrementos de contenidos de nutrimentos. La única manera de saber esto es mediante el diagnóstico de fertilidad del suelo, muestreando suelo de las camas o hileras de siembra y llevándolo a un laboratorio confiable. Se recomienda solicitar el análisis de fertilidad, así como también el análisis del extracto de pasta.

No contamos con tablas de interpretación para suelos en explotación intensiva como son los suelos de invernadero, sin embargo los parámetros que se presentan generados para cultivos a cielo abierto, se pueden usar como una diferencia general para interpretar los resultados del análisis del laboratorio. Este análisis se debe utilizar para ajustar las concentraciones de los elementos de la solución nutritiva. Cuadro 7.17.

Determinación	Muy bajo	Bajo	Mod. bajo	Medio	Mod. alto	Alto	Muy alto
Materia orgánica, %	<0.5	0.5-1.0	1-1.8	1.8-2.5	2.5-3.0	3.0-4.0	>4.0
N-NO ₃ , ppm	<5	0.6-10.0	11-20	21-50	51-100	101-150	>150
Fosforo-Bray, ppm	0-4	0.5-10.0	11-20	21-30	31-40	41-60	>60
Fosforo-Olsen, ppm	0-4	0.5-9.0	10-15	16-20	21-25	26-35	>35
Calcio ¹ , ppm	<750	750-1250	1250-2000	2000-4000	4000-6000	6000-8000	>8000
Potasio ¹ , ppm	<125	126-175	176-250	251-450	451-800	801-1200	>1200
Magnesio ¹ , ppm	<75	75-150	150-250	250-500	500-1000	1000-1600	>1600
Sodio ^{1,2} (PSI)	<1.0	1.0-2.0	2.1-3.0	3.0-5.0	5-10	10-15	>15
CE ³ , dS/m	<0.5	0.5-1.0	1-1.5	1.5-2.5	2.5-4.0	4-6	>6
Fe ⁴ , ppm	<3	3-5.0	6-8	9-12	13-25	26-50	>50
Mn ⁴ , ppm	<2	2.1-4.0	4-7	8-12	13-25	26-50	>50
Zn ⁴ , ppm	<0.3	0.3-0.6	0.7-1.5	1.5-2.5	2.6-5.0	5.1-8.0	>8
Cu ⁴ , ppm	<0.2	0.2-0.5	0.6-1.2	1.3-2.0	2.0-2.5	2.5-4.0	>4
B ⁵ , ppm	<0.4	0.5-0.7	0.8-1.2	1.3-1.5	1.6-2.0	2-3	>3
1 Cationes de cambio extraídos con Ac. NH ₄ 2 Este elemento es nocivo para el suelo y cultivo y es deseable que se encuentre en bajas concentraciones.					3 Medida en el extracto de saturación 4 Extraídos con DTPA 5 Extraído con agua caliente (CaCl ₂ diluido)		

Cuadro 7.17. Interpretación de los análisis de suelo para la explotación de cultivos a cielo abierto (Castellanos *et al.*, 2000)

Muestreo de suelo para evaluar la fertilidad y salinidad del suelo

1. Reunir el material necesario (barrena tubular, de espiral o acanalada, marcador indeleble, etiquetas y bolsas de polietileno de 2 kg).
2. Tomar submuestras en diferentes puntos del terreno distribuidos al azar, en zigzag o en dos líneas diagonales, tratando de cubrir la superficie del suelo. Colocar las submuestras en una bolsa de polietileno nueva para mezclarse y formar así una muestra compuesta. Las submuestras deben ser semejantes en cuanto a peso, volumen, profundidad del suelo, etc.
3. Incluir de 10 a 20 submuestras de cada lote de muestreo.
4. Colocar aproximadamente 2 kg de suelo de la mezcla en una doble bolsa de polietileno. Poner una etiqueta con la siguiente información,

propietario, dirección, teléfono celular, correo electrónico, localización del predio, variedad, edad, rendimiento anterior, método de riego, fertilización del último ciclo, número de muestra, etc.

5. Preparación de la muestra compuesta. Colocar las porciones de suelo de cada punto de muestreo (submuestras) en bolsas de polietileno. Desmoronar los terrones más grandes hasta que queden de unos 2 cm. Mezclar hasta homogeneizar completamente el suelo. De este material (muestra compuesta) extraer 2 kg y enviarlos al laboratorio.

6. Para evaluar la salinidad, los puntos de muestreo se ubican en las intersecciones de líneas en forma de cuadrícula trazadas sobre el terreno, para que después del análisis se puedan localizar los puntos de muestreo y mapear los niveles de salinidad. Estas muestras no se deben mezclar ya que se analizarán individualmente.

Análisis foliar

El análisis foliar es una herramienta vital para alcanzar máximos rendimientos, mide la concentración de cada elemento para saber cuáles se encuentran en cantidades deficientes, bajas, óptimas, altas o excesivas.

Siendo una técnica de diagnóstico nutrimental que complementa el análisis de suelo permite asegurar altos potenciales de rendimiento. Para que los resultados de los análisis vegetales sean útiles la muestra debe ser representativa de la población de plantas existentes en el invernadero, es decir, se debe hacer el muestreo al azar, evitando las orillas.

DDT	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Zn	Mn	B
	%						ppm			
15	4.0-4.5	0.50-0.80	3.5-5.0	2.0-3.0	0.5-0.7	0.5-0.9	80-150	may-15	20-50	30-50
30	4.0-4.5	0.50-0.70	3.5-5.0	2.0-3.0	0.4-0.7	0.5-0.9	80-150	may-15	20-50	30-50
45	3.3-3.7	0.50-0.70	3.5-5.0	2.0-3.0	0.4-0.7	0.5-0.9	80-150	may-15	20-50	40-60
90	3.3-3.7	0.40-0.60	3.5-5.0	2.5-3.0	0.4-0.7	0.5-0.8	60-100	may-15	20-50	40-60
>120	3.3-3.7	0.35-0.70	4.0-5.0	2.5-3.0	0.4-0.7	0.4-0.7	60-100	may-15	20-50	40-60

Cuadro 7.18. Niveles de referencia en tejido foliar, en el cultivo de tomate (Castellanos, 2011)

Las hojas que conforman la muestra deben ser de edad intermedia, completamente desarrolladas, sanas, evitando el muestreo de hojas con daños por enfermedad, insectos, daños físicos o por agroquímicos, así como hojas tiernas o viejas. No

muestrear plantas ubicadas en áreas anormales, por ejemplo con drenaje diferente al resto del terreno, o con altas concentraciones de abonos orgánicos o con estrés hídrico o térmico. Se debe muestrear al inicio de la floración, la hoja más recientemente madura, es decir la que acaba de concluir su crecimiento. Generalmente es la cuarta hoja con peciolo a partir del meristemo apical. Se recomienda tomar de 20 a 25 hojas por muestra y realizar de uno, dos o tres análisis foliar a lo largo del ciclo para confirmar la adecuada nutrición de la planta con todos los elementos nutritivos, Cuadro 7.18.

Muestreo y análisis de agua para riego

La calidad del agua de riego está estrechamente relacionada con la nutrición de los cítricos. Los datos analíticos del agua de riego permiten evaluar su calidad y contenido en sales minerales que, adicionadas a las que contiene el suelo, pueden ensalitrar al mismo, ocasionar mermas en el crecimiento y producción del cultivo o actuar como fuente de nutrientes para la planta. En ocasiones el agua contiene cantidades importantes de nitrógeno en forma de nitrato, mismas que se deben considerar al calcular la fertilización nitrogenada. Algunos cationes como el Ca^{2+} y Mg^{2+} pueden suponer un aporte significativo de estos elementos al suelo. Elementos tóxicos como los iones cloruro y sodio generalmente son los causantes de la salinidad. La presencia de boro en el agua de riego puede provocar también una importante toxicidad en el cultivo.

La toma de la muestra de agua se realiza de la siguiente manera: Utilizar recipientes limpios de cristal o plástico, con cierre hermético, de entre 500 mL y 1 litro de capacidad. Si el agua procede de un canal, debe tomarse cuando está en circulación, y nunca cuando se encuentra estancada. Evitar en lo posible, la presencia de elementos sólidos en suspensión. Cuando el agua proviene de pozo, tomar la muestra después de 30 minutos de bombeo hasta que el agua salga clara.

Muestreo y análisis de extracto de pasta

El análisis de extracto de pasta es una técnica para evaluar la cantidad de nutrimento que está disponible para la planta en la solución de suelo. La muestra debe tomarse sobre la línea de la cintilla a 10 cm del gotero. Se introduce una barrena hasta 30 cm de profundidad y este procedimiento se repite en al menos unos 10 puntos de terreno para obtener una muestra compuesta de 0.5 kg.

Sin necesidad de secarse, dicha muestra es saturada con agua destilada para llevar la humedad de la pasta al punto de saturación y una vez logrado esto se extrae una solución, que se denomina extracto de pasta, mediante un sistema de vacío, es allí donde se evalúa la concentración de los elementos nutritivos

disponibles. Los resultados del análisis de extracto de pasta se comparan con los datos del Cuadro 7.19 donde se presentan los distintos niveles de concentración y su interpretación. En la parte inferior del mismo cuadro también se presentan las relaciones nutrimentales que también son útiles en el proceso de interpretación.

