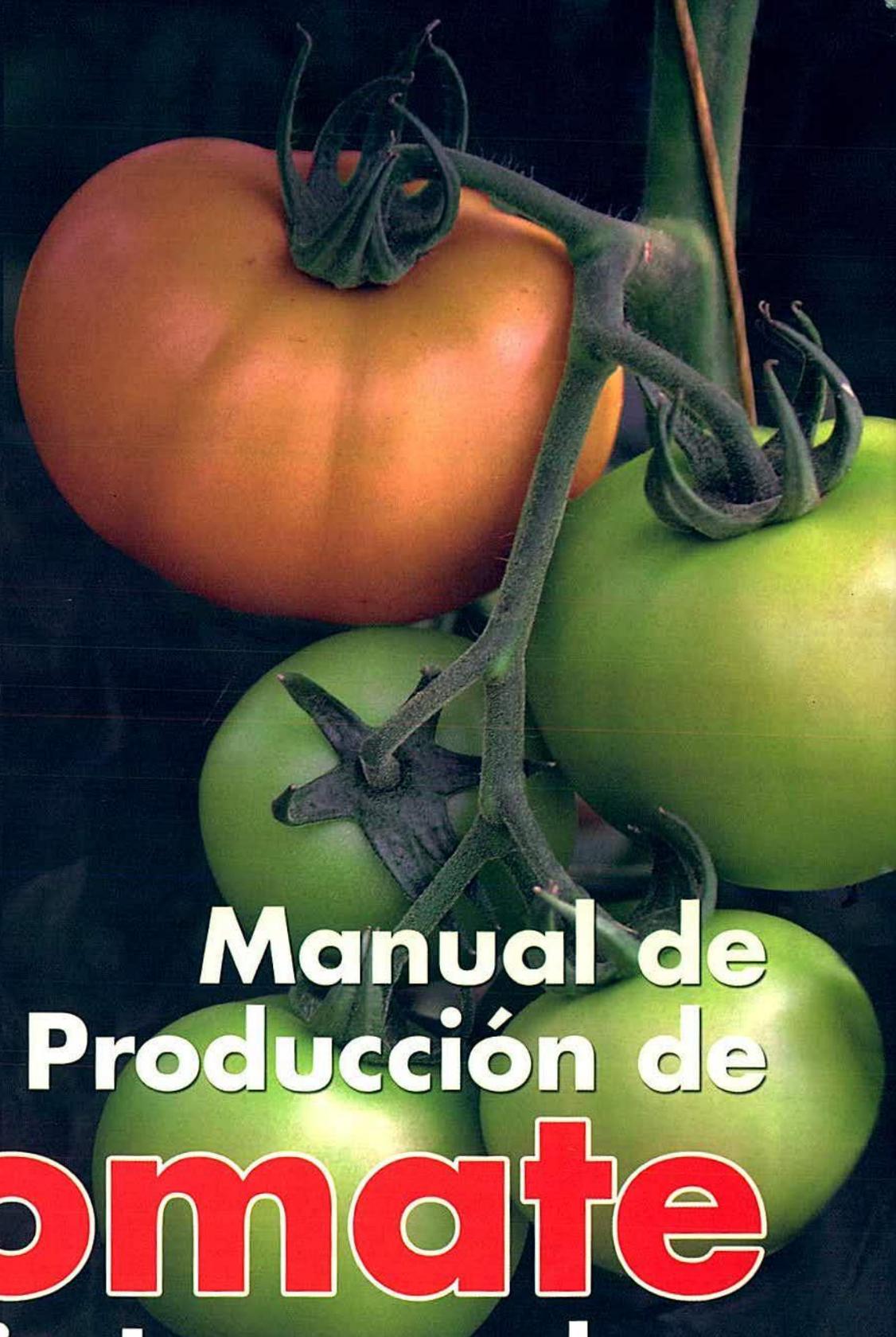


EDITORES
HUGO ESCOBAR
REBECCA LEE



Manual de Producción de **Tomate** Bajo Invernadero

23091



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
TADEO LOZANO



Libertad y Orden

Departamento Administrativo de
Ciencia, Tecnología e Innovación
Colciencias

República de Colombia



Centro de Investigaciones
y Asesorías Agroindustriales

23091

5372

SECRETARÍA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

02 NOV. 2011

EDITORES
HUGO ESCOBAR
REBECCA LEE

Manual de Producción de Tomate Bajo Invernadero



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO



Libertad y Orden

Departamento Administrativo de
Ciencia, Tecnología e Innovación
Colciencias

República de Colombia



Centro de Investigaciones
y Asesorías Agroindustriales

Manual de producción de tomate bajo invernadero / editores
Hugo Escobar, Rebecca Lee. – Bogotá : Fundación
Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2009.
180 p. : il. (algunas col.) ; 28 cm.

ISBN 978-958-725-025-1

1. TOMATE - CULTIVO. 2. CULTIVOS DE INVERNADERO. I. Escobar
Hugo, ed. II. Lee, Rebecca, ed..

CDD635.642'M319°

Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano
Carrera 4ª No. 22 - 61 PBX: 242 70 30 - www.utadeo.edu.co

Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales –CIAA–
www.utadeo.edu.co/ciaa - e-mail: ciaa@utadeo.edu.co

Rector: José Fernando Isaza Delgado

Vicerrector Académico: Diógenes Campos Romero

Decano Facultad de Ciencias Naturales: Diógenes Campos Romero

Director Dirección de Investigación, Creatividad e Innovación: Manuel García Valderrama

Director CIAA: Oscar Duarte Torres

Director Editorial: Jaime Melo (E)

MANUAL DE PRODUCCIÓN DE TOMATE BAJO INVERNADERO

ISBN: 978-958-725-025-1

Segunda Edición

© Alexander Cooman

Raf De Vis

Hugo Escobar

Luz Stella Fuentes

Mario González

Rebecca Lee

Amparo Medina

Harold Ubaque

Kris Wyckhuys

Carlos Ricardo Bojacá

Sandra Pulido

Nancy Eunice Niño

Luis Enrique Flórez

Ligia Espinosa

Oscar Monsalve

César Salamanca

BIBLIOTECA AGROPECUARIA DE COLOMBIA - BAC	
Compra <input checked="" type="checkbox"/>	Donación <input type="checkbox"/>
Canje <input type="checkbox"/>	Deposito legal <input type="checkbox"/>
Procedencia: <u>Produmedios</u>	
Fecha: <u>2 NOV 2019</u> \$35.000	

© Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Cuadernos del Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales –CIAA–

“La investigación de donde se origina esta publicación fue realizada con la colaboración financiera de COLCIENCIAS, entidad pública cuyo objetivo es impulsar el desarrollo científico, tecnológico e innovador de Colombia”.

Este manual es una actualización del contenido tecnológico de la publicación del mismo nombre, generada por el CIAA en 2001. Publicación que había sido elaborada con base en los resultados del proyecto de innovación tecnológica código 6587-07-583-97 cofinanciado por COLCIENCIAS y la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Coordinación editorial: Luis Carlos Celis C.

Revisión de estilo: Clara Ximena Torres Serrano

Concepto gráfico, diseño, diagramación y retoque digital: Luis Carlos Celis C.

Fotografía carátula y contracarátula: Luis Carlos Celis C.

Fotografías: Rodrigo Gil, Hugo Escobar, Luz Stella Fuentes, Nancy Niño y Sandra Pulido

Logística administrativa: Henry Colmenares

Impresión: Ultracolor Ltda.

Impreso en Colombia – Printed in Colombia

Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra por cualquier medio, sin autorización expresa del editor.

Contenido

Presentación

1. GENERALIDADES DEL CULTIVO	13
DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	13
HÁBITOS DE CRECIMIENTO	14
FISIOLOGÍA DEL CULTIVO	15
2. PROPAGACIÓN DE TOMATE	17
INTRODUCCIÓN	17
CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL	18
ESTRUCTURAS, MEDIOS DE PROPAGACIÓN Y PRÁCTICAS DE MANEJO	19
ETAPAS EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS	20
PRÁCTICAS DE MANEJO	21
NORMAS DE CALIDAD DE PLÁNTULAS	22
INJERTACIÓN DE TOMATE	22
3. MANEJO DEL CULTIVO	25
ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO	25
CICLO DE CULTIVO	29
RENOVACIÓN DEL CULTIVO	30
CONTROL DE MALEZAS	30
4. RIEGO Y FERTILIZACIÓN	35
RIEGO	35
FERTILIZACIÓN	37
5. MANEJO DE TOMATE HIDROPÓNICO	55
INTRODUCCIÓN	55
COMPONENTES DEL SISTEMA HIDROPÓNICO	56
SISTEMAS HIDROPÓNICOS: DISEÑO E INFRAESTRUCTURA	59
MANEJO DE SISTEMAS HIDROPÓNICOS	61
6. ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO Y MANEJO DEL CLIMA	65
FACTORES CLIMÁTICOS	66
INTERACCIÓN CLIMA-PLANTA	72
DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANEJO DEL INVERNADERO PARA TOMATE	73
DESÓRDENES FISIOLÓGICOS Y CONDICIONES DE ESTRÉS	79

7. MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES	85
INTRODUCCIÓN	85
MONITOREO: BASE PARA LA TOMA DE DECISIONES	86
CONTROL CULTURAL Y FÍSICO: UNA OPCIÓN EFICIENTE Y DE BAJO COSTO	87
MANEJO CON ENEMIGOS NATURALES Y OTROS AGENTES BIOLÓGICOS	89
CONTROL QUÍMICO	90
LAS PRINCIPALES PLAGAS DEL TOMATE Y SU CONTROL	91
LAS ENFERMEDADES DEL TOMATE Y SU CONTROL	101
ENFERMEDADES POR HONGOS	102
MANEJO DE PATÓGENOS VEGETALES EN AGUAS DE RIEGO	114
8. COSECHA Y POSCOSECHA	119
CONDICIONES QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL FRUTO	120
9. COMERCIALIZACIÓN	127
EL PRODUCTO	127
EL ENTORNO COMPETITIVO DE LA PRODUCCIÓN DEL TOMATE EN COLOMBIA	132
10. ANÁLISIS ECONÓMICO	135
ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA DE COSTOS DE PRODUCCIÓN	136
EVALUACIÓN FINANCIERA	137
GUÍA PARA EL MANEJO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN EN TOMATE	137
11. BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS	145
QUÉ SON BUENAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS	145
ESTRUCTURA DE LAS GUÍAS Y PROTOCOLOS BPA	146
CÓMO IMPLEMENTAR BPA EN LA PRODUCCIÓN DE TOMATE BAJO INVERNADERO	149
ANEXO 1	154
LISTADO DE ALGUNOS HÍBRIDOS DE TOMATE INDETERMINADO DISPONIBLES PARA CULTIVO BAJO INVERNADERO	154
ANEXO 2	155
PRODUCTOS RECOMENDADOS PARA EL CONTROL QUÍMICO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN TOMATE	155
ANEXO 3	164
VIRUS MÁS IMPORTANTES DEL TOMATE	164

Lista de tablas

Tabla 1.	Niveles óptimos de fertilización en el sustrato para producción de plántulas de tomate.	21
Tabla 2.	Guía para estimar las necesidades de agua para el cultivo de tomate bajo invernadero.	36
Tabla 3.	Elementos esenciales para las plantas.	38
Tabla 4.	Contenido óptimo de nutrientes en tejido foliar.	41
Tabla 5.	Calificación del pH del suelo (determinado en agua 1:1).	42
Tabla 6.	Necesidades medias de cal (toneladas de carbonato de calcio -CaCO ₃ por Ha) para elevar el pH de los suelos ácidos.	42
Tabla 7.	Niveles óptimos de elementos en el suelo para tomate bajo invernadero.	43
Tabla 8.	Cantidad total de nutrientes absorbidos por el tomate (kg por tonelada cosechada).	44
Tabla 9.	Solución nutritiva estándar para tomate en suelo bajo invernadero.	44
Tabla 10.	Contenido nutricional de materiales orgánicos utilizados comúnmente.	47
Tabla 11.	Compuestos que pueden servir de complemento en las fórmulas de fertilización orgánica.	48
Tabla 12.	Características físicas de la cascarilla de arroz quemada.	62
Tabla 13.	Solución estándar para la producción de tomate hidropónico bajo invernadero.	62
Tabla 14.	Escala de clasificación para la firmeza de frutos de tomate.	121
Tabla 15.	Especificaciones técnicas para la producción de 2.000 m ² de tomate bajo invernadero.	138
Tabla 16.	Principales inversiones para la producción de tomate bajo invernadero.	138
Tabla 17.	Principales costos fijos para la producción de tomate bajo invernadero.	140
Tabla 18.	Principales costos variables para la producción de tomate bajo invernadero.	140
Tabla 19.	Costos totales de producción para un ciclo de tomate en invernadero.	140
Tabla 20.	Cálculo de ingresos en la producción de tomate en invernadero.	141
Tabla 21.	Balance del estudio económico de la producción de tomate en invernadero.	142

Lista de figuras

- Figura 1.** Comportamiento del contenido de nitrógeno (ppm) en el suelo durante dos ciclos consecutivos de producción de tomate, en un invernadero de vidrio (izq.) y uno de plástico (der). 40
- Figura 2.** Resultados de análisis del sustrato (elementos mayores) durante un ciclo de cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero. Método volumétrico. 63
- Figura 3.** Tasa de aparición de racimos, expresada como los días entre racimos consecutivos en función de la temperatura (A) y tasa de desarrollo de frutos, como número de días entre floración y madurez en función de la temperatura promedio del aire (B). 67
- Figura 4.** Comparación de la concentración promedio de CO₂ entre el exterior y dos tipos de invernaderos en la Sabana de Bogotá cultivados con tomate. (A) Invernadero de vidrio con sistema de control activo de clima mediante ventilación cenital y (B) Invernadero plástico con apertura fija en la cumbre y ventilaciones laterales mediante cortinas. 71
- Figura 5.** Invernadero de diseño tradicional con cercha. 75
- Figura 6.** Diseño de la cercha y la carevaca en un invernadero de diseño tradicional. 77
- Figura 7.** Esquema de operaciones poscosecha del tomate. 123
- Figura 8.** Correlación de precios entre el tomate chonto y el tomate milano en el mercado colombiano. 131

Presentación

Desde el año 1991, el Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales –CIAA– de la Universidad Jorge Tadeo Lozano ha desarrollado una trayectoria de investigación aplicada muy importante para el país. Dispendioso sería referirnos exhaustivamente a este Centro, pero vale la pena mencionar al menos el Programa de Agricultura Sostenible con su marca EUROFRESH.

EUROFRESH es un sistema de producción y comercialización de productos hortofrutícolas que sigue modelos de otras latitudes. Desde que se inicia la producción, se aplica la mayor tecnología disponible con el fin de garantizar las mejores condiciones para el adecuado desarrollo agronómico y el manejo de poscosecha. El ciclo se cierra con una comercialización técnica e inteligente que elimina intermediarios y especuladores y que, dentro de lo posible, le implica una mayor rentabilidad al empresario agropecuario.

Con relación específica al cultivo de tomate, tradicionalmente éste en Colombia se lleva a cabo a libre exposición y en agroecosistemas localizados entre 0 y 2.000 msnm, destacándose las regiones llamadas de “clima medio” (entre 1.000 y 2.000 msnm) en donde la temperatura promedio varía entre 18 y 24 °C, lo cual es favorable para su desarrollo. Sin embargo, cada día el cultivo de tomate se hace más bajo invernadero (se estima que en la actualidad existen más de 500 hectáreas en nuestro país), con el fin de aislar factores climáticos adversos y ejercer un mayor control sobre todo el proceso de producción. Es así como se logra, en una primera instancia, mantener el cultivo al abrigo de la lluvia, con lo que se disminuye la incidencia de enfermedades; se consigue una permanente fertilidad del suelo que redundará en aumentos de productividad; y se logra una mejor programación en la cosecha, calidad del producto y mayor continuidad en la producción.

Con el apoyo inicial de COLCIENCIAS, la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano ha emprendido diferentes investigaciones en el cultivo de tomate bajo invernadero. Como resultado del proyecto de innovación tecnológica denominado “Desarrollo de la producción y el mercado de la lechuga, el tomate y la zanahoria dentro del programa EUROFRESH” se demostró que con este sistema de producción no solamente es posible producir con altísima calidad, sino también obtener un ingreso productivo y rentable para el empresario que logre hacerlo a satisfacción.

Desde el año 2001 cuando se lanzó la primera edición de este manual técnico para la producción de tomate bajo invernadero, la dinámica del cultivo bajo estas condiciones de producción ha ido cambiando en Colombia y se ha generado un incremento del área de producción y mayor innovación tecnológica.

Es por ello que nos complace presentar al sector productivo y académico una nueva edición revisada y actualizada del libro *Producción de tomate bajo invernadero*, en la cual se reportan nuevos resultados de actividades de investigación realizadas en el CIAA y recientes temas de actualidad como la producción hidropónica de tomate y las buenas prácticas agrícolas.

Esperamos que esta nueva publicación siga siendo un referente para la producción de tomate bajo invernadero en Colombia, razón suficiente para mantener nuestro interés en seguir trabajando en el desarrollo de la horticultura colombiana.

José Fernando Isaza Delgado
Rector, Universidad Jorge Tadeo Lozano

Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es la hortaliza de mayor importancia a nivel nacional e internacional, debido a su amplio consumo, al área cosechada y al valor económico de la producción. Durante los últimos años, esta hortaliza ha incrementado su producción anual principalmente por el aumento en el rendimiento y en menor proporción por el incremento de la superficie cultivada. Además de la importancia económica y social del tomate en los sistemas de producción del mundo, esta hortaliza tiene cada vez mayor relevancia nutricional en los tiempos modernos porque es una fuente extraordinaria de sustancias antioxidantes (licopeno, betacaroteno) y vitaminas (C y A).

Según el Plan Hortícola Nacional, el país cosecha anualmente 242.000 toneladas de tomate en un área de 8.700 Ha; la productividad fluctúa entre 18 a 58 T/Ha, rango que indica una variedad de sistemas de producción, desde los muy tradicionales hasta los que ya incorporan tecnologías que contribuyen a producciones bajo condiciones semicontroladas. Lo anterior indica que en esta hortaliza, como en la mayoría de cultivos agrícolas de Colombia, existe en la estructura productiva la coexistencia de productores, productos y cadenas productivas con diversos tamaños, formas de propiedad, niveles de organización y grados de modernización tecnológica. Por tanto, persiste una estructura dual de producción caracterizada por un subsector agroempresarial en vías de modernización y con acceso a los instrumentos de política, y un subsector de pequeños productores que tiene enormes dificultades para acceder a factores productivos como la tierra, el crédito y la tecnología.

Desde 1997, el CIAA ha sido pionero en el desarrollo de sistemas de producción de tomate bajo invernadero, generando y adaptando tecnologías apropiadas para la producción en condiciones del trópico que han sido validadas con los productores a través de diferentes proyectos de investigación y acorde con los nuevos cambios en las tendencias de los consumidores, quienes buscan productos más uniformes, de mejor calidad y más inocuos. Estos sistemas de producción consideran desde la selección de variedades teniendo en consideración el clima, la resistencia a problemas fitosanitarios y los gustos del mercado, pasando por un manejo técnico fundamentado en la producción limpia, hasta la comercialización del producto final basada en un riguroso control de calidad.

Con este manual, el CIAA pretende transmitirle al agricultor enseñanzas prácticas de manejo del cultivo, para que de manera conjunta con sus conocimientos empíricos desarrolle mayor conciencia de la importancia de realizarlas debida y oportunamente y así obtener mayores éxitos en su cultivo.

La mayoría de recomendaciones para el control fitosanitario del cultivo descritas en este manual están enfocadas dentro del manejo integrado de plagas con énfasis en el control biológico y todas aquellas acciones destinadas a evitar o mantener bajos niveles de las plagas y enfermedades buscando prescindir o disminuir al máximo el uso del control químico.

Es así como en todos los cultivos agrícolas alimenticios, especialmente en el tomate, es totalmente pertinente, urgente y necesario que además de que la investigación continúe produciendo esquemas que contribuyan a incrementar la productividad y rentabilidad de éstos, propicie trayectorias tecnológicas que se ocupen de la inocuidad del producto, para lo cual se requiere la implementación de innovaciones en las llamadas "Buenas Prácticas Agrícolas" que aseguren alimentos inocuos y sanos.





1 Generalidades del cultivo

Hugo Escobar

Descripción botánica

Actualmente existe una controversia sobre el nombre científico que le corresponde al tomate. Desde el año 1881, Philip Millar lo ubicó en el género *Lycopersicon* y lo denominó *Lycopersicon esculentum*, que ha sido el nombre más ampliamente usado desde entonces. Sin embargo, en 1753 Carlos Linneo, científico, naturalista y botánico – quien sentó las bases de la taxonomía moderna –, ya había colocado el tomate en el género *Solanum* asignándole el nombre científico de *Solanum lycopersicum* L.

Hoy en día, la evidencia genética (e.g., Peralta & Spooner, 2001) muestra que Linneo estaba en lo correcto al ubicar el tomate en el género *Solanum*. Esto ha aumentado la controversia y se espera que por algún tiempo, mientras se determina el genoma del tomate, ambos nombres se sigan encontrando en la literatura.

Por lo tanto, para propósitos de esta publicación utilizaremos el nombre *Solanum lycopersicum* L. para referirnos al tomate.

El tomate es una especie originaria de América, al parecer de las regiones montañosas de Perú, Ecuador y Chile. Es una planta herbácea, de tallo semileñoso, cuyo sistema radicular está compuesto por una raíz principal de corta extensión ramificada en numerosas raíces secundarias. En la parte superior, al nivel del suelo, se desarrollan raíces adventicias que ayudan a mejorar el anclaje de la planta al sustrato. La raíz está compuesta por una epidermis o parte externa en donde se encuentran pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes. En el interior se localizan el córtex y el cilindro central conformado por el xilema, que es el tejido responsable del transporte de los nutrientes desde la raíz hacia las hojas y otros órganos de la planta.

El tallo, al igual que en muchas plantas superiores, es una continuación de la raíz. Generalmente mide entre 2 y 4 centímetros en la base de la planta y es más delgado en la parte superior donde se están formando nuevas hojas y racimos florales. El tallo también está conformado por epidermis, que contiene pelos glandulares, corteza, cilindro vascular (xilema) y tejido medular.

Las hojas del tomate son imparapinadas, compuestas por folíolos alternos e impares que terminan en un folíolo individual en su parte apical. El número de hojas por tallo y la frecuencia de aparición de hojas están determinados principalmente por el tipo de hábito de crecimiento de la planta y por la temperatura. Por ejemplo, en plantas con hábito de crecimiento determinado, las hojas se forman a una tasa de 2 ½ por semana, a una temperatura promedio de 23 °C.

La flor del tomate es perfecta, con órganos femeninos y masculinos funcionales. En cada inflorescencia o racimo se forman varias flores y una sola planta de crecimiento indeterminado puede producir 20 o más inflorescencias sucesivas durante un ciclo de cultivo, bajo condiciones de invernadero. La formación de racimos florales ocurre más o menos cada semana y media.

El fruto del tomate está constituido por un 94-95% de agua. El restante 5-6% es una mezcla compleja en la que predominan los constituyentes orgánicos, los cuales dan al fruto su sabor característico y su textura. El fruto tarda de 60 a 70 días desde la antesis (cuajamiento) hasta el momento de la cosecha.

Hábitos de crecimiento

La planta de tomate inicia su crecimiento a partir de un tallo principal, formando entre 5 y 10 hojas antes de producir el primer racimo floral. Luego, comienzan a diferenciarse dos hábitos de crecimiento de la planta: el crecimiento indeterminado y el crecimiento determinado. En plantas de crecimiento indeterminado, se forma en la axila de la hoja más joven (la que está inmediatamente por debajo del racimo floral más reciente) una yema vegetativa que continúa el crecimiento y desplaza esta hoja a una posición por encima del racimo floral más reciente y sigue su crecimiento formando tres o cuatro hojas y luego un nuevo racimo floral. A partir de ahí el proceso se vuelve repetitivo, pues debajo de la nueva inflorescencia surge una yema que desarrolla nuevamente 3 o 4 hojas y un nuevo racimo floral y así sucesivamente se repite esta secuencia de crecimiento hasta que las condiciones sean favorables. De esta forma, las plantas de crecimiento indeterminado pueden crecer indefinidamente alcanzando longitudes mayores a 5 metros. Generalmente requieren sistemas de soporte o "tutorado" para mantenerse erectas. La producción de frutos se maneja a lo largo de toda la planta y para evitar la proliferación de nuevos tallos, deben podarse continuamente los nuevos brotes axilares.

En las plantas de crecimiento determinado, hay una fuerte brotación de yemas axilares y se producen menor número de hojas (una o dos) entre los racimos florales. Se caracterizan por alcanzar una longitud máxima de dos metros y desarrollar una inflorescencia por cada hoja. En estas plantas la producción se maneja dejando varios tallos que se desarrollan simultáneamente. La mayoría de las variedades para tomate de procesamiento o industria tienen hábito de crecimiento determinado ya que su corta estatura facilita los procesos de cosecha mecanizada.

Por lo general, las variedades de crecimiento determinado comienzan la producción unos días antes que las plantas de crecimiento indeterminado, pero la duración del período de cosecha es más corto. En condiciones de cultivo bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, una planta de crecimiento indeterminado comienza la producción entre 3 y 3 ½ meses después del trasplante y el ciclo de cosecha puede durar en promedio cuatro meses.

Fisiología del cultivo

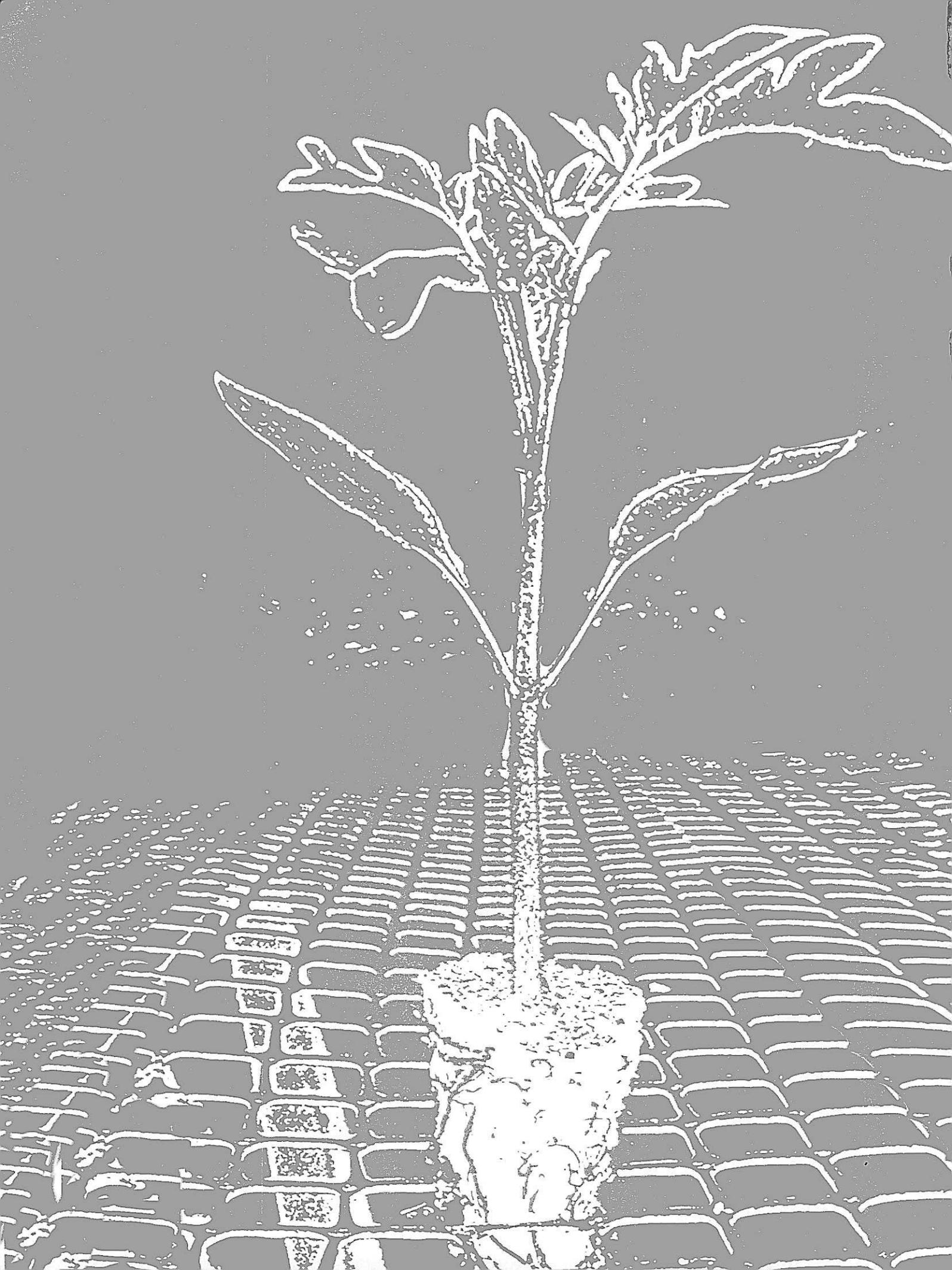
En términos sencillos, la fisiología es la forma como la planta de tomate funciona como respuesta a los factores ambientales y de manejo del cultivo. Por ejemplo, cuando se cultiva el tomate en invernadero el funcionamiento (crecimiento, formación de racimos florales, desarrollo de frutos, entre otros) es diferente al del cultivo a campo abierto, por efecto de las diferencias en la temperatura. De la misma manera, las prácticas de manejo como fertilización o podas hacen que la planta funcione de una u otra forma. Entender un poco la fisiología de la planta de tomate nos ayuda a comprender cómo las prácticas de manejo del cultivo inciden en su productividad.

La fisiología del cultivo depende de cada etapa de desarrollo (etapas fenológicas). La primera etapa de desarrollo –conocida como desarrollo vegetativo– se produce

desde la germinación y emergencia de la plántula hasta la aparición del primer racimo floral. En general, el primer racimo floral surge después de la formación de 5 a 10 hojas, cuando la planta tiene una altura mayor a 40 cm. En la segunda etapa de desarrollo se presenta un crecimiento simultáneo entre crecimiento vegetativo y reproductivo con la aparición de nuevas hojas y racimos florales a partir de los cuales se van formando progresivamente los frutos. Posteriormente, se inicia la etapa de producción en la cual los primeros frutos en desarrollarse comienzan su madurez y cosecha. En esta etapa, al tiempo en que se cosechan los frutos, la planta sigue desarrollando hojas y nuevos racimos florales. Finalmente se llega al estado de desarrollo en el cual, debido a factores asociados al tipo de hábito de crecimiento o a las prácticas de manejo, se detiene de forma natural o inducida el crecimiento de la planta y solamente se mantiene el desarrollo de los frutos que ya se han formado.

Bibliografía

- BALL, V. (ed.). 1998. *Ball Redbook*. Illinois: Ball Publishing.
- NUEZ, F. 1995. *Manejo del cultivo intensivo con suelo. En: el cultivo del tomate*. Madrid: Mundiprensa.
- RODRÍGUEZ, R., J.M. TABARES y J.A. MEDINA. 1996. *Cultivo moderno del tomate*. Madrid: Mundiprensa.
- STYER, R. y D. KORANSKI. 1997. *Plug and Transplant Production*. Illinois: Ball Publishing.



Propagación de tomate **2**

Sandra Pulido y Hugo Escobar

Introducción

La producción de plántulas es una de las primeras etapas en la producción de tomate bajo invernadero. Dicha etapa incluye la selección y propagación del material vegetal. Actualmente, los materiales más utilizados para cultivo bajo cubierta son híbridos de crecimiento indeterminado con alto potencial productivo. Los frutos son de larga vida poscosecha y de tamaño, forma y maduración uniformes.

Una buena plántula para trasplante debe ser vigorosa, verde, libre de plagas y enfermedades, y con buen desarrollo radicular. Una vez trasplantada, debe tolerar los cambios ambientales y de manejo para lograr un óptimo desarrollo (Vavrina C., 2002).

En la actualidad, la producción de plántulas es una actividad especializada que incluye el uso de estructuras sólidas capaces de proteger el valor del material vegetal, sistemas de fertirrigación, uso de contenedores (bandejas de propagación) y sustratos especiales para la siembra de las semillas. Según el tamaño de la explotación, se hace necesario el uso de nuevos equipos y desarrollos tecnológicos aplicados a la propagación de plantas, como máquinas para el llenado de bandejas y sembradoras neumáticas, entre otros.

Con los nuevos requerimientos de calidad, los semilleros deben aplicar protocolos de buenas prácticas agrícolas (ver capítulo 11).

Criterios de selección del material vegetal

El tomate es una especie que no responde al fotoperíodo (número de horas de luz en el día). Por tanto, los diferentes materiales disponibles pueden ser sembrados en Colombia. Sin embargo, al seleccionar una variedad o híbrido de tomate se deben considerar las siguientes características:

El hábito de crecimiento

Principalmente existen dos tipos de hábito de crecimiento para el tomate; el indeterminado y el determinado (ver capítulo 1). Es importante identificar el hábito de crecimiento para el tipo de tomate que se quiere sembrar, ya que de éste y de las características del invernadero se pueden generar variaciones en aspectos relacionados con el establecimiento y manejo del cultivo. A su vez, en las variedades de crecimiento indeterminado se presentan dos formas de crecimiento y desarrollo de las plantas. Por una parte, están las plantas de crecimiento abierto que son en general más precoces, con entrenudos largos, hojas pequeñas y frutos de tamaño medio. Estas variedades se adaptan muy bien en invernaderos que tienen una estructura alta para el tutorado de las plantas y principalmente en los casos en que el invernadero tiene problemas de ventilación, puesto que su menor densidad de hojas facilita esta función. Por otra parte, están las variedades de crecimiento compacto que se caracterizan por tener entrenudos cortos, con crecimiento vegetativo excesivo y frutos grandes.

El calibre y la forma del fruto

El calibre hace referencia al diámetro ecuatorial del fruto. En términos generales y según el calibre del fruto, los tomates pueden clasificarse como grandes, cuando su calibre es mayor a 82 mm, medianos, con calibre entre 57 y 81 mm, y pequeños, los de calibre inferior a 56 mm. En cuanto a la forma, los frutos de tomate pueden ser generalmente globulares, redondos o achatados. Estas características determinan en

gran medida el mercado y tipo de empaque para la comercialización; por ejemplo, para la presentación en bandejas se requieren frutos achatados y de tamaño mediano.

La forma de maduración

Básicamente existen tres formas de maduración de frutos: maduración estándar, cuando los frutos cambian de color al mismo tiempo en toda su superficie; hombros verdes, cuando durante la maduración los hombros permanecen con un color verde oscuro; y hombros ligeramente verdes.

La vida poscosecha

La duración o vida poscosecha del fruto es un aspecto de máxima importancia en la elección del material a cultivar. En el mercado existe una amplia oferta de materiales que poseen la característica de larga duración mediante la incorporación de genes que retardan la maduración y confieren mayor resistencia a la corteza.

La resistencia genética a enfermedades y desordenes fisiológicos

Es un factor muy importante en el momento de seleccionar un material. En la ficha técnica de los diferentes materiales (variedades o híbridos), se especifican las resistencias y/o tolerancias que presenta cada uno.

Las principales resistencias que se ofrecen en una variedad de tomate son las siguientes:

TMV = virus del mosaico del tabaco

TYLCV = virus de la cuchara del tomate

ToMV = virus del mosaico del tomate

TSWV = virus del bronceado del tomate

C2 = *Cladosporium fulvum*, razas A y B

C5 = *Cladosporium fulvum*, razas A, B, C, D, y E

V = *Verticillium*

F2 = *Fusarium oxysporum f. lycopersici* razas 1 y 2

Fr = *Fusarium oxysporum f. radicum lycopersici*

N = nematodos

P_{ST} = *Ralstonia*

S = *Stemphylium*

Entre los desórdenes fisiológicos a tener en cuenta durante la selección de un material están: el rajado de fruto, las bajas temperaturas y la maduración desuniforme del fruto conocida como *blotching*.

También existen variedades o híbridos resistentes o tolerantes a condiciones ambientales como la sequía, la salinidad, el calor o el frío.

En el anexo 1 se reportan algunos híbridos de tomate disponibles en el país para producción bajo invernadero.

Estructuras, medios de propagación y prácticas de manejo

Infraestructura

Un semillero es un lugar destinado a la producción en forma controlada de plántulas de buena calidad antes del trasplante definitivo. El sitio seleccionado para su establecimiento debe ser de fácil drenaje y ventilación. La orientación y localización debe garantizar buena luminosidad, facilidad de acceso y realización de las prácticas de manejo (ver capítulo 6).

Las instalaciones necesarias para la propagación de las plantas son el invernadero, los bancos de enraizamiento y el sistema de fertiriego. El *invernadero* es una estructura de metal o madera cubierta con un material transparente, comúnmente polietileno. Su función debe ser: a) mejorar las condiciones ambientales para favorecer la germinación de manera que el sustrato seleccionado y su grado de humedad se mantengan constantes; b) protección de agentes climatológicos adversos como viento y lluvia; c) protección fitosanitaria preventiva, aislando las plántulas de focos de contaminación externa. Los *bancos de enraizamiento* o *camas* son las estructuras utilizadas para ubicar las bandejas con plántulas con el fin de aislar las plantas del suelo, promover la poda natural de raíces y facilitar las labores (Navarro, 1999 y Hartmann *et al.*, 1997).

Finalmente, el *sistema de riego y/o fertiriego*, como su nombre lo indica, es el equipo utilizado para el riego y la nutrición de las plantas. Para un riego eficaz, se debe disponer de un suministro suficiente de agua de buena calidad agrícola, libre de fitopatógenos y sin exceso de sales. El sistema empleado debe garantizar facilidad para regular la frecuencia, cantidad y homogeneidad de los riegos, y también asegurar que el tamaño de gota y presión de aplicación no afecten el normal desarrollo de las plántulas. Los sistemas de riego varían desde medios manuales como regaderas y mangueras hasta sistemas automatizados de nebulización.

Sustratos y contenedores

El *sustrato* es el medio de cultivo en donde se desarrolla el sistema radicular de la plántula. El sustrato empleado para la siembra de tomate debe poseer ciertas características que permitan un adecuado desarrollo de la plántula. Algunas de esas características son:

- Servir de soporte a la planta; debe ser liviano (densidad aparente < 0,2 g/cm³) y con alto porcentaje de espacio poroso (> 80%).
- Proporcionar una elevada capacidad de retención de agua disponible.
- Tener buen drenaje y aireación.
- Presentar baja tendencia a la compactación.
- Estar libre de patógenos, semillas y nematodos.

Existen varios sustratos adecuados para la producción de plántulas de hortalizas en bandejas de propagación. Comercialmente, hoy en día están disponibles las mezclas sin suelo que generalmente contienen turba, fibra de coco, perlita, vermiculita, nutrientes y agentes humectantes. Las mezclas sin suelo se seleccionan por: a) el suministro y homogeneidad. El material elegido debe ser uniforme y fácilmente disponible; b) las propiedades físicas, químicas y biológicas deben garantizar un óptimo desarrollo de la planta; c) la experiencia, no todos los sustratos requieren el mismo manejo, se recomiendan evaluaciones previas antes de utilizar nuevos sustratos o mezclas. d) El

costo, aunque es importante, no debe comprometer la calidad de la plántula (Berjón *et al.*, 1999).

Entre los principales sustratos para la producción de plántulas se encuentran la turba y la fibra de coco. Las *turbas* son principalmente vegetales fosilizados, constituidos de restos de musgos y otras plantas descompuestos parcialmente. Según el grado de descomposición, se clasifican en turbas rubias y negras. Las turbas rubias corresponden a las menos descompuestas y ampliamente utilizadas como sustrato, pues conservan parte de su estructura y poseen excelentes propiedades físicas y químicas. Las turbas negras se encuentran a mayor profundidad y su grado de descomposición es mayor al de la turba rubia. Debido a su estructura, tienen una aireación deficiente y elevados contenidos de sales solubles.

La turba es acondicionada física y químicamente mediante la adición de otros materiales que mejoran la porosidad, la acidez y los niveles nutricionales. Por lo general, la turba preparada comercialmente tiene un pH entre 5,5 y 6,5 y una conductividad eléctrica que va desde 0,7 hasta 1,1 dS·cm⁻¹. Comercialmente, la turba viene empacada en pacas o fardos de 107 a 300 litros comprimidos o en bolsas de 80 litros sin comprimir. Aunque es un sustrato costoso, la turba posee muy buenas propiedades físicas como baja densidad aparente (0,05 a 0,15 g·ml⁻¹), alto porcentaje de espacio poroso y alta capacidad de retención de agua.

Por su homogeneidad y disponibilidad, se destaca la fibra de coco como alternativa al uso de la turba. Es un subproducto del procesamiento del mesocarpo fibroso del fruto, con una elevada capacidad de aireación, pH óptimo y adecuados niveles de aportes de nutrientes, especialmente fósforo y potasio (Berjón *et al.*, 1999). La presentación comercial de la fibra de coco es similar a la de la turba.

En la producción comercial de plántulas se requiere el uso de *contenedores*, que permiten que cada semilla se siembre en un recipiente y que al extraer la plántula se mantenga intacto el sistema radicular, facilitando su transporte y trasplante. Los contenedores generalmente son bandejas plásticas con numerosas celdas de pequeñas dimensiones y volumen que varía entre 9 y 25 centímetros cúbicos. Para tomate se recomienda utilizar bandejas con un volumen por celda mayor a 18 centímetros cúbicos.

Diversas investigaciones demuestran que el tamaño del contenedor es determinante de la calidad de la plántula. Cuanto mayor sea el tamaño del contenedor, aumentan el área foliar, la biomasa y el volumen de raíz (Cantliffe, 1993). El crecimiento de raíces y brotes vegetativos es interdependiente y puede afectarse cuando el sistema radicular está restringido a volúmenes pequeños de enraizamiento; así mismo, plantas con buen desarrollo radicular toleran mejor el trasplante (NeSmith y Duval, 1998).

Etapas en la producción de plántulas

La producción de material de propagación es una actividad especializada que requiere del equipamiento e infraestructura adecuados para el establecimiento y desarrollo normal del material de propagación. Cada una de las etapas del proceso de producción debe ser debidamente planeada y ejecutada, ajustándose a los requerimientos técnicos establecidos para la producción de plántulas de tomate con adecuados estándares de calidad.