Determinación	Muy bajo	Bajo	Mod. bajo	Medio	Mod. alto	Alto	Muy alto
CE, dS/m	<0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-2.5	2.5-4.0	4.0-5.0	>5.0
RAS	<1	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-7.0	7.0-9.0	>9.0
Ca ⁺⁺ , me/L	<1.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-10	10-15	15-20	>20.0
Mg ⁺⁺ , me/L	<1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-8.0	8.0-1.0	>10.0
Na ⁺ , me/L	<2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-8.0	8.0-10	10-15	>15.0
K ⁺ , me/L	<0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	4.0-5.0	>5.0
NO ₃ ⁻ , me/L	<2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-8.0	8.0-12	12-14	>14.0
SO ₄ ⁼ , me/L	<1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-6.0	6.0-10	10-15	>15.0
Cl ⁻ , me/L	<1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-6.0	6.0-10	10-15	>15.0
HCO ₃ ⁻ , me/L	<0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	4.0-8.0	8.0-12	>12.0
CO ₃ ⁼ , me/L	0.0	0.0	0.0	0-0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	>1.0
P-PO ₄ , ppm	<0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-5.0	5.0-10	>10.0
NO ₃ /K, me/L	<1.0	1.0-1.5	1.5-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0-4.0	>4.0
K/Ca, me/L	<0.1	0.1-0.15	0.15-2.0	0.2-0.4	0.4-0.5	0.5-0.75	>0.75
K/Mg, me/L	<0.1	0.1-0.15	0.15-2.0	0.2-0.5	0.5-0.8	0.8-1.0	>1.0
Ca/Mg, me/L	0.8	0.8-1.0	1.0-1.2	1.0-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	>3.0
Ca/Na, me/L	<0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	1.5-3.0	3-5	5-10	>10

Cuadro 7.19. Valores de referencia sugeridos para la interpretación de análisis de extracto de pasta para suelos bajo explotación en el invernadero (Castellanos, 2004).

Análisis de la solución de suelo mediante la sonda de succión o “chupatubos”

Mediante esta técnica se puede extraer solución de suelo sin perturbar la muestra. Además el proceso de muestreo se facilita mucho, pues solo se realiza un vacío y la extracción de la solución de suelo se obtiene unas horas después. La determinación de los principales nutrientes: N, P y K, se puede llevar a cabo con mucha precisión mediante el uso de equipo portátil en el mismo invernadero (Castellanos, 2000; Godoy, 2002).

Se debe tener en cuenta que los nutrientes móviles, como el nitrógeno, se encuentran distribuidos en forma aleatoria en el suelo, pero en el caso de los poco móviles o inmóviles, como el P, estos están asociados a la fuente de riego, es decir su concentración será mayor en las inmediaciones de la zona del gotero. Por ello se deberá tener especial precaución acerca del punto en que se encuentra localizado el chupatubos. Éste se deberá colocar sobre la cinta, a una distancia de 10 cm del gotero. Es recomendable tener insertados dos chupatubos, para muestrear dos profundidades: 15 y 30 cm. Se recomienda cambiar el tubo de acceso o chupatubos cada dos semanas o bien tener instalados tres juegos de chupatubos y muestrear alternativamente los tubos de acceso cada semana.

Análisis de extracto celular de peciolo (ECP)

El análisis del peciolo sirve para diagnosticar el suministro de N, P y K del cultivo y la influencia sobre su comportamiento agronómico. Nitrógeno y potasio son dos elementos que pueden ser diagnosticados con mucha precisión en este órgano de muestreo, toda vez que se definan los niveles adecuados en función del estadio de desarrollo. No obstante que solo se ha generado información confiable para diagnosticar el status de N-NO₃ y K en ECP, resulta de gran utilidad, pues son los nutrimentos más dinámicos y los que más a menudo afectan el rendimiento y calidad de los cultivos.

La técnica de análisis de nitratos y potasio en ECP se realiza mediante el uso de equipo portátil de electrodos específicos.

En cuanto al muestreo se deberá tomar la hoja más reciente madura, de arriba hacia abajo. La hoja del muestreo es la que está por debajo del ramillete floral que está cuajando. A ésta se le eliminaran los folíolos. La muestra de peciolo se lleva de inmediato a la prensa para obtener su extracto o bien se lleva al congelador para que se congele por unas horas y se facilite la extracción del jugo celular y se extrae y lee la concentración de estos elementos. En cuanto a los valores de referencia en ECP para tomate de invernadero se presentan en el Cuadro 7.20.

DDT*	N-NO ₃	P	K
	ppm		
15	600-900	200-400	3000-4000
30	600-900	200-400	3000-4000
45	600-900	200-400	3000-4000
Cosecha	500-800	200-400	3500-5000
*Días después del trasplante			

Cuadro 7.20. Niveles de referencia recomendados en extracto celular de peciolo en el cultivo de tomate de invernadero (Castellanos, 2011).

Lista de referencias

- Agrológica. 2016. *Deficiencias y excesos nutricionales en tomate: síntomas y corrección*. España. <http://blog.agrologica.es/deficiencias-y-excesos-nutricionales-en-cultivo-tomate-sintomas-y-correccion-fertilizantes-nitrogeno-fosforo-potasio-magnesio-calcio-azufre-hierro-zinc-manganeso-boro-molibdeno-cloro/>
- Baeyens, J. 1970. *Nutrición de las plantas de cultivo*. Editorial Lemos. Madrid, España.
- Bennet, W. F. 1993. *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants*. American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota.
- Cadahia L. C. 2005. *Fertirrigación, cultivos hortícolas, frutales y ornamentales*. 3º Edición. Ediciones Mundi-Prensa, España. 475p.
- Castellanos J. Z. 2011. *Manual de producción de tomate en invernadero*. Editorial INTAGRI. Celaya, México. 187-2014.
- Castellanos, J.Z., J.L. Ojodeagua, 2009. *Manejo de la fertirrigación del tomate de invernadero en suelo*. Pp. 187-204. Manual de producción de tomate en invernadero. Ed. Intagri, México.
- De Rijck, G. y E. Schdrevers. 1998b. *pH influence by the elemental composition of nutrient solution*. J. Plant Nutr. 20: 911-923.
- Etchevers B. J. D. 2000. *Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos*. Terra.
- Garza, A. M. y V.M. Molina, 2008. *Manual para la producción de tomate en invernadero en suelo en el estado de Nuevo León*. México. p. 78.
- <http://acea.com.mx/articulos-tecnicos/alex-j-pacheco>
- <http://blog.agrologica.es/deficiencias-y-excesos-nutricionales-en-cultivo-tomate-sintomas-y-correccion-fertilizantes-nitrogeno-fosforo-potasio-magnesio-calcio-azufre-hierro-zinc-manganeso-boro-molibdeno-cloro/>
- INFOAGRO 2004. *El cultivo de tomate*. Disponible en: www.infoagro.com
- Kirkby, E.A. and K. Mengel. 1967. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. *Plant Physiol.* 42: 6-14.
- Martínez, E. y M. García. 1993. *Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo*. Ed Horticultura. Reus, Madrid, España.
- Mollinedo, V. y C. Tapia 2008. *Fertirriego en el cultivo de Tomate. Fertilización de cultivos y pasturas*. 2º edición. Editorial hemisferio sur. 569 pp.
- Segura M.L, Contreras JI. Salinas R. Lao MT. 2009. Influence of salinity and fertilization level on the nutrient distribution in tomato plants under polythylene grennhouse in the mediterranean area. *Soil Science and Plant Analysis*, 40: 498-513.
- Taiz, L. y E. Zeiger 1988. *Plant Physiology*. Sinauer Associates 1ª Edición.

- Tapia, A; Mollinedo V. 2003. *Funciones de fertirrigacion*.
[www.fertilizar.org.ar/articulos/CursoFertirrigacion2003/
ProgramacionRiegasyFertirrigacion.ppt](http://www.fertilizar.org.ar/articulos/CursoFertirrigacion2003/ProgramacionRiegasyFertirrigacion.ppt)
- Wolf, B.; Fleming, J. and Batchelor, J. 1985. *Fluid fertilizer manual. National fertilizer manual. Vol 1*. National Fertilizer Solutions Association. USA.

VIII.

MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES (MIPE) EN EL TOMATE

Eduardo Osorio Hernández

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*), es atacado por diversas plagas de insectos y enfermedades, entre los que destacan: Mosquita blanca, trips, paratRIOza, pulgones y araña roja; entre las enfermedades se reportan pudriciones radiculares, marchitamiento del tomate, cenicilla del tomate, tizón tardío, tizón temprano, moho gris, cáncer bacteriano del tomate y agalladores en la raíz (Nematodos) (Castellanos, 2011). Para prevenir el ataque de los patógenos antes mencionados se recomienda el manejo integrado del cultivo que permitirá prevenir insectos, plagas y enfermedades. Es decir la preparación del suelo, abonamiento, riego y drenaje, etc. (Figura 8.1). Sin embargo, una vez que se encuentre presente alguna de las plagas o enfermedades se tiene que recurrir al Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades (MIPE), una forma de mantener los huertos de manera que el daño de enfermedades y plagas esté bajo el nivel económicamente aceptable. El MIPE es una combinación de varias medidas de control de enfermedades y plagas. Antes de tomar medidas de control, es fundamental llevar a cabo el manejo integrado del cultivo para prevenir un desbalance en el cultivo de interés (Alatorre et al., 2014). El manejo integrado del cultivo ayudará a mantener la sanidad vegetal desde el punto de vista de la prevención de enfermedades y plagas (Morales y Martínez, 2014).

MIPE es la utilización armónica de un conjunto de prácticas, que sin alterar el equilibrio del medio ambiente, pretenden prevenir el desarrollo de las poblaciones insectiles, patógenas y de otro orden, a fin de que no alcancen niveles de daño a los cultivos significa, mantener el nivel del daño de enfermedades y plagas por debajo del límite económico aceptable, combinando varias formas de control, entre estos se encuentran el control químico, control mecánico, control biológico, control cultural, control natural y control legal.

Además, uno de los propósitos del MIPE es prevenir la aparición de enfermedades y plagas, y también se puede optimizar la actividad de los enemigos naturales (Bujanos *et al.*, 2011).