Preparación del sustrato

Comprende la selección, preparación del sustrato y llenado de contenedores. En esta etapa se deben determinar los niveles de nutrientes, el pH y la concentración de sales del sustrato, expresada mediante conductividad eléctrica (CE), para así hacer las correcciones pertinentes. El pH debe oscilar entre 5,0 y 6,5. El nivel de sales varía dependiendo de las cantidades de fertilizantes en la mezcla. Es aceptable una conductividad eléctrica de 1,0 a 2,0 dS·m⁻¹. En la preparación, el sustrato se debe desmenuzar muy bien y garantizar un humedecimiento homogéneo. Para el llenado de los contenedores se recomienda llenar por completo las celdas y evitar la compactación del sustrato.

Siembra y germinación

La semilla de tomate es plana y de forma lenticular. En general, un gramo de semillas contiene de 250 a 350 semillas, según la variedad. Debido a los costos que implican las nuevas tecnologías de producción de plántulas, se requieren semillas de alta calidad que garanticen rápida germinación, buena uniformidad y plantas vigorosas. La utiliza-

ción de bandejas de propagación presenta ventajas como el uso más eficiente de la semilla, debido a que se siembra una semilla por celda; la facilidad para movilizar las plántulas de un lugar a otro; la economía en el uso del sustrato y el poco daño al sistema radicular.

La semilla debe sembrarse a una profundidad de entre 5 y 10 milímetros y cubrirse con el mismo sustrato en que fue sembrada para asegurar que se mantenga húmeda. La germinación de la semilla es un paso crítico durante el proceso de producción de la plántula. La semilla de tomate requiere de buena aireación para germinar, por lo que es necesario evitar la saturación del sustrato con agua. La temperatura óptima para la germinación está entre 23 y 25 °C. El tiempo necesario para la germinación varía según la variedad y el lote de semillas, pero en general la germinación y emergencia de las plantas se produce entre los 3 y 6 días después de la siembra.

Desarrollo de la plántula

Comprende el tiempo que tarda la planta desde la siembra y germinación hasta que se alcanza el desarrollo foliar adecuado para su trasplante.

Prácticas de manejo

La calidad del material de propagación es un factor decisivo para un adecuado establecimiento del cultivo. Esta calidad, a su vez, es una respuesta a las prácticas de manejo durante el desarrollo de la plántula. Las principales prácticas de manejo durante la fase de propagación del tomate son las siguientes:

Nutrición y riego

El riego y el programa de fertilización tienen un efecto fundamental en el crecimiento de la plántula. Es aconsejable hacer un análisis completo del agua de riego. La cantidad y frecuencia de riego varían dependiendo del volumen de la celda, el sustrato, la ventilación del invernadero y las condiciones del clima. Una recomendación general es regar las bandejas todos los días mediante riego por aspersión o, en su defecto, con una regadera de poma fina para evitar destapar las semillas. Los riegos deben hacerse 2 o 3 veces al día, según las condiciones climáticas y el crecimiento de la planta, asegurándose de que cada celda quede completamente húmeda para promover el crecimiento de raíces en la parte inferior de la celda.

La nutrición de las plántulas se hace a través de soluciones nutritivas aplicadas frecuentemente. La concentración de la solución nutritiva está dada por la cantidad de elementos nutritivos que contenga. Esta concentración se expresa en unidades denominadas partes por millón (ppm) o mmol/l. El incremento moderado en la concentración da como resultado un incremento en la altura, el diámetro del tallo y el peso de la planta, mientras que concentraciones muy elevadas pueden ocasionar plantas altas y débiles con pobre calidad.

Los valores óptimos de pH y conductividad eléctrica (CE) varían según el estado de desarrollo de la plántula y se interpretan de acuerdo con la metodología utilizada para su determinación. El ajuste de la fertilización se debe hacer con base en un análisis físico y químico del material que se va a utilizar como sustrato de siembra. En la tabla 1 se indican los niveles nutricionales adecuados para el sustrato usado para la producción de plántulas de tomate (Alarcón y Egea, 1999).

Tabla 1. Niveles óptimos de fertilización en el sustrato para producción de plántulas de tomate.

ppm (mg·l ⁻¹)												
pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo
5,8-6,5	100-120	20-30	150-180	60-100	30-60	80-120	3,5	2,3	0,7	2,5	0,4	0,2

Método: en extracto de saturación (SME).

Por lo general, los niveles de calcio y magnesio se alcanzan a través de la incorporación de la cal dolomítica que se utiliza para elevar el pH del sustrato. La incorporación de los demás elementos nutritivos se puede hacer de dos formas: incorporando los fertilizantes en presiembra durante la preparación del sustrato, o después de la siembra mediante un plan de fertirrigación. Como fuente de fertilización para los elementos mayores, se aconseja el uso de fertilizantes que permitan una rápida disponibilidad de los elementos nutritivos. Estos fertilizantes pueden ser a partir de fuentes simples como el nitrato de calcio, el nitrato de potasio, el sulfato de potasio, el fosfato monoamónico y el sulfato de magnesio, complementados con una solución de micronutrientes que contenga cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), zinc (Zn) y hierro (Fe). También pueden usarse fertilizantes compuestos de alta solubilidad que incorporan al mismo tiempo elementos mayores y menores.

Manejo y prevención de enfermedades en el semillero

La mejor forma de controlar las enfermedades de las plántulas es a través de medidas sanitarias preventivas y un adecuado manejo de las condiciones ambientales dentro del invernadero. Entre las prácticas más recomendadas para prevenir enfermedades se cuentan:

Controlar las malezas dentro y en los alrededores del invernadero.

Desinfectar las bandejas de siembra cuando éstas son reutilizadas.

Ventilar el invernadero promoviendo la circulación de aire alrededor de las plántulas.

No excederse en el riego y utilizar sustrato de buena calidad.

Normas de calidad de plántulas

Una plántula de tomate tiene las condiciones apropiadas para su trasplante (foto 1) cuando cumple con las siguientes condiciones:

- La altura está entre los 10 a 15 cm y tiene como mínimo cuatro hojas verdaderas formadas y existe buena uniformidad entre plántulas en la bandeja de propagación.
- Las hojas están bien desarrolladas, son de color verde, erectas y sin entorchamientos.
- La coloración es ligeramente púrpura en la base del tallo y en el envés de las hojas. Los cotiledones están completamente sanos.
- Las raíces son blancas y delgadas, y llenan todo el contenedor desde arriba hasta abajo. Las raíces con un color marrón y que no se extienden hacia la parte inferior del contenedor, son síntoma de que han estado creciendo bajo un estrés de humedad, lo cual puede retardar el enraizamiento en el campo.
- No presentar síntomas de deficiencias nutricionales, estar turgentes y libres de enfermedades y plagas.

Injertación de tomate

El *injerto* es la unión de dos porciones de tejido vegetal vivo, de tal manera que se unen y se desarrollan como una sola planta (Hartmann *et al.*, 1997). El tomate es una de las hortalizas en la cual esta práctica es ampliamente utilizada; para el año 2000, en Japón se injertaba hasta el 48% del tomate producido bajo invernadero (Lee, 2003).

La injertación en tomate facilita el manejo y control de enfermedades, utilizando patrones con cierta resistencia a enfermedades que se desarrollan en el suelo, lo que permite mantener plantas sanas y vigorosas durante más tiempo; además, aumenta la producción del cultivo. Por otro lado, se registran incrementos en la producción y calidad mediante el uso de patrones tolerantes a condiciones de estrés, como la salinidad. Las principales limitaciones del uso de injertos en la producción de tomate son el costo adicional del patrón y la mano de obra requerida. En nuestro país, se están adelantando los primeros avances en la implementación de esta técnica, junto con la labor de las empresas importadoras de semillas en la introducción de patrones con potencial de uso en Colombia.

BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN A. y C. EGEA 1999. Fertirrigación en plántulas y semilleros. En *Plántulas, semilleros, viveros*. Barcelona: Ediciones de horticultura.
- BERJÓN, M.A., P. NOGUERA, V. NOGUERA y L. SEGURA. 1999. «Los sustratos para el semillero hortícola». En *Plántulas, semilleros, viveros*. Ediciones de horticultura. Barcelona. Pág 11-29.
- CANTLIFFE, D.J. 1993. «Pre and Postharvest Practices for Improved Vegetable Transplant Quality». *HortTechnology* 3, 415-417.
- GLOBAL GAP. 2007. «Puntos de control y criterios de cumplimiento. Aseguramiento integrado de fincas. Módulo base para todo tipo de explotación agropecuaria». V3. 0-2. www.globalgap.org.
- HARTMANN, H.T, D.E. KESTER, F.T. DAVIES and R.L. GENEVE. 1997. *Plant Propagation: Principles and Practices*. New York: Prentice Hall International.
- LEE, J.M. 2003. «Advances in Vegetables Grafting». *Chronica Horticulturae* 43 (3), 13-19.
- NAVARRO, J.A. 1999. «Estructuras para semilleros del 2000». En *Plántulas, semilleros, viveros*. Barcelona: Ediciones de horticultura.
- NE SMITH, D.S. and J.R. DUVAL. 1998. «The Effect of Container Size». *HortTechnology* October-December 8(4).
- VAVRINA C. 2002. *An Introduction to the Production of Containerized Vegetable Transplant*. HS849. Horticultural Sciences Department. Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. Florida: University of Florida.

ORGANIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA
 INSTITUTO AGROPECUARIO Y PISCICULTIVO
 CARRERA DE INGENIERÍA EN AGRICULTURA Y GANADERÍA
 BOGOTÁ - COLOMBIA



3

Manejo del cultivo

Hugo Escobar, Alexander Cooman y Luz Stella Fuentes

Establecimiento del cultivo

El establecimiento del cultivo consiste en el trasplante del material de propagación en el sitio en donde se adelantará su crecimiento y desarrollo. De acuerdo con el sistema de producción escogido, el material podrá sembrarse directamente en el suelo o en un sustrato, si el sistema es hidropónico. El éxito durante el establecimiento del cultivo depende de varios factores, como la humedad adecuada del suelo o sustrato, el estado nutricional y fitosanitario del mismo, la profundidad de siembra y la calidad del material de propagación, entre otros.

Densidades de siembra

Existen básicamente dos formas para ubicar las plantas dentro del invernadero. La primera es mediante surcos individuales en donde se dejan distancias entre surcos que varían entre 1,0 y 1,4 m. Las distancias entre plantas a lo largo de los surcos pueden ir de 30 a 50 cm, según la variedad seleccionada. La segunda es el trasplante en surcos dobles (foto 2) en donde se hacen camas en las cuales se dejan de 50 a 60 cm entre los dos surcos de la cama y de 40 a 50 cm entre plantas a lo largo del surco. La distancia entre los centros de las camas varía entre 1,40 y 1,60 m, dejando, por tanto, caminos de 0,8 a 1,0 m de ancho.

De esta manera se alcanzan densidades de 2,2 a 2,5 plantas por m². En algunos casos, especialmente cuando se trabaja con variedades de crecimiento abierto o en condiciones de clima frío, se pueden utilizar densidades de siembra más altas cercanas a 3 plantas por metro cuadrado. En condiciones de menor luminosidad y mayor temperatura, se debe trabajar con una densidad más baja para mantener una calidad aceptable y un buen rendimiento.

Una densidad más elevada de lo recomendado implicará un mayor costo en material vegetal y en insumos, mayores problemas sanitarios y una menor calidad en el tamaño de los frutos.

Trasplante

El trasplante definitivo se realiza aproximadamente a las cuatro o cinco semanas después de la siembra. Un trasplante bien hecho es esencial para obtener una buena cosecha en invernadero.

Antes del trasplante, se aconseja levantar camas a una altura mínima de 20 cm. Luego, se hace el trazado de los surcos y se marcan los sitios en los cuales irán ubicadas las plantas. Cuando se utiliza el acolchado plástico, la ubicación de las plantas se marca sobre el plástico mediante un pequeño agujero. En el sitio de trasplante se hace un hueco de aproximadamente 5 cm de profundidad, ligeramente mayor al volumen ocupado por el recipiente que contiene la planta que se va trasplantar. El suelo debe tener un adecuado nivel de humedad. Las plantas se van colocando con cuidado, tratando de no deshacer el bloque de sustrato en el que están enraizadas. Se recomienda que durante el trasplante una pequeña porción del tallo quede enterrada en el suelo para proporcionar un mejor soporte inicial y permitir a la planta el desarrollo de nuevas raíces, pero teniendo precaución de que las hojas cotiledonales no queden enterradas. Una vez trasplantadas, es necesario regar las plantas lo antes posible para evitar el marchitamiento. En los primeros días después del trasplante, los riegos deben ser cortos pero frecuentes para mantener húmeda la zona donde están desarrollándose las raíces.

Podas

La poda es la práctica de remover cualquier tipo de estructura de la planta. El principal objetivo de las podas es balancear el crecimiento reproductivo y vegetativo, permitiendo que los fotoasimilados se canalicen hacia los frutos, pero también tiene otros beneficios principalmente de tipo fitosanitario. Básicamente existen cuatro tipos de podas:

Poda de formación

Mediante esta poda se decide el número de tallos que va a tener la planta. Lo aconsejable para variedades de crecimiento indeterminado es la poda a un solo tallo, ya que la planta es más vigorosa y se facilita su tutorado y manejo. En caso de que se tome la decisión de dejar dos tallos en la planta, se deben escoger los dos tallos más vigorosos. El tallo más vigoroso es el principal y el segundo tallo es aquél que aparece inmediatamente por debajo de la primera inflorescencia.

Poda de yemas o chupones

Las yemas axilares, también llamadas chupones, son pequeños brotes que crecen en el punto de inserción entre el tallo principal y los pecíolos de las hojas (foto 3) y que se deben eliminar manualmente antes de que se desarrollen demasiado (< 5 cm). Esto evitará que tomen parte de los nutrientes que son importantes para el fruto. Además, al eliminarlos cuando aún son pequeños, se reduce el tamaño de las heridas y así la probabilidad de ataque de hongos, especialmente de *Botrytis cinerea*.

Para evitar la eliminación accidental del punto de crecimiento de la planta al confundirlo con un chupón, únicamente se deben eliminar los chupones que están por debajo del último racimo floral que se ha formado. A medida que el cultivo se desarrolla, la proliferación de chupones disminuye y su control se puede hacer con menos frecuencia.

Poda de flores y frutos

La poda de flores y frutos ayuda a balancear el crecimiento vegetativo con el generativo, para optimizar el número y el

tamaño de los frutos en el racimo y a lo largo de la planta. El manejo de la poda de frutos no tiene una fórmula general, y dependerá de las siguientes variables:

- **Variiedad.** En variedades de fruto grande se dejarán menos frutos por racimo que en variedades de fruto pequeño. A la vez, variedades con hábito de crecimiento abierto y con frutos más pequeños tienden a formar inflorescencias con numerosas flores. Por eso, es necesario eliminar algunas flores para que los frutos que se formen puedan crecer más homogéneamente y alcanzar tamaños un poco mayores hasta donde su potencial genético lo permita.
- **Condiciones climáticas.** En condiciones de temperatura más elevada y menor radiación, se deben dejar menos frutos por racimo para mantener las mismas características de calidad. A la vez, a mayor densidad de siembra o menor disponibilidad de radiación por planta, se debe disminuir la cantidad de frutos por racimo para mantener la misma calidad.
- **El estado de desarrollo de la planta y su vigor.** En los primeros racimos se acostumbra podar frutos para favorecer el crecimiento vegetativo, dejando de 4 a 6 frutos según la variedad y el clima. Igualmente, cuando en las plantas se están cuajando los frutos del 7º racimo en adelante, éstas muestran con frecuencia un crecimiento vegetativo débil. Si el objetivo es producir más racimos, es conveniente dejar estos racimos con uno o dos frutos menos que los racimos anteriores.
- **Las exigencias del mercado.** Según el mercado para el cual se produce, se requiere cierta proporción de frutos de diferentes calibres o tamaños. El tamaño depende en parte de la variedad y las condiciones climáticas, pero se puede también manipular a través de la poda de frutos.

En variedades de crecimiento compacto y vigoroso (frutos multiloculares), sembradas en clima medio con una densidad de aproximadamente 2,5 plantas por m², se deben dejar solamente cuatro frutos en los primeros dos racimos para no sobrecargar la planta y permitir que éstas sigan creciendo normalmente y emitiendo nuevos racimos flo-

rales. Más adelante se pueden dejar 5 frutos por racimo mientras la planta esté en buenas condiciones de vigor. En clima frío moderado, donde el desarrollo del cultivo y de los frutos es más lento, se pueden dejar más frutos que en clima medio. Aquí se recomiendan de 4 a 5 frutos en los primeros dos racimos, después de 5 a 6 frutos en los siguientes racimos.

Las variedades con hábito de crecimiento abierto y con frutos más pequeños tienden a formar inflorescencias con numerosas flores. Por eso, es necesario eliminar algunas flores para que los frutos que se formen puedan crecer más homogéneamente y alcanzar tamaños un poco mayores hasta donde el potencial genético de la planta lo permita. Generalmente, el primer fruto de los racimos es el más grande, pero a veces éste crece tan rápido que los demás frutos se quedan pequeños, o, en algunas variedades, el primer fruto tiende a deformarse y perder su valor comercial. Si esto ocurre se puede optar por eliminar el primer fruto de forma sistemática.

En una evaluación hecha por Pulido (2000) con la variedad Daniela (Hazera) en Guayatá, Boyacá, a una temperatura promedio diaria de 21 °C y con una densidad de siembra de 2,9 plantas por m², se demostró que el peso promedio de frutos aumentó de 128 a 144 g por fruto por una adecuada poda de éstos. En este caso se compararon plantas de crecimiento libre con plantas donde se dejaron de 4 a 5 frutos por racimo, lo que disminuyó la cantidad de frutos por racimo en una a dos unidades. En los 10 racimos cosechados se logró una producción total de 4,45 kg por planta en el tratamiento con poda, comparado con 4,35 kg por planta en el testigo.

En una evaluación hecha en un invernadero de diseño tradicional en la Sabana de Bogotá con la variedad Boris (Bruinsma) sembrada a 2,5 plantas por m², se logró un peso unitario promedio de 154, 150 y 137 g en tratamientos de 4, 5 y 6 frutos por racimo, respectivamente. El peso total cosechado por planta fue de 4,50, 4,72, y 4,67 kg por planta. Se puede deducir que para esta variedad en estas condiciones, se debe trabajar con 5 o 6 frutos por racimo, según los precios del mercado para las diferentes calidades.

Fuera de la poda de frutos para equilibrar el crecimiento vegetativo con el generativo, también se hacen podas sa-

nitarias y podas para eliminar malformaciones. Frutos con pudrición apical, frutos con síntomas de ataque por enfermedades o insectos, o con malformaciones como “cara de gato” deben eliminarse tan pronto se detecta el síntoma. Dejarlos más tiempo en la planta sería sólo un gasto de energía para el cultivo.

Poda de hojas bajas

A medida que las plantas maduran y se cosechan los frutos de los racimos más inferiores, las hojas más antiguas situadas en esta zona comienzan a amarillarse y a morir. Éstas deben ser eliminadas para permitir una mejor ventilación y bajar a su vez la humedad relativa en la base de las plantas. La eliminación de estas hojas se debe comenzar al finalizar la recolección de los frutos del segundo racimo, y de ahí en adelante se deben seguir podando a medida que maduran los racimos. La poda se puede hacer simplemente partiéndolas con los dedos al nivel del tallo para evitar al máximo las cicatrices y se deben retirar inmediatamente del invernadero para eliminar cualquier infección.

En términos generales, siempre se trata de mantener una buena área foliar sin que ésta sea excesiva. En variedades muy “frondosas” se puede podar de vez en cuando algunas hojas en la parte baja y del medio. Esto aumentará la ventilación en el cultivo y disminuirá la incidencia de enfermedades sin afectar la producción.

Una recomendación general para casos en los cuales se ha implementado un programa de control biológico de mosca blanca mediante el uso de parasitoides, es la de revisar las hojas antes de la poda para verificar si todavía se encuentran pupas de mosca blanca parasitándolas. Si esto ocurre, se recomienda dejarlas hasta que emerjan los adultos de los parasitoides.

Tutorado y enrollado

El *tutorado* consiste en guiar verticalmente las plantas a lo largo de una cuerda de plástico o de tela que va desde la base de la planta (tercera o cuarta hoja) hasta un alambre ubicado directamente sobre las plantas a 2,5 a 3,0 metros de altura y tendido en el mismo sentido del surco (foto 4). Para sostener la planta a lo largo de la cuerda se pueden

usar abrazaderas de plástico, las cuales se anillan al tallo por debajo del pecíolo de una hoja completamente desarrollada y resistente. También se puede tutorar la planta enrollándola a la cuerda, en el sentido de las manecillas del reloj, cada 2 o 3 hojas o una vuelta por cada racimo.

Se debe tratar de hacer esta labor sin maltratar a las plantas, es decir, no envolverlas más de lo necesario y no estrangularlas. La labor de enrollado de las plantas se hace semanalmente y hasta dos veces por semana durante las primeras semanas de desarrollo a temperatura elevada, cuando el crecimiento de las plantas es muy rápido. Posteriormente, cuando comienza la formación de frutos el enrollado se puede hacer una vez por semana.

Es importante enfatizar que durante el enrollado la parte superior de la planta (la cabeza) debe quedar libre para permitir una expansión normal de las hojas y evitar su entorchamiento (foto 5). A medida que crece la planta, será necesario descolgarla para facilitar su mantenimiento (foto 6).

Polinización

La planta del tomate es “autopolinizadora”, por lo cual no se requiere de polinización cruzada. Los tomates son polinizados normalmente por el viento cuando crecen al aire libre. En cambio, en los invernaderos, el movimiento de aire es insuficiente para que las flores se polinicen por sí mismas, siendo necesaria la vibración de los racimos florales para obtener una buena polinización.

En los cultivos bajo invernadero, los productores hacen una vibración de la planta golpeando el sistema de tutorado. Otros productores no toman ninguna medida para mejorar la calidad de la polinización. En una evaluación hecha en un invernadero de diseño tradicional en la Sabana de Bogotá con la variedad Boris, se encontró que el peso individual de frutos aumentó de 112 a 137 g con el sistema de vibración de las plantas comparando con un tratamiento sin polinización.

Con el uso de un vibrador o abejorro eléctrico se puede mejorar la polinización vibrando los tallos de los racimos sin tocar las flores para no dañarlas y evitar malformaciones de frutos. En evaluaciones realizadas en la Sabana de Bogotá, se probaron dos prácticas de polinización: el uso

de vibrador eléctrico o “abejorro mecánico” y la vibración de la planta mediante golpes a los alambres del tutorado. Los resultados indicaron que el uso del vibrador eléctrico incrementó la producción por planta en un 34%. El peso fresco aumentó de 126 a 161 g, el diámetro ecuatorial pasó de 62 a 70 mm; además, el número de semillas por fruto también fue mayor en este tratamiento. La tasa de crecimiento del fruto polinizado con vibrador eléctrico fue mayor al testigo, indicando menor tiempo a cosecha. Para todas las variables medidas, el vibrado de la planta golpeando los alambres del tutorado no presentó diferencias significativas frente al testigo (Cuellar *et al.*, 2002).

Las condiciones climáticas también son importantes para una buena polinización. Para prevenir la caída de flores, la temperatura promedio no puede exceder 25 °C, especialmente en condiciones de baja luminosidad. Por debajo de 15 °C existen problemas con la fecundación y por debajo de 10 °C se detiene el proceso.

La humedad del aire también tiene una influencia directa en la fecundación. Valores elevados, especialmente con poca iluminación, pueden reducir la viabilidad del polen. Buitelaar & Eindhoven (1986) definen el rango óptimo de humedad relativa para la polinización entre 60 y 85%. Debajo de este rango se reducen las características pegajosas del estigma, lo que puede disminuir la adhesión y germinación del polen. A la vez, humedades muy bajas ocasionan la desecación del polen haciéndole perder su efectividad. Por encima del rango mencionado se reduce el desprendimiento del polen de la antera.

Todo el proceso de fecundación dura, en condiciones normales, aproximadamente 50 horas. Cuando la polinización se ha efectuado correctamente, al cabo de una semana comienzan a formarse los frutos; esto es lo que se denomina cuajado de la flor. Cuando las plantas son jóvenes y producen sus primeros racimos florales, éstos se deben polinizar todos los días o como mínimo cada 48 horas hasta que se observen los primeros frutos. Es muy importante asegurar que en estos primeros racimos se formen frutos, ya que ello induce a la planta a un estado reproductivo que favorecerá positivamente la floración y la productividad de la misma.

Para incrementar la productividad del cultivo de tomate bajo invernadero, se recomienda implementar algún tipo

de medida para polinización, entre las 9 y 10 a.m., cada día de por medio, desde el inicio de la floración.

Ciclo de cultivo

La duración del ciclo de cultivo del tomate está determinada principalmente por la variedad y por las condiciones del clima en las cuales se produce el desarrollo de la planta. Cuando se realiza el trasplante al invernadero, ya ha ocurrido la diferenciación floral, es decir, ya se ha dado origen a la primera inflorescencia, aunque ésta no sea visible todavía. El tiempo transcurrido hasta la apertura de la primera flor de la primera inflorescencia depende de la radiación total recibida, pero puede estar entre 40 y 50 días después de la siembra de la semilla. El desarrollo de la flor, por su parte, está determinado fundamentalmente por la temperatura, siendo las temperaturas diurnas más importantes que las nocturnas en la promoción del desarrollo de las flores. Cuando la flor ha alcanzado un completo desarrollo, se produce la fecundación del fruto como consecuencia de la polinización. El tiempo requerido desde el cuajamiento del fruto hasta que se desarrolla un fruto maduro oscila entre 7 y 9 semanas, en función de la variedad, la posición en el racimo y las condiciones ambientales.

Inicialmente, el crecimiento del fruto es lento durante las primeras 2 o 3 semanas y se alcanza un 10% del peso total del fruto. Posteriormente, viene un período de rápido crecimiento que dura entre 3 y 5 semanas, en el cual el fruto alcanza prácticamente su máximo desarrollo. Finalmente, hay un período de crecimiento lento de unas dos semanas, en el que el aumento en el peso del fruto es pequeño, pero se producen cambios metabólicos característicos de la maduración (Chamarro, 1995).

Con respecto a la posición del fruto en el racimo, Pulido (2000) –en Guayatá, Boyacá en un cultivo bajo invernadero con la variedad Daniela (Hazera-Israel)– encontró diferencias significativas en el tamaño final del fruto de acuerdo con su posición en el racimo, siendo mayor la posición uno o primer tomate con 154 g de peso fresco y 67 mm de diámetro con respecto al fruto de la posición seis con peso fresco de 98 g y diámetro de 58 mm. Por su parte, en un estudio sobre el crecimiento y desarrollo del fruto del tomate en función del clima, realizado en el CIAA de la UJTL con la variedad Boris en condiciones de invernadero en la Sabana

de Bogotá, Gómez (2000) también encontró en diferentes invernaderos diferencias significativas en el peso y calibre de los frutos de acuerdo con su posición en el racimo.

Los resultados fueron de 185 g y 72 mm de diámetro para el fruto en la posición 1, y 175 g y 70 mm de diámetro para el fruto en la posición 5. En un invernadero de plástico con pantalla térmica fue de 157 g y 69 mm de diámetro para el fruto de la posición 1, y de 120 g y 63 mm de diámetro para el fruto de la posición 5. En un invernadero de vidrio con pantalla térmica fue de 153 g y 69 mm para el fruto de la posición 1, y 113 g y 62 mm para el fruto de la posición 5.

En cuanto al tiempo de duración del desarrollo del fruto desde los 5 mm hasta su maduración de acuerdo con su posición en el racimo, también se encontraron diferencias. El tiempo fue de 67 días para el fruto de la posición 1 y de 69 días para el fruto de la posición 5, en un invernadero de plástico con pantalla térmica. De 62 días para el fruto de la posición 1 y de 68 días para el fruto de la posición 5, en un invernadero de vidrio con pantalla térmica; y de 53 días para el fruto de la posición 1 y 57 días para el fruto de la posición 5, en un invernadero de vidrio con pantalla térmica y con calefacción.

Para el ciclo total de cultivo, Pulido (2000) reportó que en clima templado la tasa de aparición de racimos es de 8 días y el inicio de la cosecha ocurrió a los 90 días después del trasplante. En condiciones de la Sabana de Bogotá se encontró que el tiempo transcurrido desde el trasplante hasta el inicio de la cosecha en un invernadero de plástico con pantalla térmica fue de 108 días, mientras que en un invernadero de vidrio con calefacción fue de 98 días.

Renovación del cultivo

Cuando la productividad de las plantas comienza a decrecer, es necesario hacer una renovación del cultivo. Debido a los altos costos de producción de tomate bajo invernadero, es necesario aprovechar al máximo el área disponible a lo largo del año.

Al momento de hacer la renovación de un cultivo, el punto de crecimiento de la planta se elimina mediante un corte 2-3 hojas por encima del racimo en floración más alto. Esta

práctica se debe hacer por lo menos 5-6 semanas antes de la fecha destinada para renovar el cultivo, con el objetivo de que durante ese tiempo los frutos que ya se han formado en la planta alcancen su máximo tamaño y puedan ser cosechados.

Simultáneamente con la eliminación de los puntos de crecimiento, se debe hacer la siembra de las plántulas para el siguiente cultivo, de tal manera que se pueda minimizar el período de tiempo en que no hay producción.

Otra forma para renovar el cultivo consiste en trasplantar nuevas plántulas en medio de plantas viejas que están próximas a eliminarse, de tal forma que en el momento de la eliminación de las plantas viejas, las nuevas plantas tengan un desarrollo avanzado y comiencen a fructificar en pocas semanas.

Control de malezas

Las malezas, también llamadas arvenses, son todas aquellas plantas que en un momento dado dificultan o interfieren de una u otra forma en el crecimiento de un cultivo.

En el cultivo del tomate –al igual que en todos los cultivos– las malezas tienen dos efectos diferentes: 1) competir en la toma de agua, nutrientes y luz, y 2) ser hospederas alternativas de hongos y plagas que pueden afectar al cultivo.

En la toma de agua, la interferencia no suele ser muy importante si el agua es un recurso abundante. Pero si no lo es, como en muchas partes, la competencia puede ser importante, especialmente por aquellas malezas que poseen sistemas radiculares más desarrollados que los del tomate. Con respecto a los nutrientes, si el suelo está bien fertilizado con nitrógeno, fósforo y potasio, la competencia se produce principalmente por elementos secundarios y micronutrientes.

La competencia por luz se origina más tardíamente y es más severa en malezas con gran desarrollo foliar. El grado de interferencia está condicionado principalmente por el estado de desarrollo de la planta de tomate, siendo mayor entre la germinación y las primeras semanas del trasplante definitivo.

El control de las malezas, al igual que el de plagas y enfermedades, también requiere un control integrado que combine el control con herbicidas (naturales o sintéticos) con algunas prácticas culturales: preparar muy bien el terreno donde se van a trasplantar las plantas, ya sea mediante labores manuales o mecánicas, contribuye a controlar las malezas pero no es suficiente para solucionar el problema.

Se pueden cubrir las camas donde se va a hacer el trasplante con un acolchado (foto 7). El acolchado puede ser de tipo vegetal como cascarilla de arroz, tamo, entre otros, o sintético. El acolchado más común en tomate consiste en una lámina de plástico (negro, gris o blanco lechoso) que se coloca sobre el suelo a lo largo y ancho de la cama, el cual se asegura al suelo apisonándolo con la tierra de los bordes de la cama. Después de instalado, el plástico se

perfora únicamente en los sitios en donde se siembran las plantas. El uso de acolchados, además de ejercer una barrera física que obstaculiza la emergencia de malezas, también disminuye la luz dentro de la cama, impidiendo que éstas puedan emerger.

En cuanto al control con herbicidas, el uso de químicos requiere conocimientos mínimos tanto de los productos a utilizar como de las malezas predominantes en la zona donde está el cultivo, puesto que el tomate es una planta especialmente sensible a sufrir daños ocasionados por herbicidas. Frecuentemente, el daño relacionado con los herbicidas puede ser similar al causado por otras fuentes, tales como exceso de sales fertilizantes. Los síntomas de daños por herbicidas no siempre son definitivos y daños similares pueden resultar de la aplicación de diferentes plaguicidas.

Bibliografía

ALDANA, J., J. CURE, M. ALMANZA, D. VENCIL Y D. RODRÍGUEZ. 2007. «Efecto de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) sobre la productividad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero en la Sabana de Bogotá, Colombia». *Agronomía Colombiana*. Vol 25, Nº 1, pp. 62-72.

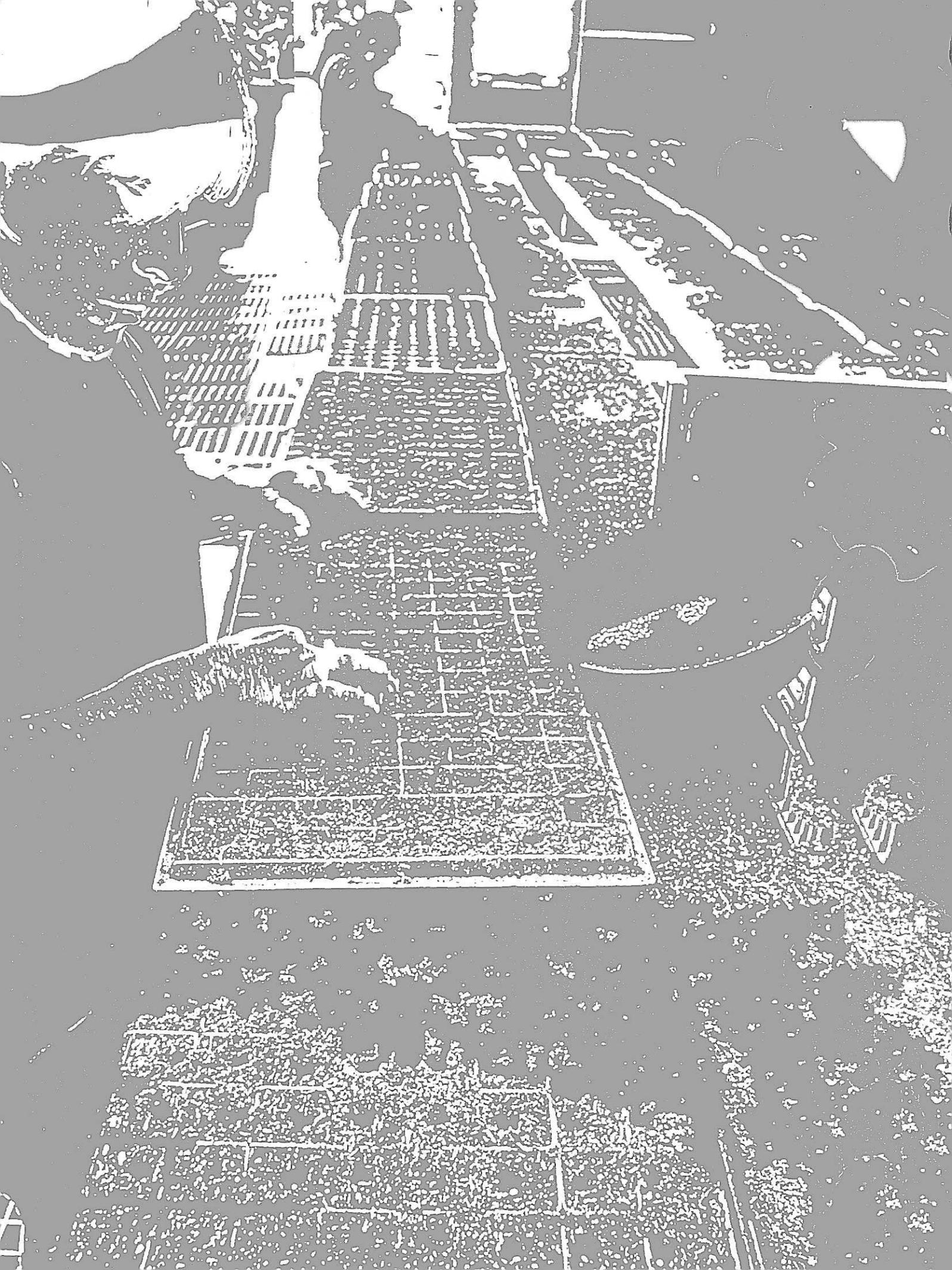
ALMANZA, M., J.R. CURE, M. AGUILAR, C. ÁLVAREZ, D. RUBIO, D. ROJAS, D. VECIL Y J. ALDANA, 2008. «Case Studies on Conservation of Pollination Services as a Component of Agricultural Biological Diversity (Native Bumblebees Rearing for Pollination of Crops in the Highlands of Colombia)». <http://www.fao.org/WAICENT/faoINFO/AGRICULT/agp/AGPS/C-CAB/Castudies/pdf/6-016.pdf>

ALMANZA, M., J.R. CURE, M. AGUILAR, C. ÁLVAREZ, D. VECIL, D.L. ROJAS, J. ALDANA, L. DÍAZ Y L. FUENTES. 2003. «Cría en cautiverio de colonias de *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae) y su actividad polinizadora en tomate bajo invernadero». *Resúmenes XXX Congreso Sociedad Colombiana de Entomología*, Cali. pp. 57-58.

ATHERTON, J.G. and J. RUDICH (eds.). 1986. *The Tomato Crop. A Scientific Basis for Improvement*. University Press. Cambridge: U.K. Chapman and Hall printers.

BUITELAAR, K. & W. EINDHOVEN. 1986. «Teelt en Teeltmaatregelen». In: Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk (ed.). *Teelt van Stooktomaten*. No. 56: 38-55.

- CASTILLA, N. 1995. «Manejo del cultivo intensivo con suelo». En: Nuez, F. (ed.). *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundiprensa.
- CHAMARRO, J. 1995. «Manejo del cultivo intensivo con suelo». En: Nuez, F. (ed.) *El cultivo del tomate*. Madrid: Ediciones Mundiprensa.
- CUELLAR, J., A. COOMAN & ARJONA, H. 2002. «Incremento de la productividad del cultivo de tomate bajo invernadero mejorando la polinización». *Agronomía Colombiana*, 18, pp. 7-13.
- GÓMEZ, D. 2000. "Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en función del clima". Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.
- KOPPERT. 2008. <http://www.koppert.nl/s003.shtml>
- RODRÍGUEZ, R., J.M. TABARES Y J.A. MEDINA. 1996. *Cultivo moderno del tomate*. Madrid: Mundiprensa.
- PULIDO, S. 2000. "Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de crecimiento indeterminado bajo condiciones de invernadero en el valle de Tenza". Monografía, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias.



Riego y fertilización **4**

**Amparo Medina, Alexander Cooman, Hugo Escobar,
César Salamanca y Oscar Monsalve**

Riego

El tomate tiene altos requerimientos de agua tanto en cantidad como en la frecuencia de suministro. Las necesidades hídricas del tomate son muy variables y dependen en parte de la variedad (crecimiento abierto o compacto), el estado de desarrollo del cultivo, el tipo de suelo o sustrato, la topografía y las condiciones climáticas. La rutina de riego comienza inmediatamente se trasplantan las plántulas.

Desde el trasplante hasta el inicio de la floración, los riegos deben ser cortos y frecuentes, de modo que pueda mantenerse la humedad en los primeros 15 cm de suelo, zona en donde se están desarrollando las raíces. Al principio del cultivo la masa vegetal es muy pequeña y así también el consumo de agua. Éste se incrementa paulatinamente conforme la planta va creciendo, hasta que se inicia el cuajado del fruto. De ahí en adelante el consumo se dispara, porque la planta sigue produciendo hojas y tallos nuevos a la vez que van creciendo los

frutos. Este consumo se mantiene en las plantas de crecimiento indeterminado hasta que pasa la época de mayor carga de frutos, y luego disminuye hasta el momento de la renovación del cultivo. El período más crítico para el riego ocurre desde el inicio de la floración hasta el inicio de la maduración de los primeros frutos, es decir, la época en que la planta llega a la máxima carga de éstos.

Nunca se debe dejar que el suelo se seque demasiado y luego repentinamente aplicar grandes cantidades de agua, pues esto ocasiona daños en las plantas, como por ejemplo el agrietamiento en los frutos.

Cuando se riega y fertiliza el cultivo simultáneamente, es necesario estar controlando la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva en el momento en que ésta sale por los goteros. La CE de la solución no debe pasar de 2,5 dS·m⁻¹. Conductividades más altas pueden producir la quemazón de raíces y dificultar la toma de agua por parte de las plantas.

Sistema y frecuencia de riego

El invernadero debe contar con un sistema de riego con la suficiente capacidad para suministrar los requerimien-

tos hídricos del cultivo. El suelo o medio de cultivo debe mantenerse a una capacidad de campo superior al 80%, ya que esto eleva el rendimiento en un 25% sobre suelos con capacidad de campo del 70%.

El sistema de riego ideal para un cultivo de tomate es el riego por goteo, del cual existen dos sistemas. En el primero, una manguera de polietileno de 16 a 21 mm de diámetro es extendida a lo largo del surco y en la cual se insertan goteros autocompensados de 2 a 4 litros por hora⁻¹ a distancias de 40 a 50 cm (un gotero por planta), y por medio de mangueras delgadas (5 mm) se lleva el agua a la base de cada planta. Un segundo sistema consiste en el uso de cintas de riego con emisores cada 10 o 20 cm con un caudal promedio de 1 litro por hora⁻¹ por emisor (foto 8). Se utiliza una cinta de riego por cada línea de plantas. La ventaja de este sistema es su funcionamiento a bajas presiones, por lo que puede utilizarse en riegos por gravedad y se alcanza también una alta uniformidad de éste.

En la tabla 2 se presentan los rangos mínimos y máximos de riego durante un ciclo de producción de tomate bajo invernadero para diferentes semanas. La frecuencia y dosis de riego están relacionadas principalmente con el tipo de suelo y el sistema utilizado.

Tabla 2. Guía para estimar las necesidades de agua para el cultivo de tomate bajo invernadero.

Semana de trasplante	Estado de desarrollo	Necesidad diaria (litros · m ⁻² · día ⁻¹)	
		Mínimo	Máximo
1	Enraizamiento	0,6	1,25
2-5	1º a 4º racimo floral	1,5	3,0
6	5º racimo floral	3,5	3,8
7-9	6º racimo floral	3,5	4,0
10-11	7º-8º racimo en flor	4,0	4,5
12-15	Inicio de cosecha	4,5	5,0
16-17		5,5	6,0
18-20		5,5	6,0
21-23		5,0	5,0
24-25		5,0	5,0
25		5,0	5,0
27		5,0	5,0

Para hacer un cálculo aproximado del tiempo que debe durar un riego, es necesario conocer la cantidad diaria de agua expresada en litros por metro cuadrado ($l \cdot m^{-2}$) que necesita la planta de acuerdo con su estado de crecimiento, las condiciones climáticas, el número de goteros por m^{-2} y el caudal (en litros por min^{-1}) de cada uno. El tiempo de riego será el resultado de dividir las necesidades de agua expresadas en litros por metro cuadrado por el caudal emitido por metro cuadrado. Por ejemplo, en un sistema de producción de tomate con camas con doble surco, se recomienda un sistema de cinta de riego con emisores cada 10 cm y con un caudal de 12 mililitros por cada emisor, con lo cual se tienen aproximadamente 20 emisores o goteros por metro cuadrado. Tomando como ejemplo la tabla anterior, encontramos que en el estado de producción los requerimientos hídricos son de aproximadamente 5 litros por m^2 por día. Para estimar el tiempo de riego primero calculamos el caudal por minuto y por m^2 , multiplicando el número de emisores por el caudal por emisor. En este caso, 20 emisores por 12 mililitros que equivalen a 240 mililitros (0,24 l) por minuto. Posteriormente, se divide las necesidades diarias del cultivo ($5 \text{ litros} \cdot m^{-2} \cdot día^{-1}$) por el caudal por metro cuadrado por minuto ($5/0,24 \text{ l}$) que equivalen a aproximadamente 21 minutos de riego por día.