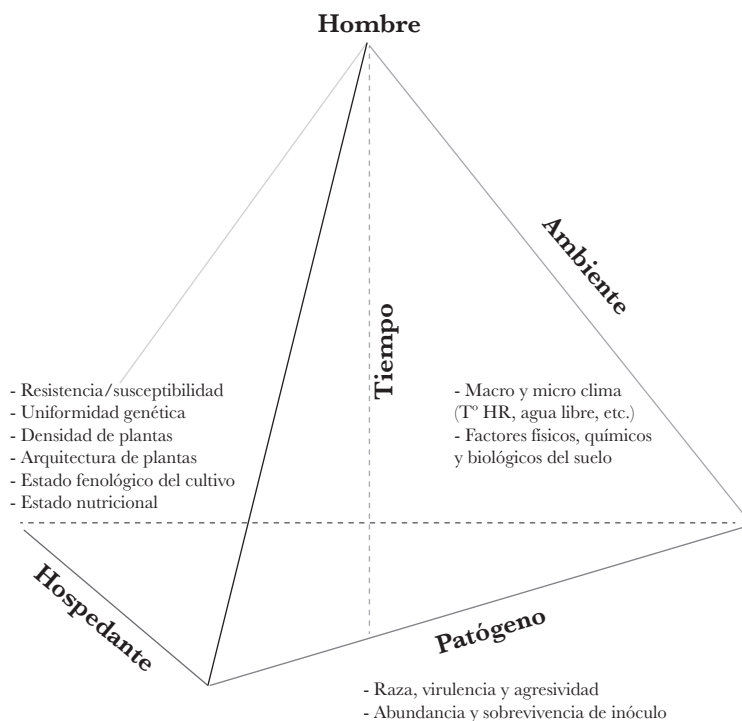


Figura 8.1. Factores que intervienen en el desarrollo de una enfermedad

Insectos plagas presentes en el cultivo de tomate

Mosquita blanca [*Trialeurodes vaporariorum* Westwood, *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: *Aleyrodidae*)]

Se tiene documentado que existen más de 900 plantas que funcionan como hospederas de mosca blanca, y que la plaga puede transmitir más de 111 especies de virus, principalmente begomovirus, de los que destacan el virus del rizado amarillo de la hoja de tomate (TYLCV, por sus siglas en inglés) y el virus del mosaico dorado amarillo del frijol (BGYMV, por sus siglas en inglés) (Amador *et al.*, 2011). Es un insecto con gran capacidad de reproducción, en un corto periodo alcanza poblaciones de más de mil adultos por planta (Figura 8.2A). Ocasiona debilitamiento, amarillamiento, moteado y contaminación de hojas y frutos por la excreción de mielecilla. Los huevecillos elípticos y alargados son depositados en el

envés de las hojas apicales y brotes (Figura 8.2B). Una hembra puede ovipositar más de 500 huevecillos durante su vida (una a dos semanas).

El período de incubación del huevo varía con la temperatura y la humedad, a 25°C y 75% de HR la duración del estado de huevo es de seis a siete días para eclosionar y pasa por cuatro estadios ninfales, las ninfas son ovaladas amarillo pálido, se alimentan del follaje, se mueven poco y generalmente se encuentran en el envés de las hojas (Bautista et al., 2015). Para su mejor reproducción requiere de temperaturas de 11.5 a 25°C. Su ciclo biológico tiene una duración de 16 a 26 días dependiendo de la temperatura (López-Ávila, 2011).

Manejo

Se debe hacer de manera preventiva, para esto se deben eliminar las mala hierbas preferidas de la mosca blanca. El manejo en el almacigo es muy importante, de esta manera se aseguran plantas sanas, se sugiere cubrir las plantas con tela de organza y colocar platos amarillos impregnados con pegamento (Bautista *et al.*, 2005). Muestrear adultos una vez por semana con trampas amarillas y ninfas en la parte media de la planta (Cuadro 8.1). Se reporta que las mayores infestaciones de esta plaga en las fechas de trasplante intermedias y tardías. De manera general se ha observado que con densidades de 1.0 adultos por hoja o más se registran niveles altos de virosis (> 50% de plantas enfermas).

Estado biológico	Desarrollo de planta	Unidad de muestreo	Umbral de acción
Adultos	3 hojas verdaderas	Planta	10 por planta
	>3 hojas verdaderas	Folíolo terminal de 3ª. hoja	1 por folíolo
Ninfas	7 hojas verdaderas	Folíolo terminal de 3ª. hoja	0.5 por folíolo
	>7 hojas verdaderas	Folíolo terminal de 7ª. hoja	0.5 por folíolo

Cuadro 8.1. Plan de muestreo y umbrales de acción para la mosca blanca en tomate (Webb *et al.*, 2002). Tamaño de muestra: 6 plantas o 6 folíolos por 2 m de surco por hectárea.

Por lo tanto, un umbral de acción preventivo para el control de este vector de geminivirus debe ubicarse por debajo de 1.0 adultos por hoja, por lo que se sugiere tomar decisiones de control con infestaciones entre 0.25 y 0.50 adultos por hoja (25 a 50 adultos por 100 hojas muestreadas), dependiendo de la etapa fenológica del cultivo (Nava *et al.*, 2010). Después del trasplante aplicar insecticidas sistémicos al riego o en *drench*. Uso de repelentes y extractos vegetales en cultivo. Aplicaciones quincenales de *Beauveria bassiana* a 1×10^8 y de 100 a 150 crisopas/

ha (Neuropteras: *Chrysopidae*), chinches (Hemiptera: *Miridae*) y arañas (Aranneae: *Theridulidae*. Realizar acción química al detectar el primer adulto en trampa y/o planta en el invernadero. Usar aceites vegetales, minerales y jabones agrícolas. Algunos químicos recomendados para el control de la mosca blanca son benomyl, difenoconazol, dimentoato y propacloro son tóxicos; zineb, mancozeb y tirán se catalogan como moderadamente tóxicos; mientras que metalaxyl, metamidorfos, trifluralin, metribuzin y napropanida se consideran ligeramente tóxicos (Amador *et al.*, 2011).

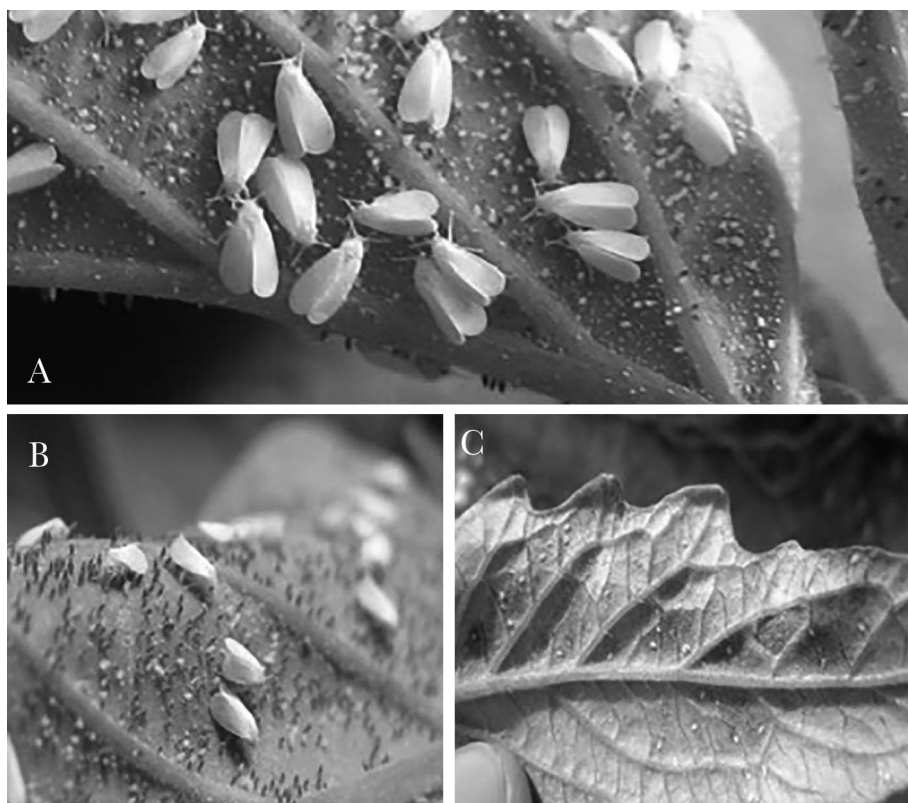


Figura 8.2. Presencia de mosca blanca en el envés de la hoja de tomate. Mosca blanca adultos (A), Ninfas de mosca blanca (B) y Adulto y ninfas (C). Cortesía de Sarah A. Patiño Arellano

Trips [*Thrips tabaci* Linderman y *Frankliniella occidentalis* Pergande (*Thysanoptera: Thripidae*)]

Tanto ninfas como adultos ocasionan daño al cultivo. Ocasionan dos tipos de daños (directos e indirectos). Los directos corresponden a pequeñas manchas irregulares en

el haz y envés de las hojas de coloración blanquecina a plateadas con puntuaciones negras en su interior. Esto se debe a su hábito alimenticio raspador-chupador, raspando y vaciando el contenido celular. La saliva tóxica segregada durante la alimentación, da lugar a deformaciones en las hojas, flores y frutos. En ocasiones las yemas orales no llegan a desarrollarse.

La hembra ocasiona daño al introducir el ovipositor en el tejido vegetal. En los frutos esta acción se manifiesta a través de un punto necrótico correspondiente al punto de inserción rodeado o no por un halo blanquecino (Bautista *et al.*, 2005). Provocan daño directo al alimentarse ya que raspan la superficie de las hojas lo que ocasiona que la planta no realice adecuadamente la fotosíntesis, se deshidrate y puedan entrar enfermedades.

Trasmite virus como la “Marchitez Manchada del Tomate” (TSWV). En jitomate bajo invernadero y en campo abierto han causado pérdidas de hasta un 30% de rendimiento. Los adultos tienen alas completamente desarrolladas de apariencia plumosa de 2 mm de color amarillo a café. Las hembras depositan sus huevecillos en forma de riñón en tejidos tiernos como hojas, flores y frutos, eclosionan de 4 a 8 días, dan lugar a ninfas parecidas a los adultos, pero sin alas. Se localizan dentro de flores, brotes y hojas durante el primer y segundo estadio se alimenta de la planta y pueden transmitir los virus, duran de 4 a 7 días. Al iniciar el tercer estadio, se dirige hacia el suelo para pupar. Cuando las temperaturas son altas puede haber hasta 200 descendientes, ya que también se reproducen por partenogénesis. El adulto dura varios días (Figura 8.3). Completan su ciclo en 10 a 21 días.