Para alcanzar mayor precisión en el cálculo y distribución de agua para el cultivo, se recomienda aforar con frecuencia el sistema de riego midiendo en diferentes goteros el caudal por minuto y obtener un valor promedio. Una vez conocido el tiempo de riego diario, este valor se podrá incrementar hasta en un 20% para compensar posibles pérdidas por infiltración de agua en el subsuelo. También, según el tipo de suelo, se recomienda fraccionar el tiempo de riego en dos o tres riegos al día.

Fertilización

La fertilización de los cultivos es uno de los aspectos de la producción que genera más expectativa, debido a que tiene un impacto importante sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas, afectando su productividad y la calidad de los productos cosechados. En este capítulo se tratarán aspectos básicos de la nutrición de las plantas, el manejo del suelo, la fertilización de presembrado y la fertilización líquida; así mismo, se expondrán los aspectos básicos del

manejo de la fertilización para el cultivo del tomate con énfasis en la producción bajo invernadero.

Principios generales de nutrición vegetal

Para un óptimo desarrollo, crecimiento y producción, las plantas de tomate requieren 17 elementos químicos o nutrientes, la mayoría de los cuales provienen del suelo o de los fertilizantes aplicados. En la tabla 3 se presentan los que se consideran hasta el momento como elementos esenciales.

Estos elementos se denominan esenciales porque cumplen una o varias funciones necesarias para la vida de las plantas. De ellos, el carbono, el oxígeno y el hidrógeno provienen fundamentalmente del aire o del agua, y los 14 restantes son absorbidos directamente del suelo. De los elementos minerales, el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K) se denominan mayores primarios porque son los que las plantas requieren en mayor cantidad, mientras que el calcio (Ca), el magnesio (Mg) y el azufre (S) se llaman elementos mayores secundarios porque las plantas los toman en menor cantidad que los mayores primarios. El hierro (Fe), el manganeso (Mn), el cobre (Cu), el zinc (Zn), el boro (B) y el molibdeno (Mo) se conocen como elementos menores o microelementos, siendo bajas las cantidades que se requieren.

Aunque los elementos esenciales cumplen muchas y muy variadas funciones, éstas se pueden agrupar en cuatro tipos:

- Hacen parte de compuestos orgánicos esenciales: proteínas, ácidos nucleicos, pared celular, clorofila, citocromos: N, P, Ca, Mg, S, B y Cu.
- Intervienen en la regulación del potencial hídrico o ajuste osmótico de las células; y participan en su turgencia, por ejemplo el K y Cl.
- Forman parte de enzimas o son activadores enzimáticos, casi todos: N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo y Cl.
- Son necesarios para el balance electroquímico de las células: cationes (K, Ca, Mg, Na) y aniones (NO_3 , SO_4 , Cl).

Tabla 3. Elementos esenciales para las plantas.

Elemento		Forma disponible
Símbolo		Óxidos
C	CO ₂	Dióxido de carbono
H	H ₂ O	Agua
O	CO ₂ , H ₂ O	Dióxido de carbono y agua
N	NO ₃ ⁻	Nitrato
S	SO ₄ ²⁻	Sulfato
P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	Fosfato
Mo	MoO ₄ ²⁻	Molibdato
B	BO ₃ ⁻ , B ₄ O ₇ ²⁻	Borato
		Iones metálicos
K	K ⁺	Potasio
Ca	Ca ²⁺	Calcio
Mg	Mg ²⁺	Magnesio
Fe	Fe ²⁺	Hierro ferroso
Mn	Mn ²⁺	Manganeso
Cu	Cu ²⁺	Cobre
Zn	Zn ²⁺	Zinc
Ni	Ni ²⁺	Níquel
		Haluro
Cl	Cl ⁻	Cloruro
		Hidruro
N	NH ₄ ⁺	Amonio

Fuente: adaptado de Glass (1989) y Salisbury y Ross (1989)

Guía para la fertilización del tomate

Los requerimientos nutricionales del cultivo de tomate dependen principalmente de la duración del ciclo de cultivo y de los diferentes estados fenológicos de crecimiento y desarrollo que atraviesa la planta. Para satisfacer adecuada y oportunamente estas necesidades es necesario diseñar un programa de fertilización que se base principalmente

en el análisis de suelo o sustrato, en la extracción del cultivo en cada etapa fenológica y en la concentración de elementos nutrientes en los diferentes materiales orgánicos y químicos que pueden utilizarse como fuente de fertilización.

Programa de muestreo

Con el fin de manejar técnicamente la fertilización del cultivo, se debe tener un programa de muestreo que permita controlar la fertilidad del suelo y el estado nutricional del cultivo. En general, el programa debe tener los siguientes puntos:

Análisis inicial de suelo

Antes de iniciar el cultivo, se requiere un análisis inicial de suelos para determinar tanto las necesidades de enmiendas como de fertilización de presiembra. En muchos casos, se incluyen algunas determinaciones físicas como la textura y la estabilidad estructural que se utilizan para recomendar el acondicionamiento físico del suelo. Para el caso de la textura, los suelos francos son los más adecuados ya que presentan una tendencia uniforme a retener agua, a la vez que permiten la difusión de gases, con lo cual las funciones fisiológicas de la planta no sufrirán limitaciones. Los suelos arenosos, debido al tamaño grande de las partículas que los conforman, poseen una baja capacidad de intercambio catiónico (CIC), es decir, que su capacidad para retener y almacenar cationes como calcio, magnesio y potasio es muy baja. De la misma forma, tienen baja retención de humedad, por lo que se recomienda la incorporación de materia orgánica compostada antes de la siembra. La estructura del suelo es favorecida principalmente por los productos resultantes de la descomposición de la materia orgánica y ayuda al intercambio gaseoso y la retención de humedad.

Para efectuar un análisis de suelos, el primer paso es el muestreo, el cual es determinante porque una mala toma de las muestras llevará a conclusiones y cálculos equivocados que no pueden corregirse en el laboratorio. Los pasos a seguir son:

- Utilizar un barreno, pala o ahoyador que se encuentre limpio.

- Para invernaderos menores a 2.000 m², tomar de 10 a 15 puntos distribuidos al azar. Para tamaños mayores, tomar 20 submuestras o hacer más de una muestra, especialmente si el terreno no es homogéneo.
- Hacer hoyos de 20 cm de profundidad en cada punto de submuestreo, tomar cantidades similares de suelo de cada hoyo y mezclarlo con las demás submuestras en un balde o recipiente limpio.
- Mezclar muy bien el suelo muestreado, tomar 1 kg y empacarlo en una bolsa plástica o caja resistente.
- Escribir la información básica del lote.
- Remitir al laboratorio lo más pronto posible.
- Las determinaciones mínimas que debe incluir un análisis presiembra son: pH, conductividad eléctrica (CE), nitrógeno mineral, fósforo asimilable, bases de cambio (potasio, calcio y magnesio), azufre, elementos menores y textura del suelo.

Análisis de agua

Los análisis de agua son necesarios para determinar la calidad del agua de riego y saber si es adecuada para fertirrigación o si requiere algún tratamiento. Se recomienda utilizar recipientes plásticos limpios de 500 ml o 1 litro de capacidad, tomando la muestra de agua en la fuente (río, reservorio o pozo profundo), llenando el frasco hasta el borde (de ser posible evitando burbujas de aire), marcándolo y remitiéndolo al laboratorio lo antes posible.

Análisis de control

Una vez sembrado el cultivo, se recomienda volver a hacer un análisis de suelos parcial para elementos mayores con el fin de hacer los ajustes necesarios que garanticen una adecuada nutrición del cultivo. Estos controles pueden hacerse en dos etapas:

1. Entre el primer y tercer racimo con flores abiertas, o inicio de floración.
2. Entre el tercer y sexto racimo con flores abiertas, o época de inicio de la carga máxima.

Para estos controles, el muestreo de suelos debe ser representativo y debe hacerse en todos los surcos, tomando la muestra en medio de dos plantas. Para la toma de la muestra debe seguirse la misma metodología descrita para los análisis iniciales en cuanto a herramientas, profundidad del muestreo, empaque y remisión de las muestras.

Normalmente, los análisis de control se trabajan en el laboratorio del CIAA, a través de la técnica de elementos extraídos con agua, que se describe a continuación:

Análisis de elementos en solución de suelo (método holandés)

Este método consiste en la determinación de los elementos solubles, no intercambiables, en un extracto de agua y suelo en relación volumétrica de 2 a 1. Esta metodología es ampliamente utilizada en Europa para la fertilización de cultivos intensivos bajo invernadero con fertirrigación.

En una investigación realizada en el CIAA durante dos ciclos consecutivos de tomate en dos tipos de invernadero (vidrio y plástico tradicional), se utilizó el método holandés para el manejo de la fertilización. Inicialmente, se tomó una muestra de suelo en cada uno de los invernaderos para hacer un análisis completo de fertilidad según el método del USDA, y se hizo una recomendación de fertilizantes para las primeras semanas de desarrollo con base en los resultados del análisis.

A partir de la primera semana de trasplante, se comenzaron a tomar muestras cada dos semanas en ambos invernaderos para hacer análisis de suelo mediante el método holandés. Desde la cuarta semana de trasplante se empezó la fertilización líquida o fertirrigación. Inicialmente, se aplicó la solución nutritiva "estándar" para el cultivo de tomate (tabla 9). A partir de esta semana, la solución se fue ajustando cada quince días con base en los resultados del extracto de suelo.

Los ajustes a la solución nutritiva se hacen mediante un método de cálculo que se basa en las relaciones del nitrógeno con los demás elementos. Para el ajuste de la solución nutritiva se determinan las relaciones (expresadas en milimoles) que existen entre los cationes Ca, Mg, y K y el anión sulfato con respecto al nitrógeno. Para cada una de

estas relaciones existen tablas con los rangos óptimos y los ajustes que deben hacerse en cada uno de los elementos de la solución estándar (Bemestingsadviesbasis glastuinbouw, 1989).

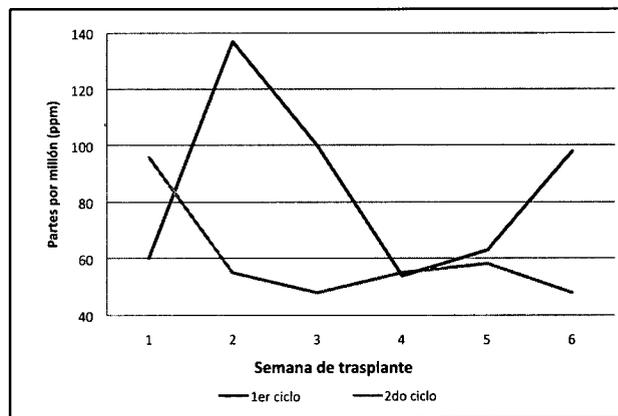
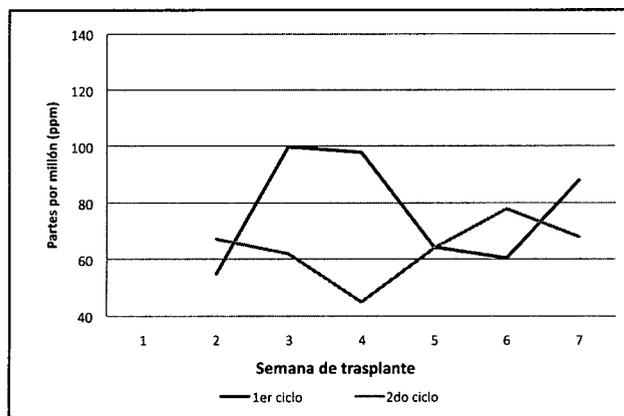
En la figura 1 se presenta el comportamiento del contenido de nitrógeno en el suelo durante dos ciclos consecutivos de producción de tomate en un invernadero de vidrio y uno de plástico. Durante el primer ciclo, el comportamiento del nitrógeno es más inestable a lo largo del ciclo en ambos invernaderos. El segundo ciclo se inicia con un nivel de nitrógeno en el suelo cercano al rango óptimo y a través de la implementación de análisis por el método holandés, se logra mantener una estabilidad mayor del elemento durante todo el ciclo de cultivo.

Con respecto a la conductividad eléctrica, el uso del método volumétrico también permite alcanzar un nivel estable, manteniéndola cercana a 1,4 dS·m⁻¹ que es el ran-

go óptimo para tomate de acuerdo a esta metodología. El promedio de CE que se logró fue de 1,5 dS·m⁻¹ para el invernadero de vidrio y 1,4 dS·m⁻¹ para el invernadero de plástico. Igualmente ocurrió con las lecturas de pH, siendo éste más estable en el invernadero de vidrio que en el de plástico. En ambos casos, hubo una oscilación en un rango estrecho de entre 5,8 y 6,5, siendo este un rango óptimo que facilita la disponibilidad de nutrientes para el cultivo de tomate.

En general, el uso de la fertirrigación acompañado de un muestreo permanente de la disponibilidad de elementos nutritivos en el suelo permite manejar la fertilización fraccionada a lo largo del ciclo de cultivo, adicionando únicamente las cantidades necesarias para cada etapa de desarrollo del cultivo, con el consiguiente uso racional de fertilizantes y el manejo intensivo y constante de la fertirrigación en un mismo invernadero durante varios ciclos consecutivos de cultivo.

Figura 1. Comportamiento del contenido de nitrógeno (ppm) en el suelo durante dos ciclos consecutivos de producción de tomate, en un invernadero de vidrio (izq.) y en uno de plástico (der.).



Análisis complementarios

Se refiere principalmente a los análisis foliares o de tejidos que se utilizan como herramientas complementarias para controlar la fertilización del cultivo.

- Los análisis foliares se toman principalmente cuando hay algún síntoma en el campo que se sospeche asociado a un desequilibrio nutricional. Se recomienda tomar hojas opuestas a los racimos con flores abier-

tas, sacando hojas completas de plantas al azar distribuidas por todo el cultivo, hasta completar mínimo 300 g en fresco. No se recomienda empacar las hojas en bolsas plásticas porque se pueden descomponer y afectar la determinación de laboratorio. Es importante remitirlas lo más pronto posible al laboratorio. Si no se pueden remitir rápido, se deben secar a menos de 70 °C por 24 horas. Como base para la interpretación se presentan los rangos óptimos de nutrientes en el tejido (tabla 4).

Tabla 4. Contenido óptimo de nutrientes en tejido foliar.

Elemento	Unidad	Nivel óptimo mínimo	Nivel óptimo máximo
N	%	2,8	4,2
P		0,3	0,5
K		3,5	5
Ca		1,6	3,2
Mg		0,4	0,5
S		0,6	1,9
Fe	ppm	84	112
Mn		55	65
Cu		6	15
Zn		40	60
B		54	76

Fuente: Laboratorio de fertilidad de suelos, CIAA, 2008.

Acondicionamiento inicial del suelo

Como muchas de las plantas cultivadas, el tomate necesita de suelos bien aireados, con alta capacidad de almacenamiento de agua útil y con un buen nivel de fertilidad o ricos en nutrientes. Aunque bajo condiciones de invernadero se puede cultivar en una gran variedad de suelos, se prefiere aquellos de texturas francas con altos contenidos de materia orgánica. Pueden utilizarse otros tipos de suelos, pero requieren de un manejo que puede ser costoso para adaptarlos a las condiciones de humedad y aireación que requieren las plantas. Las labores que normalmente se tienen que efectuar para darle al suelo las características físicas y químicas necesarias se describen a continuación.

Preparación del suelo

La preparación consiste en arar y rastrillar el suelo para obtener unas condiciones físicas adecuadas en el establecimiento de las plantas, especialmente para el desarrollo del sistema radicular. Es importante verificar las condiciones de drenaje del terreno, ya que puede ser necesario hacer obras para corregir los excesos de humedad, bien sea con sistemas de drenaje enterrado que son bastante costosos o mediante la construcción de zanjas de drenado que garanticen que cualquier exceso de agua será efectivamente evacuado del terreno de cultivo.

Para el tomate, se recomienda hacer una preparación de suelo profunda, como mínimo a 30 cm de profundidad. Para las labores de labranza se debe tener en cuenta la humedad del suelo, ya que en algunos casos si se prepara con éste muy seco, puede pulverizarse demasiado, destruyendo su estructura. En caso contrario, cuando hay mucha humedad se dificulta el laboreo del suelo. Puede ser necesaria una labor de arado y hasta dos pases de rastrillo, dependiendo de las condiciones iniciales del terreno.

Aplicación de materia orgánica

Con la aplicación de materia orgánica se busca principalmente mantener la estructura del suelo y, en general, mejorar sus propiedades físicas, aunque también se aportan nutrientes que se liberarán a lo largo del ciclo de cultivo. Normalmente, la fuente de materia orgánica depende de la disponibilidad en la zona de cultivo, existiendo gran variedad de materiales entre los que se destacan la gallinaza, bovinaza y otros residuos de origen animal, diversos tipos de compost y residuos vegetales. Es aconsejable en general utilizar materiales pasados por un proceso de compostaje para evitar la contaminación del suelo por material fresco con enfermedades e insectos que puedan afectar el cultivo. Más adelante se harán recomendaciones para el manejo de la fertilización orgánica en tomate.

Corrección del pH

En términos generales, el pH es una medida del grado de acidez o alcalinidad del suelo. Químicamente, el pH mide la concentración de iones de hidrógeno, expresada como

BIBLIOTECA DE AGRICULTURA

un exponencial negativo de 10. La neutralidad está definida como un valor de pH igual a 7, de manera que valores de pH por debajo de 7 indican acidez, y por encima de 7, alcalinidad. Desde el punto de vista del pH, los suelos se pueden clasificar en varias categorías que van desde el ultra ácido (con pH menor de 3,5) a muy fuertemente alcalino (con pH mayor de 9,5) (tabla 5). La actividad agrícola normalmente se desarrolla en suelos cuyo pH varía entre 5,5 (moderadamente ácido) a 8,5 (moderadamente alcalino). Suelos con pH fuera de este rango son escasos y generalmente no se consideran aptos para la mayoría de los cultivos.

El pH es muy importante en la producción de tomate, ya que de acuerdo con su valor se aumenta o disminuye la disponibilidad de los elementos nutrientes para la planta. El pH óptimo para la producción de tomates está entre 6,2 y 6,8.

Si al analizar el suelo antes de sembrar, el pH está por fuera de los rangos adecuados, se deben hacer correcciones.

Tabla 5. Calificación del pH del suelo (determinado en agua 1:1).

Valor	Calificación
< 3,5	Ultra ácido
3,5 – 4,4	Extremadamente ácido
4,5 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Moderadamente ácido
6,1 – 6,5	Ligeramente ácido
6,6 – 7,3	Neutro
7,4 – 7,8	Ligeramente alcalino
7,9 – 8,4	Moderadamente alcalino
8,5 – 9,0	Fuertemente alcalino
> 9,0	Muy fuertemente alcalino

Fuente: Soil Survey Division Staff (SSDS, 1993), en Jaramillo, 2002.

La mayoría de los suelos tropicales, incluidos los de nuestro medio, son ácidos o ligeramente ácidos. La acidez disminuye la disponibilidad de nutrientes, principalmente de fósforo y molibdeno, y también la asimilación de potasio, calcio y magnesio, porque compiten con los iones aluminio e hidrógeno. Por esta razón es necesario corregir la acidez, principalmente mediante la aplicación de cal. La aplicación de enmiendas de encalado libera iones hidroxilo (OH-) que combinados con el hidrógeno (H+) forman agua, mientras que el aluminio precipita formando complejos hidroxilados que no son tóxicos para el cultivo.

El tipo de cal y las dosis varían principalmente en función del suelo, para lo cual se debe contar con un análisis previo. Se recomienda hacer el encalado como mínimo un mes antes del trasplante, para que la cal tenga tiempo de reaccionar con el suelo. La aplicación debe ser homogénea y debe incorporarse en las últimas fases de la preparación del mismo.

En la tabla 6 aparecen las dosis aproximadas de los encalados según la textura del suelo.

Se recomienda particularmente el uso de la cal dolomítica que contiene aproximadamente un 55% de carbonato de calcio y que al mismo tiempo se constituye en una fuente de magnesio.

Tabla 6. Necesidades medias de cal (toneladas de carbonato de calcio -CaCO₃ por Ha) para elevar el pH de los suelos ácidos.

Tipo de suelo	pH 4,5 a 5,5	pH 5,5 a 6,5
Arenoso y franco-arenoso	0,7	0,9
Franco-arenoso	1,1	1,6
Franco	1,8	2,3
Franco-limoso	2,7	3,2
Franco-arcilloso	3,4	4,5
Orgánico	7,4	8,5

Fuente: Cadahía, C., 1995.

La conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es un índice utilizado para expresar la concentración de sales en la solución del suelo. Se expresa en $dS\cdot m^{-1}$ ó $mmhos\cdot cm^{-1}$.

A medida que el cultivo comienza a ser fertilizado mediante el sistema de riego, la CE del suelo comienza a subir por efecto de la concentración de sales fertilizantes, pudiendo presentarse problemas como la dificultad de la planta para absorber agua del suelo. La CE óptima para el desarrollo del tomate en suelo está entre 1,5 y 2,0 $dS\cdot m^{-1}$ en extracto.

Fertilización de presembrado

La fertilización de presembrado se hace para equilibrar los niveles de nutrientes en el suelo, de manera que el establecimiento de la planta sea óptimo. Usualmente se aplican elementos mayores, especialmente calcio y fósforo, que son los de menos solubilidad y más difíciles de corregir cuando el cultivo ya está sembrado, pero también se pueden aplicar algunos elementos menores, si se requiere.

Dependiendo del nivel de fertilidad natural del suelo, será necesario aplicar fertilizantes y enmiendas (cal, principalmente) para acondicionarlo antes de la siembra. Por ejemplo, si el nivel de nitrógeno mineral ($N-NH_4 + N-NO_3$) del análisis es de 50 ppm, significa que es necesario aplicar 75 ppm de este elemento, que equivalen a 15 g por m^2 (150 kg por Ha).

Los fertilizantes a aplicar se pueden incorporar con la cal (mínimo un mes antes), aunque es ideal aplicarlos por separado, una o dos semanas antes del trasplante, siempre y cuando se cuente con los recursos necesarios para esta aplicación adicional.

Las dosis y tipos de fertilizantes a utilizar dependerán del tipo de suelo, de la variedad a utilizar, del sistema de cultivo (a campo abierto, en invernadero suelo o invernadero hidropónico), del tipo de riego y según las recomendaciones del análisis de suelos. Los niveles de elementos óptimos en el suelo para tomate bajo invernadero recomendados por el Laboratorio de Suelos del CIAA se indican en la tabla 7.

Para una mayor eficiencia en la distribución de fertilizantes en el terreno, las recomendaciones se deben expresar en

Tabla 7. Niveles óptimos de elementos en el suelo para tomate bajo invernadero.

Elemento	Unidades	Nivel óptimo	Método de extracción
PH	unidades de pH	6,2 – 6,8	Agua : suelo, 1:1
CE	$dS\cdot m^{-1}$	< 2,95	Extracto de saturación
Nitrógeno mineral	ppm	125	KCl 1 N
Fósforo	ppm	550	Lactato
Potasio	% de saturación	*4 - 5	Acetato de amonio 1 N pH 7
Calcio	% de saturación	*60 -70	Acetato de amonio 1 N pH 7
Magnesio	% de saturación	*15 - 20	Acetato de amonio 1 N pH 7
Sodio	% de saturación	<1	Acetato de amonio 1 N pH 7
Azufre	ppm	25	Pasta de saturación
Hierro	ppm	20	DTPA
Manganeso	ppm	15	DTPA
Zinc	ppm	4,5	DTPA
Cobre	ppm	1,5	DTPA
Boro	ppm	0,45	Pasta de saturación
Aluminio	$cmol(+)\cdot Kg^{-1}$	< 1	KCl 1 N

Nota: los niveles de calcio, magnesio, potasio y sodio dependerán de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la cual se debe analizar.

Fuente: Laboratorio de Suelos, CIAA, 2008. *Gomez, M.I. et.al, 2005.

cantidades (gramos –g– o kilogramos –kg–) de cada fertilizante por m² de suelo. Seguidamente, se debe trazar, con la ayuda de estacas e hilos, franjas de terreno no muy grandes y pesar los fertilizantes necesarios para esa área. Luego, mezclarlos uniformemente y aplicarlos franja por franja de manera también uniforme.

Inicialmente, las mayores necesidades nutricionales del cultivo son de nitrógeno y fósforo, los cuales promueven el crecimiento vegetativo y radical, respectivamente. Más adelante, a medida que comienza el desarrollo de frutos, aumentan los requerimientos de elementos como potasio y magnesio.

Fertilización de mantenimiento o de proceso

Durante el cultivo, es necesario proporcionar a las plantas una nutrición adicional a la suministrada al suelo antes del trasplante. Esto se define como fertilización de mantenimiento o de proceso, cuyo objeto es remplazar en el suelo el nutriente que va siendo absorbido por las plantas y evitar así que se presenten deficiencias u otros desequilibrios nutricionales. Las necesidades de nutrientes del cultivo varían de acuerdo con el estado de crecimiento, la variedad y las condiciones del tiempo, entre otros factores. En la tabla 8 se presenta la absorción de nutrientes por tonelada de producto cosechado.

Una vez establecido el cultivo, el suministro adicional de nutrientes puede hacerse a través del sistema de riego (fertirrigación), que es lo más apropiado. Para aplicar la fertilización de mantenimiento en forma líquida o fertirrigación, existen diferentes tipos de soluciones nutritivas que pueden utilizarse, las cuales deben adaptarse según

Tabla 8. Cantidad total de nutrientes absorbidos por el tomate (kg por tonelada cosechada).

Elemento	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
Kg	2,8	0,4	5,4	3,9	1,2	0,9

Fuente: Ciampitti & García (sf).

los resultados del análisis del suelo, el estado de desarrollo de la planta, la frecuencia de aplicación y las condiciones ambientales, principalmente. En la tabla 9 se presenta a manera de ejemplo una solución nutritiva estándar para tomate bajo invernadero. Esta solución se debe adaptar y controlar según las condiciones indicadas, para evitar desequilibrios nutricionales que afectarán el rendimiento y calidad de la cosecha.

Cuando no se tiene sistema de riego que permita aplicar los nutrientes en forma líquida, puede utilizarse fertilización sólida, aplicando las cantidades necesarias por metro cuadrado o por planta, cada determinado tiempo. Es importante hacer énfasis en las épocas de alta demanda del cultivo, como durante la floración y el desarrollo de frutos.

Durante el desarrollo del cultivo es importante hacer controles de campo y de laboratorio del pH y la CE.

Tabla 9. Solución nutritiva estándar para tomate en suelo bajo invernadero.

Elemento	mmol·l ⁻¹	ppm
N-NH ₄	0,5	7
N-NO ₃	9,4	132
N total	9,9	139
P	1	31
K	5	195
Ca	2	80
Mg	1,5	36
S	1,05	34
	μmol·l ⁻¹	ppm
Fe	70	3,9
Mn	25	1,4
Cu	1,2	0,08
Zn	4	0,26
B	30	0,3
Mo	0,5	0,05
	dS·m ⁻¹	
CE aprox.	1,25	

Fuente: Laboratorio de Suelos, CIAA, 1999.

Fertilización líquida

En los cultivos bajo invernadero con cierto grado de tecnificación para aplicar la fertilización de mantenimiento, se utiliza la fertirrigación o aplicación a través del sistema de riego. Para el uso de la fertirrigación se debe tener en cuenta:

Calidad del agua

Para la aplicación de fertilizantes en forma líquida, se deben tener en cuenta algunos parámetros de calidad del agua de riego:

- En lo posible, el agua debe estar libre de partículas en suspensión como arena, materia orgánica, arcilla, etc., las cuales pueden ser eliminadas con un adecuado sistema de tratamiento, mediante filtrado, principalmente.
- Debe estar libre de altas cantidades de sustancias en solución, es decir, no debe ser salina o con una elevada conductividad eléctrica. En términos generales, la CE debe estar por debajo de 0,3 dS·cm⁻¹. Las sales disueltas en el agua de riego pueden interactuar con los fertilizantes aplicados y afectar su solubilidad.
- El pH debe estar entre ligeramente ácido y ligeramente alcalino.
- Debe, además, tener un pH cercano a la neutralidad o ligeramente ácido o ligeramente alcalino. Si el pH es muy alto, requerirá tratamiento con ácidos.

Tipos de fertilizantes

No todos los productos disponibles en el mercado son adecuados para uso en fertirrigación. Los productos a utilizar deben tener las siguientes características:

- Alta solubilidad.
- Bajo costo por unidad de nutriente.
- Ausencia de contaminantes (como sodio, cloro y partículas insolubles).

- Facilidad de manejo o manipulación.
- Posibilidad de aplicar varios nutrientes con un solo producto.

Según como se describió en el capítulo de producción de plántulas, los fertilizantes utilizados para la preparación de una solución nutritiva pueden provenir de dos fuentes principales. Los fertilizantes simples, los cuales aportan solamente uno o dos elementos nutritivos, donde para cada elemento requerido en la solución, existen por lo general varios productos que lo contienen en concentraciones diferentes, lo cual facilita la combinación de varios productos para obtener la solución final deseada. Y, por otra parte, están los fertilizantes compuestos, que aportan al mismo tiempo un alto número de elementos nutritivos, incluyendo elementos mayores y elementos menores.

Preparación de soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas se formulan a partir de la disolución de fertilizantes en agua y deben contener todos los elementos esenciales para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas. La concentración de un elemento nutritivo dentro de la solución nutritiva usualmente se mide en unidades de milimoles por litro (mmol·l⁻¹) o en partes por millón (ppm). Una parte por millón significa sencillamente que se tiene una parte del elemento fertilizante en un millón de partes de agua. Por ejemplo, una parte de nitrógeno en un millón de partes de agua es igual a 1 ppm. Para ser más exactos, un miligramo de nitrógeno contenido en un litro de agua es igual a 1 ppm por cuanto un litro de agua contiene un millón de miligramos.

Dosificación y aplicación de soluciones nutritivas

De acuerdo con el grado de tecnificación del cultivo, se utilizan los siguientes sistemas para aplicar el fertirriego:

1. Sistema con un solo tanque, en el que se diluyen los fertilizantes requeridos y se aplican al cultivo. Cuando se tiene un solo tanque, se dificultan las mezclas de diferentes tipos de productos cuando éstas se hacen en altas concentraciones, lo que causa problemas en el manejo del fertirriego. Generalmente, cuando se tiene un solo tanque se aplican dosis altas con baja frecuencia.

2. Sistema de dos o más tanques. Esto facilita las mezclas de productos y permiten la aplicación de todos los nutrientes requeridos. En muchos casos se tienen dos tanques (A y B) para preparar soluciones concentradas y un tercer tanque para diluir y aplicar directamente al cultivo. Normalmente se recomienda disolver en el primer tanque (A) los nitratos (todo el nitrato de calcio y la mitad del nitrato de potasio) y en el segundo tanque (B) los sulfatos, el fósforo y los elementos menores. Si se tienen tres tanques, es ideal separar la fuente de fósforo de los demás fertilizantes, sobre todo cuando se usa ácido fosfórico.

3. Sistemas de inyección con uno o varios tanques, donde se prepara la solución concentrada y se inyecta a la tubería de riego. Si se tiene un solo inyector, se corre el riesgo de no poder mezclar productos, por lo que se aconseja tener dos o más inyectores. Los sistemas de inyección se justifican para cultivos de grandes áreas.

Con la fertilización líquida se pueden hacer fundamentalmente dos tipos de manejo:

- Altas dosis y baja frecuencia de aplicación, que consiste en aplicar soluciones nutritivas muy concentradas, pero con baja frecuencia, es decir, una o máximo dos veces a la semana. Este manejo está asociado con cultivos de menor grado de tecnificación, en donde se dificulta la aplicación frecuente. Con este tipo de manejo, el sistema radical se somete a condiciones variables, lo que causa estrés y a su vez puede producir desequilibrios nutricionales y bajo rendimiento, por lo cual no se recomienda.
- Aplicación frecuente con dosis moderadas, lo que implica fertirrigar siempre que se riega, con una solución nutritiva completa. Es el manejo más adecuado porque reduce los riesgos de causar desequilibrios nutricionales, estrés y salinización del suelo. Además, el regar siempre con una solución completa aumenta la eficiencia de absorción de nutrientes de la planta.

Fertilización orgánica en tomate

La incorporación de la materia orgánica es un factor fundamental a tener en cuenta en cualquier programa de

manejo de la fertilidad y conservación de suelos. El aporte de materia orgánica influye directamente en el manejo de los suelos, por cuanto equilibra y reestablece, en cierto modo, las condiciones iniciales de cultivo que se modifican por efecto del proceso productivo. En muchos casos, cuando los suelos presentan un alto grado de degradación el aporte de estos materiales se hace indispensable. Además, como respuesta a esta degradación la cantidad de material que debe suministrarse puede superar las condiciones económicas de los agricultores, lo que implica que se deban buscar alternativas eficientes para efectuar estos aportes.

Aunque la aplicación de enmiendas orgánicas, tales como compost proveniente de deyecciones animales y residuos vegetales, se ha manejado convencionalmente con el objetivo de elevar los contenidos de materia orgánica del suelo y asegurar la estabilidad estructural y nutricional del mismo, esta aplicación se ha realizado de forma empírica, sin tener en cuenta el real aporte del material a aplicar, el contenido nutricional del suelo y la extracción del cultivo (Monsalve *et. al.*, 2008). Es por esto que se han llevado a cabo ensayos en el CIAA, con el objetivo de establecer un método de aplicación de abonos orgánicos, teniendo en cuenta los aspectos antes mencionados.

La metodología para determinar los requerimientos nutricionales basados en el uso de materiales orgánicos fue adaptada del método de laboratorio implementado para recomendaciones de fertilización sólida, basados en compuestos de síntesis química llevados a cabo en el laboratorio de suelos, aguas y foliares del CIAA. La formulación de las dosis está basada en el contenido nutricional de los materiales orgánicos comúnmente utilizados tanto en agricultura limpia como orgánica (tabla 10) y los requerimientos tanto de las plantas como del suelo, tomando como base la fórmula:

$$NA = (NO - NE) - ND$$

Donde: NA = nutriente a aplicar; NO = Nivel óptimo recomendado para el suelo; NE = nutriente extraído y ND = nutriente disponible para el suelo.

Como se muestra en la fórmula, para lograr una aplicación eficaz de abonos orgánicos en donde el aporte nutricional de éstos sea el deseado, debe tenerse en cuenta el contenido nutricional del suelo, el nivel nutricional óptimo para

el mismo y la extracción del cultivo. Con estos datos se halla la cantidad de nutriente que debe aplicarse y es en este momento donde debe conocerse el contenido nutricional de los posibles materiales a implementar.

Tabla 10. Contenido nutricional de materiales orgánicos utilizados comúnmente.

MATERIAL	N	P2O5	K2O	CaO	MgO	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Bokashi	1,6%	1,6%	3,7%	7,0%	1,4%	0,3%	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Compost de bovinaza	2,2%	1,2%	1,2%	3,0%	0,3%	0,3%	1,0%	0,1%	0,0%	0,2%	0,0%
Compost de caprinaza	0,8%	3,2%	1,5%	16,0%	0,5%	0,3%	1,3%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%
Compost de conejaza	2,4%	2,7%	1,7%	3,0%	1,1%	0,4%	0,4%	0,0%	0,0%	1,3%	0,0%
Compost de gallinaza	1,7%	2,6%	3,2%	1,1%	1,3%	4,5%	0,3%	0,1%	0,2%	0,1%	0,0%
Compost de lombrinaza	1,5%	0,6%	1,4%	1,0%	0,4%	0,2%	1,3%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%
Compost de pastura	1,0%	0,7%	3,5%	4,0%	0,7%	0,3%	1,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Compost de porquinaza	2,4%	1,6%	0,4%	1,0%	0,1%	0,3%	0,4%	0,0%	0,1%	1,2%	0,0%
Compost de residuos vegetales	1,1%	0,6%	0,8%	3,0%	0,6%	0,3%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Compost de rosas	2,2%	0,5%	2,4%	3,0%	4,0%	0,3%	0,6%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%

Fuente: Laboratorio de suelos, aguas y foliares, CIAA, 2008.

Una vez determinados los factores antes mencionados, se puede llegar a establecer una fórmula de fertilización orgánica adecuada para el cultivo. No obstante, se deben tener en cuenta aspectos ambientales como luminosidad, tem-

peratura, humedad relativa, y condiciones del suelo como textura, estructura, grado de compactación y contenido de humedad, que influyen directamente en el proceso nutricional de la planta.

Además de todo esto, conviene tener en cuenta la lenta liberación de nutrientes que poseen los materiales orgánicos. Ensayos parciales de mineralización de nitrógeno llevados a cabo en los laboratorios del CIAA muestran que materiales orgánicos con un porcentaje de nitrógeno de entre 1,5 y 2,5, presentan contenidos de nitrógeno potencialmente mineralizable más altos que materiales con contenidos de nitrógeno menores al 1%, lo que resulta bastante lógico (Figuroa *et. al.*, 2008). Sin embargo, la tasa de liberación de ese nitrógeno para todos los materiales es muy lenta (mayor a 7 semanas) lo que hace necesario elevar el aporte del material a aplicar en dosis al doble y cuádruple del arrojado por la fórmula de fertilización. Un ensayo de

fertilización orgánica en tomate ecológico bajo invernadero, realizado en el municipio de Soacha (Cundinamarca), demostró que aplicaciones de lombrihumus al cuádruple de la dosis establecida mediante la fórmula de fertilización, aumentaba en más del doble la producción de tomate bajo las condiciones del ensayo (Escobar *et.al.*, 2008).

Con el objetivo de establecer un balance nutricional dentro de la fórmula de fertilización, es posible adicionar compuestos tales como sulfatos, cales y rocas fosfóricas que permitirán adecuar la fórmula de fertilización orgánica, de manera que el aporte de nutrientes sea el adecuado para suplir las necesidades del cultivo de tomate (tabla 11).

Tabla 11. Compuestos que pueden servir de complemento en las fórmulas de fertilización orgánica.

MATERIAL	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Fe	Mn	Cu	Zn
Roca fosfórica	23,0%								
Feldespato K		12,0%							
Cal agrícola			85,0%						
Cal dolomita			47,0%	13,0%					
Sulfato de potasio		50,0%			16,0%				
Sulfato de calcio (yeso)			20,0%		16,0%				
Sulfato de magnesio				16,0%	12,0%				
Sulfato de hierro						22,0%			
Sulfato de manganeso							30,0%		
Sulfato de cobre								25,0%	
Sulfato de zinc									28,0%

Deficiencias nutricionales

Una deficiencia nutricional es la carencia de uno o más elementos minerales, lo cual ocasiona un mal funcionamiento de la fisiología de la planta resultando en un crecimiento anormal. La deficiencia de cada uno de los elementos

esenciales da lugar a diferentes síntomas en la planta, que pueden utilizarse para identificar dicha deficiencia. Las deficiencias que se observan con más frecuencia en el medio colombiano son las de fósforo, magnesio, hierro y manganeso. De todos modos, se discuten brevemente todas las posibles deficiencias.

Deficiencia de elementos mayores

Las plantas, en la mayoría de los casos, reflejan mediante síntomas visibles los excesos o deficiencias nutricionales que generalmente son consecuencia del manejo incorrecto de la fórmula de fertilización. Coloraciones atípicas del follaje, retardos en el crecimiento y malformaciones del fruto son algunas de las expresiones reflejadas por la planta ante una necesidad nutricional insatisfecha y que pueden dar origen a diferentes desórdenes fisiológicos. Generalmente, cuando estas expresiones se hacen notorias, la insuficiencia nutricional presenta un estado de avance considerable.

Nitrógeno

Este nutriente contribuye principalmente al crecimiento de la parte vegetativa (hojas y tallos) y en menor grado al crecimiento de los frutos. Los síntomas de deficiencia son la reducción de la tasa de crecimiento de las plantas, las cuales generalmente se vuelven cloróticas (amarillas) por la pérdida de clorofila, especialmente en las hojas más viejas. El tallo, los pecíolos y las superficies de las hojas pueden tomar una coloración verde pálido o púrpura. Los frutos se quedan pequeños. El exceso de nitrógeno, por su parte, induce un excesivo crecimiento vegetativo en detrimento de la producción de frutos.

Para el control de la deficiencia de nitrógeno se recomienda aplicar por vía foliar una solución de entre 1 y 2% con un fertilizante de alta solubilidad que contenga entre 15 y 20% de nitrógeno en su composición, o aplicar al suelo una dosis de al menos $1,5 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ de nitrógeno.

Fósforo

Aunque el fósforo es usado en cantidades mucho menores que el nitrógeno y el potasio, su presencia es necesaria permanentemente. Inicialmente, el fósforo es importante para el desarrollo de las raíces, especialmente bajo condiciones de suelos con baja temperatura, pero también tiene un efecto significativo en el crecimiento vegetativo y en el cuajamiento de los frutos. La deficiencia ocurre con frecuencia en la etapa de semillero y se relaciona con temperaturas bajas. Se diagnostica con relativa facilidad por el color púrpura-azuloso de las hojas más jóvenes. En plantas grandes, los síntomas de la deficiencia son la deten-

ción del crecimiento y tallos delgados. Las hojas toman a menudo un color verde azulado en el haz, y en el envés las nervaduras se tornan púrpuras. En casos severos, las hojas se quedan pequeñas, duras, dobladas hacia abajo y se puede producir su caída prematura.

El control de la deficiencia de fósforo se hace añadiendo fosfato monopotásico, fosfato monoamónico o ácido fosfórico a la solución de nutrientes. En el caso de tener el problema en semillero, se recomienda aumentar la temperatura nocturna.

Potasio

El potasio tiene una gran influencia en la calidad del fruto. Los niveles de potasio son particularmente importantes desde el momento del trasplante para un crecimiento más balanceado y más tarde para la prevención de desórdenes durante la maduración de los frutos.