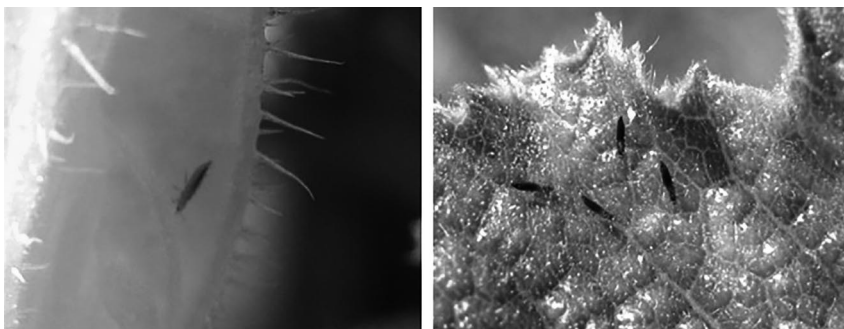


Figura 8.3. Presencia de trips adultos en hojas de tomate

Manejo

Muestrear a *F. occidentalis* en tomate tomando 10 flores por m de surco por hectárea y si existen más de 5 trips por flor se justifica una acción de control, Webb *et al.*, (2002). En los cultivos bajo invernadero la tolerancia y el umbral económico sugerido es

cero. Eliminar las primeras plantas con síntomas dentro del invernadero, aplicar cada 5 días extractos de ajo y usar productos sistémicos a la raíz después del trasplante. Eliminar malezas hospederas dentro y fuera del invernadero. Después del trasplante aplicar insecticidas sistémicos al riego o en drench para evitar infección. Estrategias de manejo. Iniciar los muestreos desde plántula de dos a tres veces por semana con trampas amarillas.



Figura 8.4. *Orius* spp. alimentándose de Trips

Manejo del trips

Favorecer la ventilación y disminución de la temperatura, en los meses de mayor incidencia, se recomienda utilizar una densidad de 0.50 cm entre plantas y 1.20 cm entre surcos. En los cultivos que presentan desarrollo muy denso, es conveniente podar las hojas inferiores y viejas, para facilitar la circulación de aire. Mantener un monitoreo de la plaga desde el inicio del cultivo y sobre todo antes de floración. Eliminar plantas enfermas del lote productivo colocándolas inmediatamente en bolsas para evitar reinfecciones y destruirlas. Realizar monitoreos semanales y utilizar trampas azules o amarillas pegajosas para detectar la presencia temprana de la plaga. Mantener limpio y libre de malezas el lote del cultivo, eliminar los restos de cultivo, sobre todo antes de realizar una nueva plantación. Hacer muestreo de insectos benéficos el género *Orius* spp., ya que son depredadores voraces de trips (Figura 8.4) (Villasanti, 2013).

Psílido [*Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: psyllidae)]

Insecto succionador de savia y transmisor de fitoplasmas, causa la enfermedad conocida como “permanente” en chile, jitomate y tomate de cáscara, así como “punta morada” en papa (Nava *et al.*, 2010). En jitomate ocasiona pérdidas considerables cuando las plantas son infectadas en las primeras etapas de desarrollo. Cuando

no hay cultivo se alimenta y reproduce en malezas como correhuela, toloache, quiebraplato, hierbamora, papa silvestre y tomatillo silvestre. El adulto mide 1.6 mm (Figura 8.5). Cuando es perturbado da saltos a otras plantas. La hembra oviposita hasta 500 huevecillos en un lapso de 15 días. Las oviposiciones generalmente son en la parte media y en brotes nuevos de la planta. Los huevecillos son depositados en los márgenes de las hojas jóvenes y en el envés, son de color amarillo naranja ovalados unidos a la hoja por un pedicelo, tardan 5.5 días a 23 °C (72 UC). Presenta cinco estadios ninfales, los primeros cuatro de color amarillo y el quinto verde de forma oval, parecidos a escamas con ojos rojizos (Figura 8.5D) (Ramírez *et al.*, 2008). Al alimentarse transmiten toxinas provocando amarillamiento y achaparramiento, se encuentran en la parte media de la planta y duran aproximadamente de 12 a 21 días (284 UC). El ciclo biológico abarca 356 unidades calor a 23° C como óptimo y una temperatura base de 7° C.



Figura 8.5. Diferentes etapas biológicas de *Bactericera cockerelli* (A, B y C- Adulto; D-ninfá) (Cortesía Sarah A. Patiño Arellano).

Manejo

Muestrear adultos una vez por semana con trampas amarillas y ninfas en la parte media de la planta. Después del trasplante aplicar insecticidas sistémicos al riego o en drench. Aplicar cada 5-7 días repelentes en orilla y en cultivo. Realizar acción

química al detectar el primer adulto en trampa y/o planta en el invernadero. Usar aceites vegetales y jabones para huevecillos. Preventivas. Eliminar malezas hospederas dentro y fuera de los campos e invernaderos. Evitar plásticos y mallas rotas, colocar dentro y fuera del invernadero trampas amarillas para detectar las primeras migraciones. Así mismo se recomienda la aplicación de insecticidas Abamectina, Oxamil, Spiromesifen, etc. (Bautista *et al.*, 2005).

Áfidos (*Myzus persicae* Sulzer, *Aphis gossypii* Glover)

Ocasionan daños directos al succionar la savia provocando debilitamiento, pérdida de vigor, amarillamiento y deformaciones, excretan mielecilla la cual cubre las hojas ocasionando la atracción de moscas y hormigas, así como del hongo *Capnodium* sp (fumagina) que reduce la fotosíntesis y calidad de frutos. De manera indirecta transmiten el virus del mosaico de la alfalfa (AMV), el virus del ápice amarillo del tomate (TYTV) y el virus del mosaico del pepino (CMV), siendo las formas aladas las más dañinas ya que éstas tienen la capacidad de emigrar en busca de alimento hacia otras plantas huéspedes que les permitan sobrevivir durante cierto periodo del año o cuando las condiciones le son adversas (Nava *et al.*, 2010). Los pulgones son de colores y tamaños variables. Pueden ser alados o sin alas, forman colonias en el envés de las hojas o en brotes, la hembra genera de 50 a 100 ninfas. La principal característica es que tienen en la parte final del abdomen una cola o cauda y un par de cornículos (tubitos) por donde secretan feromona de alarma y mielecilla. Hibernan en estado de ninfa y adulto en gramíneas de invierno y malezas como correhuela, lechuguilla, diente de león, etc. Su ciclo varía considerablemente, depende de la temperatura: a 10° C el ciclo dura 25 días, a 20° C dura 9 días y a 25° C dura 7 días (Capinera, 2014).



Figura 8.6. Pulgón adulto, alimentándose del tallo del tomate

Manejo

El monitoreo se realiza con trampas amarillas de agua o pegamento y directo en el cultivo. Usar mallas anti áfidos en invernadero y aplicar repelentes cada 5 a 7 días. Usar aceites vegetales, minerales, jabones agrícolas y extractos vegetales. Eliminar malezas hospederas. Esta plaga debe manejarse preventivamente mediante el uso de insecticidas sistémicos al suelo al momento del trasplante. Uso de larvas y adultos de *Chrysoperla carnea* (Capinera, 2014).

Araña roja [*Tetranychus urticae* Koch (Acariformes: Tetranychidae)]

La araña roja pertenece a la clase Arácnida a la familia *tetranychidea*, ataca más de 150 especies cultivadas en todo el mundo. Miden de 0.5 a 0.6 mm de forma oval y de color blanquecino a rojizo. Los huevecillos son redondos casi transparentes y amarillentos tardan de 2 a 4 días en eclosionar. Las ninfas (protoninfa y deutoninfa) son parecidas a los adultos, pero más pequeñas y de color blanco transparente (Damián y Mera, 2011). Ocasionan severos daños y cubren con telaraña el cultivo de jitomate, sobre todo en época seca y con alta temperatura. Tanto el adulto como las ninfas pican y absorben la savia de las hojas con sus estiletes provocando puntuaciones blancas, coloraciones amarillentas y morrones en las hojas. En poblaciones altas llegan a ocasionar la defoliación de plantas. Son favorecidas por el polvo y bajo condiciones de altas temperaturas y baja humedad relativa en el ambiente, el ciclo biológico es muy rápido y tarda de 9 a 15 días (Goodwin *et al.*, 1995).

Muestrear directamente en el follaje para detectar las puntuaciones principalmente el envés de las hojas abarcando todas las orillas del invernadero. Realizar tratamientos localizados con acaricidas más azufre en los primeros brotes utilizando suficiente agua. Equilibrar los niveles de humedad relativa de 50 a 70% durante el día. Realizar mezclas de repelentes como el ajo y canela mezclados con azufres (gránulos dispersables). Al detectar el primer brote, aplicar a todo el invernadero (Godfrey, 2011).

Manejo

Preventivas. Sacar y quemar residuos de cosecha afectados. Eliminar malezas hospederas cercanas a los invernaderos. Aplicar azufre espolvoreando las orillas y entre pasillos principalmente en la temporada seca. Muestrear directamente en el follaje para detectar las puntuaciones principalmente el envés de las hojas abarcando todas las orillas del invernadero. Realizar tratamientos localizados con acaricidas más azufre en los primeros brotes utilizando suficiente agua. Equilibrar los niveles de humedad relativa de 50 a 70% durante el día. Realizar mezclas de

repelentes como el ajo y canela mezclados con azufres. Al detectar el primer brote, aplicar a todo el invernadero (Damián y Mera, 2011).

Minador de la hoja [*Liriomyza* sp (Diptera: *Agromyzidae*)]

Las larvas perforan la lámina foliar y durante el proceso de la alimentación van formando galerías en forma de serpentinas (Figura 8.7), que bajo altas poblaciones y sin medidas de control llegan a secar gran parte o en algunos casos la totalidad de la lámina foliar lo cual puede provocar una defoliación parcial o total del cultivo, agravado por la presencia de hongos y bacterias que entran por medio de las galerías (Maier, 2001). Las larvas son de color cremoso a amarillo y miden de 1 a 3 mm, son de forma cilíndrica con la parte anterior aguda con picos y el otro extremo achatado, duran de 7 a 10 días. Las pupas son de color café, de forma cilíndrica y permanecen por debajo de la hoja o en el suelo. El adulto es una mosquita de color oscuro con manchas amarillas en la cabeza y el dorso, mide alrededor de 2 mm. Los huevecillos son depositados en ambos lados de las hojas en una cantidad de 100 a 600 huevos por cada hembra, éstos son de color blanco opaco, tardan 2 a 4 días en eclosionar (Bautista *et al.*, 2015).