Los síntomas son visibles primero en las hojas más viejas, en donde los márgenes se vuelven rizadas, con clorosis entre las nervaduras. En las hojas intermedias también hay clorosis de las nervaduras. El desarrollo de la planta se reduce y las hojas permanecen pequeñas. Los frutos se cubren con manchas y maduran de forma irregular presentando áreas verdosas.

Esta deficiencia puede controlarse adicionando sulfato de potasio o nitrato de potasio a la solución de nutrientes.

Calcio

En la mayoría de los casos, la deficiencia de calcio no se debe a su bajo nivel en el suelo, sino que es inducida. La causa más común es el estrés de agua en la planta, resultado de un plan de riegos inadecuado o de grandes variaciones en la humedad relativa y los altos niveles de sales en el suelo. Es un elemento muy poco móvil dentro de la planta, por lo cual los síntomas se presentan primero en las hojas más jóvenes. Los bordes se amarillean y el envés se vuelve pardo oscuro. Las hojas en formación permanecen finas, deformes y sus bordes se curvan hacia arriba.

Un caso típico de deficiencia de calcio en tomate es la pudrición terminal del fruto. Se manifiesta por una pudrición

en la parte inferior del fruto, la cual es amarillenta al principio y luego se vuelve oscura. En frutos verdes el primer síntoma son unas zonas grisáceas en la parte distal de los frutos. En la parte afectada se va formando una concavidad o depresión, pero no hay rompimiento de la piel. En lesiones avanzadas, los frutos aparecen achatados y su maduración se acelera.

Este desorden es atribuido a una deficiencia de calcio en el fruto, que ocurre por un desequilibrio entre su crecimiento, la acumulación de materia seca y la incorporación de calcio en las paredes celulares del mismo. El fenómeno está relacionado con múltiples factores como deficiencia natural de calcio en el suelo, pH muy bajo, conductividad eléctrica alta, baja humedad en el suelo y alta velocidad de transpiración. Está comprobado que el calcio llega al fruto principalmente por el flujo de transpiración de la planta o xilema; no hay una redistribución del calcio desde las hojas hacia los frutos por medio del floema. En el caso de que la planta esté transpirando a una velocidad muy elevada, todo el flujo de la transpiración en donde va el calcio se dirige hacia las hojas, causando deficiencia de calcio en los frutos. Igualmente, cuando la conductividad eléctrica del suelo es muy elevada, se dificulta la transpiración y con ello la absorción del calcio. Las variedades de crecimiento rápido son más susceptibles a este desorden que aquellas de crecimiento lento.

Para prevenir la pudrición terminal del fruto, pueden tomarse algunas medidas preventivas como:

- Encalar el suelo para subir el pH y aumentar la disponibilidad de calcio, utilizando preferiblemente fertilizantes con nitrógeno en forma de nitratos y no como amonio (ej. urea), ya que éstos inducen la acidificación del suelo (bajan el pH).
- Utilizar soluciones nutritivas balanceadas de acuerdo al estado de crecimiento del cultivo y evitar la concentración excesiva de elementos nutritivos en la solución.
- No hacer una excesiva poda de frutos en los racimos, ya que cuanto menos frutos haya, éstos crecen más rápido y se aumenta la probabilidad de una deficiencia.
- Escoger variedades de crecimiento menos rápido.

En el caso de observar el problema en el cultivo, pueden tomarse las siguientes medidas correctivas:

- Aumentar el suministro de agua en el suelo, puesto que el calcio es un elemento muy inmóvil que se transporta principalmente por la corriente de transpiración.
- Bajar el nivel de la conductividad eléctrica en el suelo; esto facilitará la absorción de agua y calcio. Una conductividad baja también ayudará a que, por medio de la presión de raíces, llegue calcio a los frutos durante las noches.
- Bajar el nivel de otros cationes en el suelo, como el potasio, el magnesio y el amonio, que pueden estar compitiendo con el calcio.

Podar algunas hojas para disminuir la velocidad de transpiración de la planta. Con esto hay que tener cuidado, ya que también se disminuirá la capacidad fotosintética de éstas. En los frutos aparece una pudrición en la parte inferior, conocida como pudrición terminal del fruto.

La adición de nitrato de calcio a la solución de nutrientes puede ser la mejor medida de control.

Magnesio

Aunque la deficiencia de magnesio es común, ésta raramente provoca la reducción de la producción. Sin embargo, puede resultar en una mayor susceptibilidad a patógenos como *Botrytis sp.* y otras enfermedades. La deficiencia usualmente existe sólo en la planta y no en el suelo, y está relacionada con alta presencia de potasio o pobre desarrollo radicular, que dificultan la toma de magnesio por parte de la planta. Esto la induce a mover el magnesio desde las hojas más viejas hasta las más nuevas, de ahí que los síntomas aparecen primero en aquellas. Se inicia por una clorosis de las márgenes que va progresando hacia el centro. Los espacios intervenales se amarillean mientras que las venas permanecen verdes. Cuando la deficiencia es severa se produce la muerte de las hojas viejas, toda la planta se vuelve amarilla y se reduce la producción de frutos.

La deficiencia de magnesio ocurre con frecuencia en plantas que desde pequeñas soportan una alta carga de frutos,

aún en suelo con un nivel normal de magnesio. El síntoma es difícil de corregir con aplicaciones de magnesio, pero puede prevenirse aumentando el nivel de este elemento en presiembra, bajando el nivel de cationes que compiten con él –como el potasio y el calcio– y disminuyendo la carga de frutos en plantas en fase de desarrollo.

La incorporación de sulfato de magnesio mediante una aspersión foliar al 2%, o en la solución de nutrientes, puede ayudar a controlar la deficiencia de magnesio.

Azufre

Este elemento raramente es un problema, puesto que está presente en muchos fertilizantes. Su deficiencia se manifiesta por la rigidez de las hojas superiores que se curvan hacia abajo y eventualmente aparecen puntos necróticos alargados.

Deficiencia de elementos menores

Los elementos menores o microelementos, aunque son requeridos por la planta en cantidades mucho más pequeñas que los elementos mayores, son esenciales para el normal crecimiento y desarrollo de la planta. De la misma forma, su uso en cantidades excesivas puede provocar acumulaciones en el tejido vegetal afectando el metabolismo y reduciendo el crecimiento.

Hierro

La deficiencia aparece primero en las hojas más jóvenes en las cuales comienza una clorosis en los márgenes que se va extendiendo por toda la hoja. Al principio, las nervaduras secundarias permanecen verdes, dando la apariencia de una red de venas verdes sobre un fondo amarillo. El crecimiento se detiene, las hojas se quedan con un tamaño más pequeño que el normal y hay aborto de flores.

Añadir un quelato de hierro a la solución de nutrientes puede ayudar al control de la deficiencia. La deficiencia de hierro puede ocurrir por la presencia excesiva de manganeso en la solución del suelo. En caso severo se recomienda una aplicación foliar.

Manganeso

Las hojas medias y viejas se vuelven pálidas y más tarde también las hojas jóvenes. Es característico un reticulado de nervaduras verdes con un fondo de color amarillo de las hojas jóvenes. Más tarde aparecen puntos necróticos en las zonas decoloradas. La clorosis es menos severa que en los síntomas de carencia de hierro, pero se observa en otras partes de la planta y no sólo en las hojas jóvenes.

La adición de sulfato de manganeso a la solución de nutrientes o al suelo ayuda a controlar la deficiencia.

Zinc

Las hojas viejas y terminales son más pequeñas de lo normal. Se desarrolla un moteado acorchado, especialmente en los pequeños pecíolos de los folíolos y en las zonas entre las nervaduras. Los pecíolos se rizan hacia abajo y las hojas se enrollan completamente.

Su deficiencia se puede controlar adicionando zinc a la solución de nutrientes, ya sea en forma de quelato o sulfato.

Boro

El boro es otro de los elementos más inmóviles. Su deficiencia se manifiesta inicialmente en las hojas jóvenes afectando el punto de crecimiento. Los brotes comienzan a palidecer, se entorchan hacia abajo, reducen su crecimiento y terminan por morir deteniendo completamente el crecimiento de la planta. Las hojas son pequeñas, deformes, con áreas de coloración irregular.

Se puede controlar añadiendo bórax o solubor a la solución de nutrientes.

Cobre

En las hojas medias y jóvenes, los márgenes se rizan como un tubo. Las hojas toman un color verde azulado, pero no hay clorosis ni necrosis. Las hojas terminales se vuelven rígidas y dobladas. Los pecíolos también se doblan hacia abajo.

Su deficiencia se controla mediante la adición de sulfato de cobre a la solución de nutrientes.

Molibdeno

Las hojas muy jóvenes presentan zonas de color amarillo pálido entre nervaduras, los bordes se rizan hacia arriba en forma de tubo, los nervios secundarios no permanecen verdes, la necrosis comienza en las zonas amarillas y en los bor-

des de las hojas nuevas terminales. El problema se acentúa en condiciones de fertilización excesiva con nitrógeno.

Añadir alguna fuente de molibdeno como molibdato de amonio o molibdato de calcio a la solución es la forma más recomendable de control.

Bibliografía

CADAHIA, C. 1995. «Fertilización». En: Nuez, F. (ed.) *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundiprensa.

CASTILLA, N. 1995. «Manejo del cultivo intensivo con suelo». En: Nuez, F. (ed.). *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundiprensa.

CENTRO DE INVESTIGACIONES Y ASESORÍAS AGROINDUSTRIALES (CIAA). 2000. «Desarrollo de la producción y el mercadeo de la lechuga, el tomate y la zanahoria dentro del programa Eurofresh». Segundo informe técnico ante COLCIENCIAS. Bogotá.

———. 2008. Laboratorio de fertilidad de suelos CIAA. Bogotá.

CIAMPITI, I. y F. GARCÍA. (sf). «Requerimientos Nutricionales Absorción y Extracción de Macronutrientes y Nutrientes secundarios». *Archivo agronómico* # 12. IPNI Cono Sur Buenos Aires, Argentina.

ESCOBAR, H., O. MONSALVE & L. MEDINA. 2008. *Efecto de la incorporación de humus de lombriz sobre la producción y calidad de un cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo condiciones de invernadero*. Bogotá: Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA).

FIGUEROA, A., O. MONSALVE, C. SALAMANCA & A. FORERO. 2008. *Determinación de la tasa de mineralización de nitrógeno de 7 materiales orgánicos mediante pruebas de incu-*

bación. Bogotá: Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA).

GLASS, A.D.M. 1989. *Plant Nutrition, an Introduction to Current Concepts*. Boston (USA): Jones and Bartlett Publishers.

GÓMEZ, M.I. 2005. *Guía técnica para el manejo nutricional de los cultivos*. Seminario taller MICROFERTISA. Bogota D.C.

GUERRERO, R. 1994. «Fundamentos técnicos para la fertilización de cultivos». En: Silva, F. (ed.). *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control*. Bogotá: Editora Guadalupe.

HOCHMUTH, G. 1995. *Greenhouse Tomato Nutrition and Fertilization for Southern Latitudes*. American Society of Horticultural Science Seminar Series.

JARAMILLO, D. 2002. *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín: Facultad de Ciencias.

MARSCHNER, H. 1986. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. London: Academic Press.

MEDINA, L.A. 1998. «Estudio del efecto de algunas deficiencias minerales en clavel (*Dianthus caryophyllus*) bajo invernadero y en cultivo hidropónico». *Acopafior*, 4 (2): 42-47.

———. 2000. «Criterios generales para el uso de fertilizantes orgánicos». En: *Preparación de abonos orgánicos*, Ed. R. Lee. Documento CIAA.

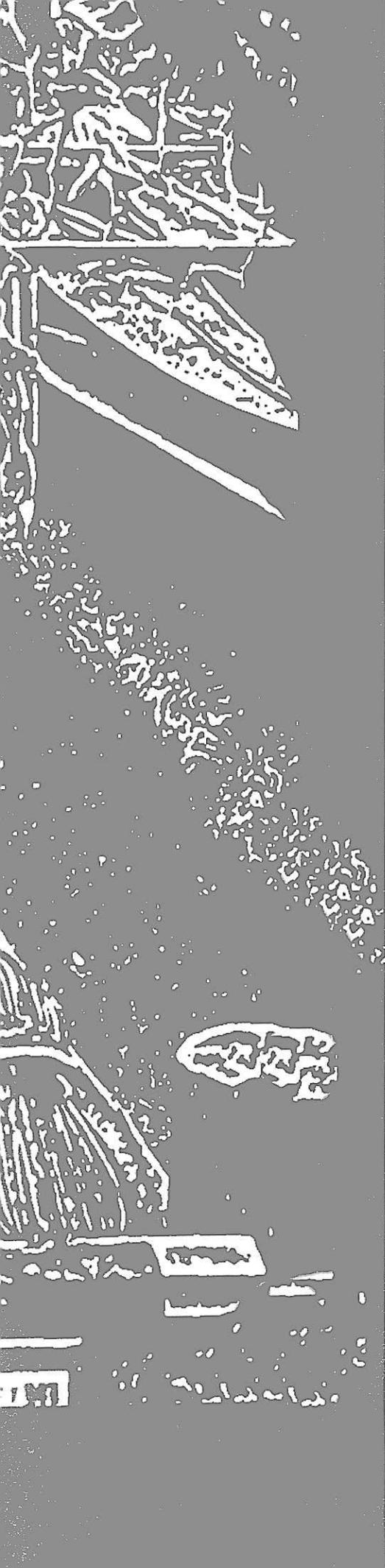
- MENGEL, K. & E.A. KIRBY. 1982. *Principles of Plant Nutrition*. Berna (Suiza): International Potash Institute.
- MONSALVE, O., H. ESCOBAR & L. MEDINA. 2008. Estrategias de fertilización para sistemas de producción de tomate (*Solanum lycopersicum*) bajo invernadero basados en el uso de materiales orgánicos. Estudio de caso. Bogotá: Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA).
- PAPADOPOULOS, A.P. 1991. *Growing Greenhouse Tomato in Soil and in Soilless Media*. Ottawa: Agriculture Canada Publication.
- SALISBURY, F.B. & C.W. ROSS. 1994. *Fisiología vegetal*. México, D.F.: Grupo Editorial Iberoamérica.
- WILCOX, G. 1993. «Tomato». En: William, F. (ed.). *Deficiencies and toxicities in crops plants*. American Phytopathology Society. USA.



1111
1111

1111

1111



Manejo de tomate hidropónico

5

Kris A. G. Wyckhuys y Hugo Escobar

Introducción

Aunque literalmente hidroponía significa “la producción de cultivos en agua”, en la actualidad se considera como la ciencia de producir plantas “sin suelo”. A lo largo de la historia de la humanidad, la hidroponía ha sido adoptada por varias culturas. Ejemplos de ésta son los jardines colgantes de Babilonia, el cultivo de plantas en agua en el antiguo Egipto y los jardines flotantes de los Aztecas, en México, igual que en la China imperial. Todas esas culturas ensayaron con la producción de plantas sin suelo y libremente adoptaron esas estrategias en sus sistemas agrícolas. Sin embargo, esto duró hasta fines de 1920 cuando la industria de invernaderos mostró interés en adoptar sistemas hidropónicos a escala comercial. Después de varias décadas de ensayos, se observó el despegue definitivo de cultivos sin suelo en Japón y Europa.

Hoy en día, la hidroponía se ha vuelto una realidad para productores de hortalizas en varias partes del mundo, está ampliamente adoptada en virtualmente todas las zonas climáticas y fundamentada en una ciencia bien desarrollada. Con el desarrollo de los plásticos, la automatización y los sistemas de fertirriego, la producción de hortalizas

por hidroponía se ha convertido en una opción relativamente barata, eficaz y conveniente. Ha hecho posible la producción de hortalizas en zonas áridas o bajo condiciones adversas; ya está siendo evaluada esta producción en submarinos y estaciones espaciales. A pesar de sus antecedentes históricos y méritos actuales, la hidroponía es relativamente joven y su potencial ha sido apreciado paulatinamente. También, aunque la (aparente) complejidad de sistemas hidropónicos le crea una imagen de ser sólo apta para el mundo desarrollado, tiene bastante potencial de contribuir a la seguridad alimentaria en países en desarrollo. De hecho, en la actualidad en varias zonas del mundo en vías de desarrollo se están promoviendo prácticas de hidroponía "simplificada" para producción de lechuga, tomate y zanahoria, entre otras plantas, en zonas urbanas. Vale también destacar la creciente competitividad de la producción hortícola en el mundo en vías de desarrollo considerando los altos costos de mano de obra y creciente precio de calefacción de invernaderos en Europa y EE.UU., en la cual la adopción de cultivos hidropónicos debería jugar un rol importante. En Colombia, la hidroponía está adaptada principalmente a la producción de flores en la Sabana de Bogotá y Antioquia, pero sigue siendo una rareza en los demás sistemas agroproductivos. Falta más difusión sobre sus múltiples ventajas y más asistencia técnica para establecerla en nuevos cultivos.

En general, se notan grandes incrementos de rendimiento para cultivos hidropónicos, en comparación con cultivos en suelo. Ese incremento de niveles de producción se debe a varios factores, entre ellos la disminución de problemas con plagas y enfermedades, especialmente a nivel radicular y la facilidad para hacer una fertilización dirigida y ajustada a las necesidades de la planta. Aparte de los beneficios en rendimiento, existen otras ventajas de uso de hidropónicos. Sin embargo, hay también ciertas desventajas de su uso, como son el costo inicial para adecuar la infraestructura (por ejemplo, los sistema de riego, bombas, inyectores, equipos de monitoreo, entre otros), la presencia de ciertas enfermedades que pueden proliferar por el sistema de fertirriego y la complejidad en el manejo de la nutrición vegetal. No obstante, las ventajas –nutrición más eficiente, potencial de agroproducción en condiciones adversas, uso eficiente de agua, fertilizante y espacio, y más altos rendimientos– superan con creces las desventajas.

Componentes del sistema hidropónico

Los principales componentes de todo sistema hidropónico son: 1) la solución nutritiva, 2) el sustrato o medio de cultivo y 3) la infraestructura o sistema de cultivo. A continuación se describe cada uno de estos componentes y las características de los sistemas comúnmente usados a nivel mundial y de aquellos con alto potencial para ser adoptados en Colombia en cultivos de tomate bajo invernadero.

La solución nutritiva

La solución nutritiva es, sin duda, uno de los componentes claves de cualquier sistema hidropónico y su principal función es proveer de agua y nutrición mineral a las plantas establecidas. Como solución nutritiva generalmente se usa una solución de agua con sales de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), con la adición de múltiples microelementos.

Para elegir la solución nutritiva apropiada para el sistema de producción, hay que tomar en cuenta: calidad de agua, nutrición hídrica y nutrición mineral del cultivo.

La calidad del agua es de primordial importancia puesto que el buen crecimiento del cultivo afecta los niveles de producción y calidad del fruto. Básicamente, en sistemas hidropónicos y con riego por goteo es posible el uso de aguas que serían inutilizables bajo otros sistemas de riego (aspersión, inundación). Sin embargo, la presencia de elementos tóxicos en el agua (p.ej., sodio, cloruros, boro) condicionan el tipo de cultivo y su manejo, mientras que la presencia de metales pesados tiene repercusiones para la inocuidad del producto. La calidad del agua –y la presencia de ciertos nutrientes (nitrógeno, fósforo)– determinará también las cantidades de sales de fertilizante que se debe aplicar en la solución nutritiva (antes de hacerla circular por el cultivo). La calidad del agua también afecta la factibilidad de ciertos tipos de sistema. Por ejemplo, con aguas de pobre calidad –como aguas salinas, con altos niveles de cloruro y sodio– se hace difícil la adopción de sistemas cerrados por problemas de fitotoxicidad debido a la acumulación rápida de elementos indeseables. Para elegir el cultivo apropiado y determinar

la idoneidad del agua para uso en sistemas hidropónicos, se recomienda un análisis de ésta donde se determina, como mínimo, el pH (dureza), la salinidad y el contenido de calcio, magnesio, hierro, carbonatos, sulfatos y cloruro. En general, no se recomienda el uso de aguas con cloruro de calcio $-\text{CaCl} > 50 \text{ ppm}-$.

Uno de los objetivos de sistemas de riego y la provisión de una solución nutritiva dentro de aquellos, es responder a la demanda de agua por parte de la planta. El suministro de agua a la planta debe ser acorde a las demandas por evapotranspiración y al estado fenológico del cultivo, pero también depende del medio de cultivo y las especificidades del sistema de riego adoptado. La evapotranspiración depende tanto de las condiciones climáticas (temperatura, brillo solar, humedad relativa) como de las características del cultivo (etapa fenológica y el área foliar, entre otros). El medio de cultivo determina igualmente la duración y frecuencia de ciclos de irrigación. Los sustratos con partículas finas (turba, lana de roca) generalmente retienen más agua que aquellos que son gruesos (arena, grava, cascarilla de arroz, vermiculita).

El suministro de agua debe ser ajustado frecuentemente, tanto para impedir el estrés hídrico de la planta (falta de agua), como para evitar el sobre uso de la solución nutritiva (agua y fertilizantes).

En sistemas hidropónicos, la nutrición mineral de la planta se aporta por completo a través de la solución nutritiva (con eventuales correcciones mediante aplicaciones foliares), lo cual permite un control preciso de la fertilización para obtener mayor rendimiento en la producción. Sin embargo, equivocaciones en el control de la fertilización (o ajuste del pH) pueden causar serios problemas en todo el cultivo. Al igual que el aporte de agua, la necesidad de nutrientes minerales depende del tipo y estado fenológico del cultivo, del tipo de sustrato y de las condiciones climáticas. Sin embargo, en la preparación de la solución nutritiva debe considerarse el contenido de minerales y sales en el agua de entrada.