Manejo

El monitoreo de adultos se realiza con trampas amarillas y la presencia de larvas se verifica directamente en el cultivo y sobre todo en hojas que presentan minas en forma de serpentinas. Aplicar medidas de control en plántulas y primeras etapas de desarrollo del cultivo. Usar insecticidas como acetamiprid, alfacipermetrina, abamectina, *Bacillus thuringiensis*, beta-ciflutrina, bifenthrin, buprofezin, carbendazim, carbofuran, cartap, cipermetrina. Eliminar malezas hospederas dentro y fuera de los invernaderos (Chirinos y Geraud-Pouey, 2011).

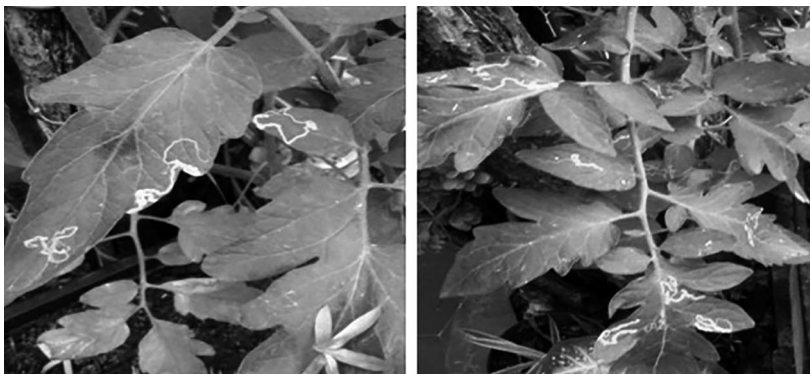


Figura 8.7. Daños en la hojas causados por liriomiza spp., en el plantas de tomate

Enfermedades en el cultivo del tomate

Tizón tardío [*Phytophthora infestans* (Mont) de Bary]

Es una de las enfermedades más destructivas que existen, debido a la rapidez con que puede diseminarse por aire y agua debido a su capacidad reproductiva y a la gran virulencia que caracteriza a este pseudohongo (Castro y Contreras, 2011).

Características del patógeno y condiciones que requiere para su reproducción

P. Infestans es el organismo que causa el tizón tardío en diversos solanáceas (tomate, papa y otras solanáceas cultivadas y silvestres). El micelio cenocítico, conidióforos ramificados con hinchamientos, esporangios globosos en forma de limón. Para la reproducción del esporangio se requiere de humedad relativa de 90-100% y temperatura óptima de 18-21 °C, se produce un tubo germinativo que penetra directamente la cutícula de la hoja y en partes bajas se lleva a cabo la liberación de 3 a 8 zoosporas biflageladas dentro del esporangios, posteriormente se rompe la pared de éste, las zoosporas se enquistan y penetran la hoja del hospedero. Si las temperaturas se mantienen entre los 16 y 22° C (con lluvias y nublados), el hongo se propagará, fructificando abundantemente (Erwin y Ribeiro 1996; Tlapal-Bolaños, 2005).



Figura 8.8. Síntomas de *P. Infestans* en plantas (A y B) y frutos de tomate (C)

Síntomas

Los primeros síntomas son manchas pardas irregulares. Bajo condiciones húmedas se observa en los márgenes del envés, un algodoncillo fino grisáceo compuesto de esporangióforos y esporangios del patógeno. A medida que avanza la infección la mancha se ennegrece, coalescen y matan a la hoja, además también hay una pudrición en el futo (Figura 8.8) (Agrios, 2010).

Manejo

La prevención y control de la enfermedad debe estar basada en el pronóstico del tiempo y el inicio de la enfermedad, se puede controlar al seleccionar variedades resistente, así como la aplicación de fungicidas como Mancozed, Cobre, Clorotalonil, Captan, Folpet. Cymozanil, Dimetomorf, Propamocarb y Metalaxil (Agrios, 2010).

Marchitamiento vascular del tomate

(*Fusarium oxysporum* f.sp. *radicis-lycopersici*)

Esta enfermedad se encuentra distribuida en todo el mundo causando grandes pérdidas en el cultivo de tomate. El hongo sobrevive en restos de cultivo de una temporada a otra y posee estructuras de resistencia que le permiten perdurar en el suelo por espacio de 6 años (Tlapal, 2005).

Características del patógeno y condiciones que requiere para su reproducción

Fusarium oxysporum f.sp. *radicis-lycopersici*. Es favorecido por temperaturas cálidas (20° C) asociada a alta humedad relativa. El hongo penetra en la planta a nivel del suelo ya sea por el tallo o raíces superficiales, luego por los haces vasculares es trasladado a toda la planta. Éste presenta numerosas estructuras llamadas esporodoquios donde se agrupan las esporas. Existen dos tipos de conidios, los macroconidios que son hialinos, tabicados, generalmente con tres tabiques y microconidios más pequeños hialinos, unicelulares. Posee células de paredes engrosadas que actúan como estructuras de resistencias denominadas clamidiosporas pueden ser terminales o intercalares. Sobrevive en restos vegetales o como clamidiosporas en el suelo que perduran por varios años. La transmisión a distancia se da mayoritariamente por semilla, plantas infectadas y maquinaria. Localmente se propaga por agua de riego o aire así como trasplante con material afectado (Agrios, 2010).

Síntomas

Lo primero que se observa a campo es un amarillamiento en las hojas basales posteriormente se marchitan se secan pero permanecen adheridas a la planta (Figura 8.9A). Esta sintomatología progresa hacia la parte superior de la planta a

veces sólo toma un sector de la misma. Al comienzo las plantas muestran marchites en las horas más calurosas del día recuperándose al final del mismo pero finalmente se marchitan y mueren. Las raíces principales y la base del tallo presentan necrosis vascular (Figura 8.9B). Cuando se corta el tallo se observa el sistema vascular de color marrón (García y Valenzuela. 2011).



Figura 8.9. Plantas de tomate con marchitamiento (A) y raíz dañada (B) por *F. oxysporum*

Manejo

Se recomienda el uso variedades resistentes. Ya que una vez que el hongo penetra al tejido vegetal, no existe control químico efectivo para esta enfermedad. En el mercado existen variedades con resistencia a las razas 1 y 2, en menor proporción a la raza 3. Esta resistencia puede perderse cuando se producen heridas ya sea por nematodos o por el laboreo. Por lo tanto el suelo libre de nematodos así como evitar la rotura de raíces al laborear el suelo contribuirá a mantener la sanidad del cultivo. Las plantas enfermas deben eliminarse lo más pronto posible a efectos de reducir el inóculo. Las rotaciones con cultivos no huéspedes como el caso de lechuga, acelga. Entre otros son necesarias para el manejo adecuado de la enfermedad (Janssen, 2002).

Tizón temprano (*Alternaria solani*, *A. alternata*)

Es una de las enfermedades más importantes del cultivo de tomate, debido a que puede afectarlo en cualquier etapa de su desarrollo, y es capaz de infectar cualquier órgano aéreo, desde la base del tallo, peciolo, hojas, flores y frutos. Además tiene varios hospederos de solanáceas cultivadas y silvestres (Jones, 2001).

Características del patógeno y condiciones que requiere para su reproducción

Este hongo sobrevive sobre restos infectados en el suelo o en la semilla.

La infección se da en tiempo cálido (24-29 °C) y húmedo. Este hongo germina

en alrededor de 1.5 horas. El patógeno penetra directamente tanto a través de la cutícula como de heridas. En 2 o 3 días, las lesiones se vuelven visibles. Los conidios son diseminados por el viento. Se ha estudiado que se necesitan cerca de 10 horas de rocío para que se formen las esporas. Si no hay rocío, se producen 8 veces menos esporas. Al tener un ciclo tan corto en condiciones favorables se pueden repetir numerosos ciclos en períodos limitados de tiempo (Delgadillos *et al.*, 2010).

Síntomas

Los síntomas pueden ocurrir en todas las partes superficiales de la planta. Se forman canchales café oscuros con anillos concéntricos en el tallo (Figura 8.10), los cuales comúnmente se relacionan con partes lesionadas. Estos canchales pueden crecer hasta rodear el tallo y causar la muerte de la planta. Se desarrolla una podredumbre café y seca. Conforme progresa la enfermedad, se enrollan los bordes de las hojas y éstas mueren posteriormente. Los síntomas en la fruta primero aparecen como pequeñas manchas grises que crecen y se vuelven oscuras, hundidas y con anillos concéntricos característicos (Figura 8.10) (Bernal, 2010).



Figura 8.10. Síntomas causado por *Alternaria* spp. en hojas

Manejo

Inspección del cultivo dos veces por semana; si se utiliza aspersión, se debe regar temprano para permitir la correcta aireación de las plantas; usar semillas sanas, aumentar la materia orgánica y controlar los nematodos. Además, se recomienda la aplicación de antagonistas como *Bacillus subtilis* y algunos extras de neen. Medidas curativas: aplicar fungicidas protectores a base de clorotalonil y mancozeb, pyraclostrobin, pyraclostrobin + boscalid y flutriafol (Delgadillo *et al.*, 2011).

Damping-off (Complejo de patógenos de los géneros: *Pythium*, *Phytophthora*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*)

El ahogamiento o *damping off* es causado por varios hongos del suelo. Dentro de los principales agentes causales se encuentran *Pythium* sp. y *Rhizoctonia solani*, sin embargo, se asocian con otros como *Phytophthora* y *Fusarium*. Estos patógenos se encuentran distribuidas por todo el mundo (Damián y Tehuacatl, 2011).

Características del patógeno y condiciones que requiere para su reproducción
Estos patógenos provienen de la semilla, o de varias formas de supervivencia en el suelo (micelio, conidios, oosporas, esclerocios o clamidosporas). El ataque de estos patógenos puede matar la semilla, o la plántula antes de emerger (secadera preemergente). Si emerge, pueden ser atacadas la raíz y la base del tallo, ocasionando una pudrición aguanosa, con estrangulamiento, doblamiento, marchitez y muerte de la plántula (secadera postemergente).

Condiciones que la favorecen: suelos pesados, mal drenaje, demasiada agua, temperaturas bajas (12-17° C) o altas (hasta 31° C) y excesiva fertilización nitrogenada (Bernal, 2010).

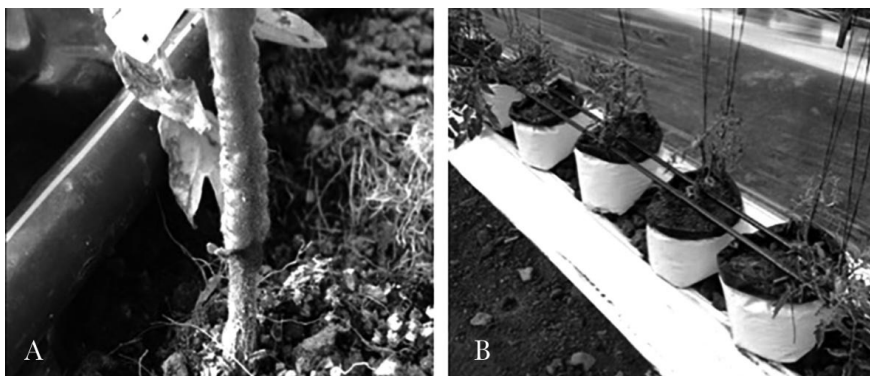


Figura 8.11. Daños en la base de las plantas (A) y plantas dañadas por damping off (B).

Síntomas

Las semillas se pueden pudrir antes de germinar, y las plántulas pueden descomponerse antes de aparecer (*damping-off* de pre-aparición), dando la apariencia de mala germinación. Después de aparecer (*damping-off* de post-aparición), las plántulas desarrollan lesiones en la base del tallo, el tejido se vuelve blando y estrecho y la planta se marchita y se cae (Mendoza, 1996).

Manejo

La rotación a cultivos de cereales y la fumigación o solarización del suelo pueden ayudar a reducir el *damping-off* en sembradíos. El mejoramiento del drenaje del suelo por medio de lechos elevados y la regulación de la humedad del suelo al evitar el riego excesivo ayudan a reducir la enfermedad. En invernaderos, el saneamiento adecuado, incluyendo el uso de bandejas esterilizadas y la pasteurización adecuada del suelo, ayudan a reducir el *damping off*. Algunos tratamientos de semillas con antagonistas como *Bacillus subtilis* y *Trichoderma* spp (Damián y Tehuacatl, 2011).

Cenicilla (*Oidiopsis taurica*-fase asexual, *Leveillula taurica*-fase sexual)

Causa daños muy severos en todos los cultivares de tomates establecidos en la etapa tardía. Afecta diversos cultivos como berenjena, chile, papa, zanahoria, cebolla, alfalfa, alcachofa y algunas especies de leguminosas, malváceas y euforbiáceas. Es uno de los problemas más fuerte en cualquier sembradío de tomate (Agrios, 2010).



Figura 8.12. Hojas de tomate con presencia de cenicillas o polvillo blanco

Características del patógeno y condiciones que requiere para su reproducción

El hongo causante de esta enfermedad se denomina *Leveillula taurica* (Lev.). Arnaud en su fase sexual, y *Odiopsis taurica* Tepper en su estado conidial. El patógeno es parásito obligado, produce micelio endofítico, forma conidióforos septados, generalmente simples que salen a través de estomas, aunque ocasionalmente se han detectado en grupos de dos o tres, los conidios son unicelulares, hialinos, en forma de barril o piriformes. Las condiciones que favorece el desarrollo de esta enfermedad es temperatura alrededor de los 25° C y humedad relativa del 50-75%. Las altas temperaturas y la humedad excesiva frenan el desarrollo del hongo y la germinación de los conidios (Villasanti, 2013).

Síntomas

Los primeros síntomas se manifiestan como manchas de color verde amarillento por el haz de las hojas, después la parte central de las lesiones se deshidrata y se torna de color café; las lesiones se pueden unir y así afectar a las hojas completas, las que al secarse no se caen, sino que permanecen adheridas a los tallos; por el envés de las hojas exhiben vellosidades de color blanco (Figura 8.12), a menudo difíciles de observar a simple vista.

Cuando la enfermedad es muy severa se observa una deshidratación parcial o casi completa de las hojas en forma ascendente, lo que trae como consecuencia un debilitamiento general de la planta, así como una drástica reducción de la producción, frutos pequeños y frutos quemados por el sol. Después, aparecen en las hojas manchitas verde-amarillo de centro café y por el reverso una cenicilla muy poco perceptible. Las manchas se multiplican rápidamente ocasionando defoliación con daño a los frutos (Ponce *et al.*, 2011).

Manejo

Al existir ambiente seco y cálido se recomienda iniciar un programa de aplicaciones con cobre, azufre, pero los de mayor eficacia son azoxystrobin, myclobutanil y trifloxystrobin. Además se debe implementar la rotación de cultivos, no aplicar exceso de fertilizante nitrogenado, densidad de siembra adecuada y la selección de una variedad resistente.

Moho gris (*Botrytis cinerea* Pers.: Fr. (en la forma anamórfica) o *Botryotinia fuckeliana* (de Bary)

Botrytis cinerea es un hongo fitopatógeno que ataca a más de 200 especies de plantas, principalmente de hortalizas. Además, es un patógeno que se encuentra distribuido en todas las zonas tomateras (Valenzuela *et al.*, 2011).

Características del patógeno y condiciones que requiere para su reproducción

El hongo sobrevive como micelio (restos de cosecha), o esclerocios (suelo). Los esclerocios producen conidióforos y conidios. Los conidios, acarreados por el viento y la lluvia, infectan las plántulas y los tomates desarrollados, a través de heridas. Para que se presente la enfermedad requiere de temperaturas moderadas (17-23° C) y humedad superior a 90% (Stall, 2001).



Figura 8.13. Daño causado por *B. cinerea* en flores (A) y tallo en el cultivo de tomate (B)

Síntomas

Los síntomas son manchas aguanosas, irregulares y atizonadas en hojas, tallos y flores (Figura 8.13). Los frutos presentan pudriciones y un moho gris (por el micelio, los conidióforos y conidios). En los tejidos podridos se forman esclerocios, duros negros y aplanados. En los frutos, el patógeno llega a manifestarse con manchas (Sosa, 2013).

Manejo

Como manejo preventivo se recomienda manejar densidades de plantación mayores de 2.5 plantas/m². Además llevar a cabo un manejo adecuado de la ventilación, calefacción y riego en el invernadero, así como también hacer podas y deshojes a ras del tallo. Se recomienda aplicar algunos fungicidas como benomilo, carbendazima, metiltiofanato, captan, clorotalonil, cyprodinil en mezcla con fludioxonil, iprodione y diclofluanid. Así mismo se recomienda la aplicación de antagonistas como *Trichoderma* y *Bacillus subtilis*. De igual modo es importante evitar exceso de fertilización nitrogenada, ya que esto favorece tejidos succulentos y un mayor crecimiento vegetativo dando condiciones apropiadas para la infección. En algunos casos, aplicaciones de calcio han demostrado ser efectivas en aumentar la resistencia al hongo en frutos y planta en general (Valenzuela *et al.*, 2011).

Cáncer bacteriano del tomate (*Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* Smith)

Se le conoce con diversos nombres como cancro bacteriano, ojo de pájaro, mancha ocular, entre otros. Se ha convertido en una de las enfermedades más devastadoras del cultivo de tomate en invernadero en México y en el Mundo (García, 2011).

Características del patógeno y condiciones que requiere para su reproducción

La bacteria puede contaminar las semillas dando origen a plantas infectados que recién manifestarán síntomas después del trasplante y tarde para tomar medidas correctivas. También puede sobrevivir en el suelo, rastrojo, estructuras del invernadero, tutores, cintas de riego, herramientas y manos de los operarios de campo que realizan las labores culturales. Es importante la desinfección de áreas afectadas. Las condiciones predisponentes para infección son temperaturas de 18 a 24° C, elevada humedad relativa (mayor a 80%) y exceso de fertilización nitrogenada (Villasanti, 2013).

Síntomas

Se manifiesta antes de la floración y frecuentemente a lo largo de la misma fila de plantas con síntomas de marchitamiento irreversible y desecación de folíolos (en los bordes y zonas internervales). Generalmente el marchitamiento se presenta de manera asimétrica (sólo un lado de la planta) (Figura 8.14). Los frutos inmaduros tienden a desprenderse de la planta y finalmente la planta toma el aspecto de estar quemada. En los tallos suelen aparecer estrías longitudinales amarillo pálidas que se ubican en la zona de inserción de las hojas pudiendo hendirse formando canchales (Obregón, 2014).

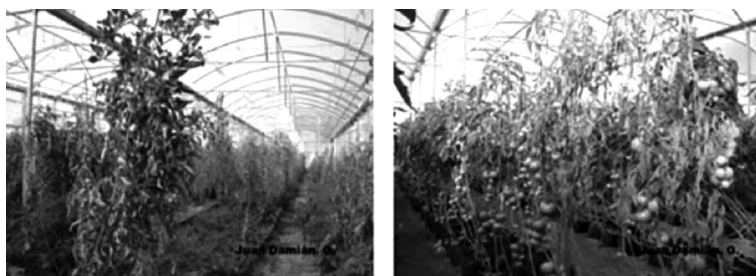


Figura 8.14. Síntomas causados por *C. michiganensis* en plantas de tomate

Manejo

Usar semilla certificada. Tratamiento de semilla con agua caliente a 52°C por 30 minutos. Eliminación y quema de plantas enfermas, acordonar y delimitar la zona

afectada. Asignar una persona en el área para las actividades. Desinfectar guantes, herramientas de poda y cajas de cosecha. Desinfectar con hipoclorito de sodio al 2% y los postes, vigas y cualquier estructura que pueda ser reservorio del patógeno. Evitar escurrimientos de agua y adicionar cobre más cal en las partes húmedas. No realizar manipuleo con plantas mojadas. Realizar medidas y tratamientos preventivos con inductores de resistencia, cobres, antibiótico autorizado preventivo, antes de que aparezcan los síntomas y en el momento que se presenten las condiciones más favorables. Restringir el acceso solo a personal capacitado (García, 2011).

Virus del rizado amarillo del tomate (TYLCV)

Los efectos del TYLCV sobre la producción dependen mucho del desarrollo vegetativo alcanzado por la planta en el momento de la infección. Las infecciones precoces producen una pérdida notable de vigor y falta de fructificación. La pérdida de producción puede llegar al 70-80% especialmente en los cultivos de invernadero.

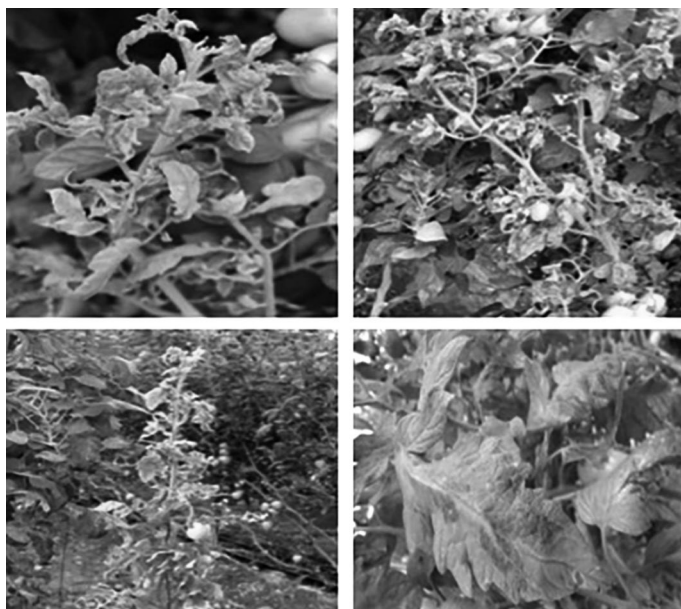


Figura 8.15. Plantas de tomate con síntomas del virus del rizado amarillo del tomate (Cuchara)

Síntomas

Se observa enanismo de las plantas, con una vegetación "enmarañada", especialmente en sus partes jóvenes por efecto de la superproducción de yemas axilares. Se detiene el crecimiento de la planta, la cual da un aspecto arbustivo o raquíutico. Se observa amarillamiento de las hojas apicales, que curvan sus bordes

hacia arriba siendo su aspecto similar al de una cuchara, pudiendo aparecer ciertos matices violáceos en el envés (Figura 8.15). En las infecciones tardías se produce el cuajado de ciertos frutos aunque los ya presentes, generalmente sobre el primer piso, alcanzan la maduración con tamaño inferior a lo normal y decoloración pálida.

Medidas preventivas y culturales

En invernaderos, colocar mallas en las aberturas laterales, cenitales y puertas, y vigilar y controlar el estado de las mismas, sobre todo de las que coinciden con la dirección de los vientos dominantes. Utilizar semillas sanas. Proteger los primeros estados vegetativos de las plantas.

Eliminar las plantas que estén muy afectadas. Utilizar material vegetal sano procedente de viveros o semilleros autorizados. Usar variedades resistentes o tolerantes, cuando existan. Desinfectar el suelo mediante solarización, antes de realizar la plantación. Favorecer la proliferación de poblaciones de insectos auxiliares, racionalizando el uso de productos fitosanitarios. Retirar y destruir los restos de poda. En caso de utilizar semillas para ensayos, éstas deben estar perfectamente identificadas y conservar la documentación durante un año. Arrancar y eliminar inmediatamente las plantas afectadas por el virus y las colindantes, al inicio de los síntomas. Realizar tratamientos con productos fitosanitarios específicos contra el vector antes de retirar los restos vegetales de la parcela. Eliminar las plantas mediante transporte en camiones o contenedores cerrados a los centros de tratamiento de residuos vegetales (Damián *et al.*, 2011).

Modo de transmisión

La transmisión de este virus es exclusiva de *Bemisia tabaci*, que lo propaga de forma persistente, de forma que el insecto retiene el virus durante mucho tiempo (máximo 20 días) disminuyendo la infectividad progresivamente durante este periodo. También se transmite, aunque con dificultad, por inoculación mecánica (Tlapal, 2005).

Nematodo agallador (*Meloidogyne* spp.)

Importancia del género *Meloidogyne* en los cultivos hortícolas La importancia de *Meloidogyne* se debe a su amplia distribución, por la gran capacidad que posee para sobreponerse a las condiciones ambientales desfavorables; al grado de parasitismo; y al tipo de reproducción que presenta (partenogenética) (Carrillo *et al.*, 2000).

Características

Las larvas juveniles de segundo instar inducen una serie de cambios en los tejidos radicales, como aumento en el tamaño de las células (hipertrofia) que se encuentran

cerca de la cabeza del nematodo y la sobre multiplicación celular (hiperplasia), que da origen a las agallas. Uno de los objetivos de los técnicos e investigadores en la lucha contra los nematodos es mejorar el crecimiento y el rendimiento de las plantas, lo que puede conseguirse al reducir la población de nematodos (Agrios, 2010).

Síntomas

Los síntomas ocasionados por el ataque de *Meloidogyne* spp., son enanismo de la planta y amarillamiento de las hojas. Debido a que las raíces son dañadas, las plantas también manifiestan signos de deficiencia de agua en las horas de mayor calor, por lo que presentan los síntomas típicos ocasionados por los patógenos: presencia de agallas o tumores (lesiones externas que inician internamente desde el momento en que penetra a la planta la larva juvenil de segundo instar del nematodo) (Zaqui *et al.*, 2001).

Manejo

Para el manejo de los nematodos, es importante realizar un estudio del suelo, además hay diversos productos para el control de nematodos a base de *Paecilomyces lilacinus*, complejo de quitinas, *Myrothecium verrucaria*, además de algunos productos químicos como oxamyl. Así como también de productos complementarios que facilitan los buenos resultados del programa biorracional, ya que potencializan la acción de los nematicidas, mediante los beneficios que otorgan para el buen funcionamiento de las plantas, con lo que evitan que éstas padezcan estrés. Otros productos de complemento recomendados son *Trichoderma harzianum*, composta sólida y té de composta (Damian *et al.*, 2011). Estos productos son biofertilizantes con un elevado contenido de nutrientes altamente asimilables, y de microorganismos fitobenéficos (bacterias solubilizadoras de nitrógeno y fósforo); también incluyen bacterias fijadoras de nitrógeno. Además, otra de las alternativas para el control es la biofumigación, la cual consiste a la eliminación de plagas y patógenos del suelo mediante el uso de compuestos volátiles, que resultan de la descomposición de materia orgánica. La biofumigación hace uso del sistema defensivo de los tejidos heridos de las plantas para el control de organismos fitopatógenos presentes en el sustrato. Entre los beneficios que presenta esta alternativa se encuentra el control de diversos patógenos del suelo, así como el cambio de las propiedades físicas y químicas del suelo para convertirlo en un medio favorable para el desarrollo del cultivo (Castro *et al.*, 1990).

Lista de referencias

- Agrios, G. N. 2010. *Plant Pathology*. Fifth edition. Elsevier Academic Press. California, USA. A. pp. 317-323.
- Alatorre, R. R., Bravo, M. H., Leyva Vásquez J. L., Huerta de la Peña, A. 2014. *Rotación de cultivos*. Secretaría de agricultura ganadería, desarrollo rural y Pesca y alimentación. Subsecretaría de Desarrollo Rural Dirección General de Apoyos para el Desarrollo rural. pp. 1-11.
- Amador, I. R., D. Mederos, M. y M. López, M. 2011. Mosquita blanca en tomate, control actual y perspectivas. *Revista Industrial del campo*. pp.12-17.
- Bautista, M. N., O. Morales. G. y H. Sánchez, A. 2005. *Manejo de plagas*. pp. 128-131. y pp 144 -146. In: N. Bautista, M., Alvarado, L., J. Producción de tomate en invernadero. Edición Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco.
- Bernal, R. 2010. Enfermedades de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en invernadero en las zonas de salto y bella unión. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de INIA Andes. Montevideo-Uruguay, INIA. *Serie Técnica 181*:16 y 181: 18 - 19
- Bujanos, M. R., J. L. Corrales M., J. L. Velasco, S., J. Arévalo, Z., J. Damián, G., J. L. Mera, Hernández. 2011. *Manejo Integrado de Plagas*. pp. 243-246. In: Castellanos, Z. J. 2011. Manual de producción de tomate en invernadero. Edición Intagri, S. C. Ocma, soluciones impresas, presa pañuelitos, Col. Benito Juárez, Celaya, Gto.
- Bujanos, M. R., J. L. Corrales M., J. L. Velasco, S., J. Arévalo, Z., J. Damián, G., J. L. Mera, Hernández. 2011. *Mosca blanca*. pp.247-263. In: Castellanos, Z. J. 2011. Manual de producción de tomate en invernadero. Edición Intagri, S. C. Ocma, Soluciones Impresas, Presa Pañuelitos, Col. Benito Juárez, Celaya, Gto.
- Capinera, L., J. 2014. *Green Peach Aphid, Myzus persicae (Sulzer) (Insecta: Hemiptera: Aphididae)*. Entomology and Nematology Department, UF/IFAS Extension, Gainesville, FL 32611. pp. 1-9.
- Carrillo, A.; E. R. García; M. R. Allende; Z. I. Márquez; y O. J. Cruz. 2000. Identificación y distribución de especies del nematodo nodulador (*Meloidogyne spp.*) en hortalizas en Sinaloa, México, *Revista Mexicana de Fitopatología*. 18:2:115-119.
- Castellanos, Z. J. 2011. *Manual de producción de tomate en invernadero*. Edición Intagri, S. C. Ocma, soluciones impresas, presa pañuelitos, Col. Benito Juárez, Celaya, Gto. pp: 243-407.
- Castro, A. E.; Cid del P. Zavaleta; y G. V. Zamudio. 1990. Rotación e incorporación de *Tagetes erecta* L. Para el manejo de *Meloidogyne incognita* en el cultivo de tomate en Tecamachalco, Puebla, *Revista Mexicana de Fitopatología*. 8:173-180

- Castro, I. y A. Contreras. 2011. *Manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de la papa*. Imprenta Austral, Valdivia Chile 72 p.
- Chirinos, D. T., y F. Geraud-Pouey. 2011. El manejo de plagas agrícolas en Venezuela. Análisis y reflexiones sobre algunos casos. *Interciencia* 36 (3):192-199.
- Damián, G. J. Mera, H., J. L. 2011. *Araña roja*. pp. 315-320. In: Castellanos, Z. J. 2011. Manual de producción de tomate en invernadero. Edición Intagri, S. C. Ocma, Soluciones Impresas, Presa Pañuelitos, Col. Benito Juárez, Celaya, Gto.
- Damián, G. J., J. P. Tehuacatl X. 2011. *Tizón temprano*. pp. 343-348. In: Castellanos, Z. J. Manual de producción de tomate en invernadero. Edición Intagri, S. C. Ocma, Soluciones Impresas, Presa Pañuelitos, Col. Benito Juárez, Celaya, Gto.
- Damián, G. J., Tehuacatl, X. J. P., Mera, H., J. L. 2011. *Nematodos*. pp. 402-408. In: Castellanos, Z. J. 2011. Manual de producción de tomate en invernadero. Edición Intagri, S. C. Ocma, Soluciones Impresas, Presa Pañuelitos, Col. Benito Juárez, Celaya, Gto.
- Delgadillo, S. F., J. Damian, G., J. P. Tehuacatl X. 2011. *Tizón temprano*. pp. 373-376. In: Castellanos, Z. J. Manual de producción de tomate en invernadero. Edición Intagri, S. C. Ocma, Soluciones Impresas, Presa Pañuelitos, Col. Benito Juárez, Celaya, Gto.
- Erwin, D.C. and Ribeiro O. k. 1996. *Phytophthora Diseases Worldwide*. Minnesota. The American Phytopathological Society U.S.A. 562 p.
- García, E. R. 2011. *Cáncer bacteriano de tomate*. pp. 383-394. In: Castellanos, Z. J. Manual de producción de tomate en invernadero. Edición Intagri, S. C. Ocma, Soluciones Impresas, Presa Pañuelitos, Col. Benito Juárez, Celaya, Gto.
- García, E. R. y G. Valenzuela. 2011. *Marchitez del tomate y pudrición de la corona y raíz*. pp. 349-356. In: Castellanos, Z. J. Manual de producción de tomate en invernadero. Edición Intagri, S. C. Ocma, soluciones impresas, presa pañuelitos, Col. Benito Juárez, Celaya, Gto.
- Godfrey, L. D. 2011. *Pest Notes: Spider Mites. Integrated Pest Management for Home Gardeners and Landscape Professionals*. UC ANR Publication 7405. pp. 1-4.
- Goodwin, S., G. Herron, G. Gouch, T. Wellham, J. Rophail, R. Parker. 1995. Relationship between Insecticide – Acaricide resistance and field control in *Tetranychus urticae* (Tetranychidae) infesting roses. *Journal of Economic Entomology*. 88 (5):1106–1112.
- Janssen, D. 2002. *Tomatoes: Possible Causes of Sudden Wilt and Deathfile*. University of Nebraska <http://lancaster.unl.edu/hort/Articles/2002/TomatoWilt.htm>.
- Jones J. P; Stall R. Zitter. T. 1993. *Compendium of Tomato Diseases*. APS PRESS. Pag 15.

- Jones, J. P. 2001. *La podredumbre negra del cuello*. In, J. B., J. P. Jones, R. E. Stall y T. A. Zitter. Plagas y enfermedades de tomate. Ediciones Mundi- Prensa. España. 76 p.
- López-Ávila, A. 2011. Manejo integrado de las moscas blancas *Bemisia tabaci* (Gennadius) *Aleurotrachelus socialis* Bondar. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. *Boletín de Sanidad Vegetal* 41:11.
- Maier, C.T. 2001. Exotic lepidopteran leafminers in North American apple orchards: rise to prominence, management, and future threats. *Biol. Invasions* 3:283–293.
- Mendoza, Z. C. 1996. *Enfermedades fungosas de hortalizas*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- Morales, F. F. J., y M. R. Martínez M. 2014. *Rotación de cultivos*. Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural y Pesca y Alimentación. Subsecretaría de Desarrollo Rural, Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural. Pp 1-8.
- Nava, C. U., H. Sánchez G. y V Ávila R. 2010. *Manejo integrado de plagas y enfermedades del tomate*. pp. 10-58. In: A. Benavides-Mendoza, V. Robledo-Torres, H. Ramírez, A. Sandoval R. 2010. Producción de Tomate en el Norte de México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Nava, C. U., H. Sánchez G. y V Ávila R. 2010. *Manejo integrado de plagas y enfermedades del tomate*. pp. 10-58. In: A. Benavides-Mendoza, V. Robledo-Torres, H. Ramírez, A. Sandoval R. 2010. Producción de Tomate en el Norte de México. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Obregón, V. 2014. *Guía para la identificación de las enfermedades del tomate en invernadero*. Primera edición. Bella Vista, Corrientes: Ediciones INTA. 44 p.
- Ponce, G. F., Damian, G. J., J. P. Tehuacatl X. 2011. *Cenicilla del tomate*. pp. 361-366. In: Castellanos, Z. J. Manual de producción de tomate en invernadero. Edición Intagri, S. C. Ocma, soluciones impresas, presa pañuelitos, Col. Benito Juárez, Celaya, Gto.
- Ramírez, G. M., E. Santamaría C., J. S. Méndez, R., J. L. Ríos, F., J. R. Hernández, S., J. G. Pedro, M. 2008. Evaluación de insecticidas alternativos para el control de *paratrioza* (*Bactericera cockerelli* B.y L.) (Homoptera: *Triozidae*) en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 76: 47-56.
- Sosa, M. A. 2013. *Guía para el Reconocimiento de Enfermedades en el Cultivo de Tomate*. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 15 p.

- Stall, R. E. 2001. *La podredumbre o moho gris*. In: Jones, J. B., Jones, R. E., Stall y T. A. zitter. Plagas y enfermedades del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. España. pp 23-24- Manejo de las enfermedades del tomate. Ramírez, V. J. y R. A. Sáinz. 1 ed. México.
- Tlapal, B. B. 2005. *Principales enfermedades*. 153-190. In: N. Bautista, M., Alvarado, L., J. Producción de tomate en invernadero. Edición Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco.
- Tlapal, B. B. 2005. *Principales enfermedades*. pp. 153-190. In: N. Bautista, M., Alvarado, L., J. Producción de tomate en invernadero. Edición Colegio de Postgraduados, Carretera México-Texcoco.
- Valenzuela, G., Damián, G. J., J. P. Tehuacatl X. 2011. Moho gris. pp.377-382. In: Castellanos, Z. J. *Manual de producción de tomate en invernadero*. Edición Intagri, S. C. Ocma, soluciones impresas, presa pañuelitos, Col. Benito Juárez, Celaya, Gto.
- Villasanti, C. 2013. *El cultivo de tomate con buenas prácticas agrícolas en la agricultura urbana y periurbana*. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca-Presidencia de la Nación Argentina-FAO. pp. 10-70.
- Webb, S. E., P. A. Stansly, D. J. Schuster and J. E. Funderburk. 2002. *Insect Management for Tomatoes, Peppers, and Eggplant*. <http://edis.ifas.ufl.edu/>.
- Zaki, A., Z. A., Siddiqui, A., Iqbal, I. Mahmood. 2001. *Effects of Pseudomonas fluorescens and fertilizers on the reproduction of Meloidogyne incognita and growth of tomato*. *Applied Soil Ecology* 16:179-185



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA de
TAMAULIPAS



La GENERACIÓN del
CONOCIMIENTO
con VALORES

Este libro es el resultado del trabajo colectivo, de un grupo de profesores investigadores de la Facultad de Ingeniería y Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, interesados en difundir la importancia del uso de las nuevas técnicas de producción de tomate en la zona centro del estado de Tamaulipas, México.

La agricultura es una actividad global de importancia acrecentada por la necesidad de producir más alimentos para la población del mundo. Requiere técnicas que ayuden a mejorar la calidad y aprovechar mejor los recursos disponibles para la siembra, sin descuidar jamás la seguridad alimentaria.

La agricultura protegida conlleva una serie de técnicas y conocimientos que permiten modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, con el propósito de alcanzar un crecimiento vegetal óptimo y con ello, un alto rendimiento, así como la obtención de cosechas en fechas alternas o distintas a la producción de cultivos de manera tradicional.

La mejor y mayor producción bajo condiciones controladas, requiere de insumos y actividades determinantes para el rendimiento adecuado, tales como material genético, riego, manejo de plagas y enfermedades, manejo de planta. El suelo o el sustrato, es una condición indispensable, y determinante, además de ser el sostén mecánico de la planta, es la vía para el abastecimiento de agua y nutrientes. La importancia del suelo o sustrato radica en las características físicas y químicas, así como el manejo adecuado; estas condiciones influyen directamente en el desarrollo de la planta, en su rendimiento y calidad de fruto. La finalidad del sustrato es asegurar un rendimiento abundante y de buena calidad en el menor tiempo posible y con costos menores.

La producción de plantas hortícolas pretende transferir e implementar conocimientos validados en la producción de plántulas de tomate, bajo sistemas distintos a los tradicionales, mediante técnicas que permiten el incremento en el porcentaje de germinación y el buen desarrollo de las plántulas. El uso de invernaderos en la producción hortícola ha demostrado un aumento de los rendimientos, en la homogeneidad y calidad de los productos cosechados, respecto a la producción tradicional.

La biotecnología vegetal es una herramienta que permite mejorar las especies vegetales y los cultivos; al utilizar pruebas de laboratorio permite obtener beneficios agrícolas transferidos de otras especies, tales como la resistencia a enfermedades o plagas, o la capacidad de crecer en suelos magros o en zonas de escasas precipitaciones.

Publicación financiada con recurso PFCE 2016

ISBN: 978-607-8563-71-5



Consejo de
publicaciones
UAT



COLOFÓN