Para monitorear la solución nutritiva, se aconseja hacer análisis frecuentes del sustrato de siembra. También, se pueden hacer análisis foliares para determinar ciertas deficiencias de nutrientes en la planta y hacer los ajustes ne-

cesarios en la solución nutritiva. Se aconseja así mismo analizar la solución de drenaje con cierta frecuencia, para determinar si la solución nutritiva tiene la composición requerida y detectar la eventual acumulación de elementos tóxicos. Para ajustar los esquemas de fertilización, de igual forma es muy importante observar los síntomas específicos de deficiencia de ciertos nutrientes y tomar medidas correctivas. También es primordial detectar los síntomas de toxicidad por exceso de sales: enanismo del cultivo con hojas pequeñas de color verde oscuro, quemazón de los márgenes de las hojas y clorosis (o cambio a color azul) del tejido vegetal.

En sistemas cerrados (cuando se reutiliza la solución nutritiva), la duración de ésta normalmente es de 2-3 semanas y depende de la etapa fenológica y las condiciones climáticas. Sin embargo, si hay buen conocimiento de los niveles de absorción de ciertos nutrientes –y se hace un monitoreo seguido de la solución–, se pueden adjuntar aquellos elementos deficientes y aumentar la vida útil de la solución nutritiva. Además de ajustar la concentración de nutrientes, debe mantenerse la conductividad eléctrica de la solución nutritiva dentro de cierto rango (lo cual se determina usando un medidor de conductividad). La concentración total de nutrientes en una solución nutritiva debe ser de 1,000-1,500 ppm (o de 1,5-3,5 mMho), con un rango de 2,5-3,5 mMho preferido para cultivos de tomate.

En sistemas cerrados es necesario tratar la solución para hacerla apropiada nuevamente para uso en el sistema productivo. Normalmente se hace una aireación (con bomba de aire) y una refrigeración, para luego realizar un tratamiento de esterilización (para eliminar posibles patógenos). Los tratamientos con mayor potencial en sistemas hidropónicos son el uso de calor, ozono y la esterilización ultra violeta (UV). Los equipos UV, cuyo costo depende de su capacidad, generalmente son efectivos contra bacterias, hongos, ciertos virus y nemátodos. La efectividad de equipos de esterilización UV ha sido comprobado contra *Botrytis cinerea*, *Cladosporium sp.*, *Fusarium spp.*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Verticillium albo-atrum* y otros. Sin embargo, los tratamientos UV pueden reducir el contenido de manganeso y molibdeno en la solución nutritiva hasta en un 20% y causar la precipitación de casi el 100% de hierro como óxido hídrico de hierro. Existe la posibilidad de que

una solución apropiada del tipo de quelato de hierro pueda resolver ese problema.

El medio de cultivo (sustrato)

El medio de cultivo o sustrato es otro componente crucial del sistema hidropónico, del cual depende el anclaje de la planta y el desarrollo del sistema radical del cultivo. También se constituye en el medio de almacenamiento de agua y reserva de nutrientes. La selección del sustrato depende de su disponibilidad local, el costo, sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y del sistema hidropónico en el cual se usará. Al mismo tiempo, su selección dependerá de las características del cultivo y de ciertas variables ambientales. Aunque no existe un sustrato ideal –cada medio de cultivo tiene sus ventajas y desventajas–, sí hay un manejo adecuado para cada sustrato.

En la selección del sustrato deben considerarse también criterios medioambientales, siendo posible utilizar subproductos agrícolas y forestales (corteza, aserrines, fibra de coco, cascarilla de arroz), materiales contaminantes del medio ambiente (algas) o materiales de desecho (ladrillo molido, plástico molido, escorias, cenizas y residuos sólidos urbanos). Todo sustrato debe ser esterilizado o desinfectado para eliminar o disminuir los riesgos fitosanitarios del cultivo. También debe tenerse en cuenta el posible impacto ambiental de ciertos sustratos después de su utilización. Por ejemplo, la lana de roca es un sustrato popular en algunos países, pero no es biodegradable y sus residuos son nocivos para la salud humana, mientras que los sustratos orgánicos sí son biodegradables.

Hay diferentes formas de clasificar los sustratos que pueden utilizarse en sistemas hidropónicos. Una primera clasificación esta basada en el *origen del producto*, con sustratos de origen natural y sintético. Los sustratos de origen natural pueden ser orgánicos (de procedencia animal o vegetal) o inorgánicos desde el punto de vista químico, incluidos productos no procesados como grava, arena y productos procesados como lana de roca, perlita, vermiculita. Una segunda clasificación esta basada en la *granulometría* –que se basa en el tamaño de las partículas–. Existen sustratos con partículas de tamaño menor a 3 mm de diámetro (arena, perlita, lana de roca) y partículas mayores a 3 mm de diámetro (grava, basalto). Una tercera clasificación se basa

en la *actividad química*: existen sustratos inertes que no interactúan con la solución nutritiva, como la lana de roca, grava y arena silícea, y otros químicamente activos que van liberando y/o reteniendo nutrientes, como la turba, el compost y la vermiculita. Falta destacar que muchos de esos productos se mezclan para así obtener las adecuadas condiciones físicas, químicas y/o biológicas del sustrato.

La retención de la humedad en el sustrato está principalmente determinada por la forma y tamaño de las partículas y por el porcentaje de espacio poroso entre ellas. Las partículas de forma irregular tienen un área superficial mayor que las partículas lisas, y así pueden retener más agua. Sin embargo, un sustrato también debe permitir un buen drenaje y el movimiento de oxígeno, para lo cual deben evitarse sustratos con partículas muy finas.

La calidad del sustrato también está determinada por sus características químicas, como la capacidad de intercambio iónico (retención y/o liberación de nutrientes), el pH y la presencia de sustancias fitotóxicas. Por ejemplo, el aserrín, las algas o la arena (marina) pueden tener altos contenidos de sal que podrían afectar el cultivo. Otros sustratos como la grava o la arena pueden tener altos contenidos de carbonato de calcio, lo cual podría aumentar demasiado el pH. Todas estas consideraciones deben preverse antes de establecer un sistema y/o cultivo con cierto tipo de sustrato, para prevenir dificultades de manejo más adelante.

Cualquier tipo de sustrato, cuando es utilizado por varios ciclos de cultivo, puede ir acumulando organismos patógenos, causando enfermedades en él. Por eso es necesario esterilizar el medio de cultivo con cierta frecuencia (preferiblemente después de cada ciclo de cultivo). La esterilización puede hacerse con vapor y con esterilizantes químicos. Para esterilizar con vapor se inyecta éste a una temperatura de 82 °C (durante media hora) en las camas de cultivo. Su eficacia depende del tipo de medio, siendo efectivo hasta una profundidad de 20 cm en aserrín, pero sólo hasta 10 cm en mezclas de aserrín con arena. Para la esterilización química hay varios productos disponibles. El formaldehído es un producto muy eficiente contra hongos, pero no actúa contra nemátodos o insectos. Se recomienda cubrir las áreas tratadas por 24 horas con un material impermeable.

Sustratos de mayor uso en Colombia

En Colombia, son varios los sustratos que además de su disponibilidad permanente y costo razonable, ofrecen características físicas adecuadas para la producción de tomate en hidroponía. En la mayoría de los casos la preparación del sustrato implica la mezcla de dos o más materiales en diferentes proporciones.

Cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz es un subproducto de la industria molinera. En Colombia, es abundante en las regiones destinadas a la producción de arroz. Entre sus ventajas como sustrato hidropónico están sus propiedades físicas como baja densidad aparente lo que lo hace muy liviano, con buen drenaje y buena aireación. Es considerado como un sustrato orgánico con la ventaja de que tiene una baja tasa de descomposición. A nivel nacional, es el sustrato más empleado para los cultivos hidropónicos. Se utiliza en tres modalidades: entera, molida o parcialmente quemada. Sus principales desventajas son los costos de transporte, la posibilidad de contaminación por herbicidas utilizados en el cultivo de arroz y la baja capacidad de retención de humedad, por lo cual se recomienda mezclarla con otros sustratos para mejorar algunas de sus propiedades físicas. Otra de sus limitaciones es la fijación inicial de algunos elementos nutritivos, por lo cual se recomienda acondicionar la cascarilla con algunos fertilizantes unos días antes de ser usada como sustrato de siembra.

Escoria

La escoria es un subproducto de la purificación de metales mediante la fundición en la cual las impurezas se separan del metal fundido y se pueden retirar. Está compuesta por una mezcla de óxidos y sulfuros metálicos. Su uso como sustrato de siembra se aconseja en mezclas con otros sustratos en donde la proporción de escoria no sobrepase el 30 %.

Fibra de coco

La fibra de coco se obtiene del fruto de la palma de coco (*Cocos nucifera*) y contiene fibras cortas y partículas más o menos finas. Se utiliza comúnmente en mezclas para

sustratos de semillero o plantas ornamentales, como *mulching* de suelos, y como sustrato en sistemas hidropónicos para hortalizas o flores de corte. Algunas de las características interesantes de la fibra de coco son su alta capacidad de retención hídrica (puede retener hasta 8 veces su peso en agua), su elevada capacidad de intercambio catiónico, su eventual contenido de sales y su resistencia a la degradación microbiana. Las ventajas de la fibra de coco frente a otros sustratos son: inercia térmica, alto poder de retención hídrica, mayor durabilidad, densidad aparente baja, ausencia de efectos negativos hacia la producción y ser ambientalmente amigable. Entre las desventajas está su alto costo, para lo cual comúnmente se usa en mezclas con otros materiales. Otra desventaja es la necesidad de una solución nutritiva con contenido relativamente alto de nitrógeno y fósforo –por lo menos al inicio del cultivo– (considerando la actividad microbiana, típica para sustratos orgánicos).

Ceniza de carbón mineral

Este material se obtiene como subproducto de la generación térmica de algunas termoeléctricas del país. Se caracteriza por su alta densidad aparente y alta retención de humedad. Por tanto, se utiliza en mezcla con otros materiales muy livianos como la cascarilla de arroz con el fin de mejorar sus propiedades físicas, especialmente la retención de humedad.

Sistemas hidropónicos: diseño e infraestructura

Existe una gran variedad en sistemas hidropónicos que varían según su diseño, el medio en el cual se desarrollan las raíces (aire, agua o sustrato), el manejo de la solución nutritiva y el nivel de automatización del sistema.

Con respecto al manejo de la solución nutritiva existen dos tipos de sistemas hidropónicos: sistemas abiertos –donde los drenajes provenientes del cultivo son desechados– y sistemas cerrados –donde la solución nutritiva se recircula aportando de manera casi continua la nutrición que requiere la planta–. En los sistemas cerrados, la solución nutritiva de drenaje es recogida y reajustada con agua y fertilizantes para ser nuevamente recirculada en el sustrato. En este sistema, a diferencia del verdadero NFT (ver más

adelante), el riego no es continuo y ni siquiera intermitente a intervalos periódicos, sino puntual, en función de las necesidades del cultivo a lo largo del día, aportando cada vez una determinada dosis de agua para conseguir la rehidratación del sustrato y la renovación de la solución contenida en él. La renovación continua de la solución nutritiva en el entorno de la raíz permite un suministro adecuado de nutrientes minerales y oxígeno, siempre y cuando se realice un correcto manejo del sistema.

A nivel mundial, se ha notado cierta tendencia a adoptar sistemas cerrados, lo cual está relacionado con la escasez de recursos hídricos, al aumento en el precio de los fertilizantes químicos y la creciente necesidad de evitar los problemas ambientales propios de los sistemas abiertos. En general, los sistemas cerrados son más eficientes y menos costosos. En Colombia, la ausencia de legislación sobre la reutilización de aguas residuales y la falta de conocimiento sobre los sistemas cerrados, hacen que la producción hidropónica de tomate se haga principalmente con sistemas abiertos.

Los sistemas totalmente hidropónicos se basan en el cultivo de plantas en agua, lo cual incluye los sistemas aeropónicos y el sistema denominado "técnica de la lámina nutriente" –*Nutrient Film Technique*, conocido como NFT, por sus siglas en inglés–. En los sistemas aeropónicos, las raíces de las plantas se suspenden dentro de cámaras oscuras en las cuales se mantiene una humedad relativa de casi 100%, vaporizando una solución nutritiva adecuada. Aunque estos sistemas son muy comunes a nivel de laboratorio, todavía no han sido adoptados ampliamente a nivel comercial a pesar de su alto potencial.

La NFT es una técnica de recirculación de nutrientes y por tanto se utiliza en sistemas cerrados. Consiste en mantener las raíces del cultivo inmersas en una corriente de solución nutritiva, continua o intermitente de muy alta frecuencia, sin que exista ningún sustrato de sostén. La mayor ventaja es que el agua se encuentra muy fácilmente disponible para las plantas y se minimiza el gasto energético que éstas deben hacer para la absorción de nutrientes. En un sistema NFT sencillo los principales elementos son: a) el tanque colector, b) una bomba hidráulica, c) las tuberías de distribución, d) los canales de cultivo y e) la tubería y el tanque de recolección de la solución nutritiva.

Otro sistema promisorio es el sistema "Ariel", desarrollado a mediados de los años 80. En este sistema, las plantas crecen con las raíces expuestas para así asegurar un buen intercambio de nutrientes entre planta y solución nutritiva. Las plantas se siembran en tapetes de un material absorbente – los cuales se colocan en forma de crestas dentro de bandejas o canales con recirculación de solución nutritiva–. Encima de cada canal se coloca una capa de polietileno de color blanco (en la parte externa) y negro (en la parte interna), la cual se enrolla para formar 2 tubos dentro de los cuales circulará la solución nutritiva y crecerán las raíces. La solución nutritiva se recircula alternadamente entre ambos canales, con un canal recibiendo una solución de alto contenido de nutrientes y otra de bajo contenido. Durante cada ciclo, la solución de alto contenido circula por 15 minutos, mientras que la solución de bajo contenido circula por 3 horas y media. Esa circulación alternativa separa los componentes gaseosos y acuosos del ambiente radicular. Con ese sistema se han reportado incrementos de hasta 10% en la producción.

El sistema "Ariel" efectivamente elimina uno de los problemas importantes de los sistemas NFT –la falta de oxígeno–, por lo cual se mueren las raíces y la planta se marchita o muestra síntomas como podredumbre apical.

Por otra parte, están los sistemas de producción hidropónica que utilizan un sustrato para el anclaje de la planta (cascarilla de arroz, perlita, turba, o fibra de coco, entre otros). Estos sistemas de producción pueden ser abiertos o cerrados. Entre los sistemas hidropónicos existe la producción en arena, un método de hidroponía muy popular en desiertos y ambientes muy arenosos. Aunque esos sistemas han caído en desuso y están siendo remplazados por la NFT o sistemas en lana de roca, pueden ser aptos para ciertas zonas colombianas.

También existen sistemas de producción en medios de aserrín y lana de roca. En general, los sistemas con aserrín son populares en zonas de industria forestal (como Canadá), mientras que los cultivos en lana de roca predominan a nivel mundial. Aunque los cultivos en aserrín no tienen mucho potencial en Colombia, sistemas muy similares como por ejemplo aquellos que usan cascarilla de arroz y/o fibra de coco son frecuentemente usados en cultivos de tomate bajo invernadero. Otros sistemas como

la producción en grava fueron muy importantes entre las décadas de 1940 y 1970, y sigue siendo popular en áreas con abundancia de roca volcánica, aunque han sido reemplazados por el NFT.

Diseño

Por lo general, en Colombia los sistemas hidropónicos se diseñan de acuerdo a la disposición de las plantas en el cultivo. El método más común es hacer eras o camas de cultivo que pueden estar a nivel del suelo o a una altura mayor. En cualquier caso, la principal modalidad para hacer las camas consiste en elaborar contenedores de polietileno negro que se ubican longitudinalmente. Cuando se hacen a nivel del suelo, generalmente se ubican sobre una zanja previamente abierta en éste con una profundidad no mayor a 20 cm. En los sistemas elevados, las láminas de polietileno se fijan a unos alambres longitudinales que a su vez están soportados por una estructura de madera, formando contenedores semicirculares en los cuales se coloca el sustrato de cultivo (Foto 9). En la parte inferior se colocan otras láminas de polietileno con el fin de recolectar la solución nutritiva drenada. En ambos diseños, el ancho de las camas varía entre 60 y 80 cm con dos surcos por cama y una profundidad de hasta 20 cm de cada contenedor. Se estima que el volumen de sustrato ocupado por cada planta es de 0,009 m³.

Otra modalidad son los sistemas de producción en contenedores individuales para cada planta, generalmente en bolsas de polietileno o macetas con volumen de entre 10 y 20 litros, con pequeños agujeros en la parte inferior, que se colocan sobre el suelo a distancias de entre 35 y 50 cm formando los surcos de cultivo.

El sistema de riego más utilizado es la cinta de riego con emisores de bajo caudal, ubicados cada 10 o 20 cm. Los sistemas con contenedores individuales para cada planta requieren de un sistema de riego localizado donde se coloca un gotero de mayor caudal por cada planta.

Manejo de sistemas hidropónicos

En sistemas hidropónicos con aserrín o cascarilla se recomienda hacer un monitoreo frecuente de la conductividad

eléctrica del medio de cultivo. Se considera que una conductividad mayor a 4 millimhos/cm atrasará el crecimiento de la planta, lo cual se puede prevenir con el uso de una solución nutritiva con volumen 15% superior a los requerimientos de la planta. Una vez la conductividad sobrepasa los niveles críticos, se puede diluir la solución nutritiva al 25%, incrementar el volumen con 30% o aplicar agua pura por varios días hasta que se normalice nuevamente la conductividad dentro del sustrato.

Estudio de caso: producción de tomate hidropónico en la Sabana de Bogotá

En el Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales de la Universidad Jorge Tadeo Lozano CIAA, (Chía, Cundinamarca) se adelantó un estudio sobre producción de tomate hidropónico con el híbrido larga vida Daniela 593 (Hazera-Israel), en un invernadero tipo Richel de 300 m².

Para el riego se construyó un tanque con capacidad de 10.000 litros para el almacenamiento de la solución nutritiva. El tanque se ubicó a 2,5 m de altura y a unos 35 metros del invernadero con el fin de hacer riego por gravedad. También se utilizó una bomba de 0,25 HP y un temporizador para la programación de riegos.

Para el sistema de riego se utilizó cinta de riego con emisores ubicados cada 10 cm y con un caudal aproximado de 1 l/h-1. Para cada hilera o surco de plantas se utilizó una línea de riego.

La densidad de siembra fue de 2,5 plantas por metro cuadrado. Se hicieron camas dobles con distancia de 1,60 m entre centros de las camas y 0,6 m entre los dos surcos de cada cama. La distancia entre plantas a lo largo del surco fue de 0,5 m. Para cada surco se utilizaron bolsas tubulares de 13,5 m de longitud x 0,3 m de ancho y 0,12 m de altura, con un volumen aproximado de 0,5 m³. En total se tuvieron 12 camas, es decir, 24 líneas de bolsas tubulares con 27 plantas cada una. Al final de las líneas se instaló un sistema de drenaje para la evacuación de los excedentes de solución nutritiva. Las plántulas se trasplantaron con cuatro semanas de desarrollo.

El sustrato empleado fue cascarilla de arroz quemada (70%) en mezcla con ceniza de carbón mineral (30%). Las

características de la cascarilla de arroz de describen en la tabla 12. Para la adecuación de la fertilización del sustrato se aplicó 1 kg de sulfato de calcio, 1 kg de nitrato de magnesio, 1 kg de superfosfato triple y 30 gramos de quelato de hierro por cada metro cúbico de sustrato.

La fertilización del tomate hidropónico se realizó mediante el suministro de soluciones nutritivas preparadas con fertilizantes de alta solubilidad como el nitrato de calcio, nitrato de potasio, fosfato monoamónico, fosfato monopotásico, sulfato de magnesio, entre otras. Para la preparación de la solución nutritiva se utilizaron dos canecas de 200 litros cada una, denominadas caneca A y caneca B, con el fin de preparar soluciones altamente concentradas. En la caneca A se adicionó nitrato de calcio y la mitad del nitrato de potasio, mientras que en la caneca B se agregaron las fuentes que contienen sulfatos (de magnesio y de potasio), los fosfatos y los elementos menores. Después de calcular la dilución correspondiente, a través de un sistema de dosificadores, una parte de solución nutritiva de cada caneca se disolvió en el tanque de 10.000 litros de agua en el cual se preparó la solución nutritiva final para el cultivo, llamada "solución estándar" cuya composición se presenta en la tabla 13.

Los micronutrientes, por su parte, se aplicaron en la solución estándar con la siguiente concentración –expresada en micromoles por litro ($\mu\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$): hierro (Fe) 15, manganeso (Mn) 10, cobre (Cu) 0,75, zinc (Zn) 5, boro (B) 25 y molibdeno (Mo) 0,5. Inicialmente, se utilizó una solución para la saturación del sustrato antes del trasplante. Esta solución es una modificación de la solución estándar, en la que se disminuyeron 1, 0,5 y 3,5 $\text{mmoles}\cdot\text{l}^{-1}$ de nitrógeno nítrico, nitrógeno amoniacal y potasio, respectivamente, con relación a la solución estándar. Los elementos restantes se mantuvieron con la misma concentración.

Después del trasplante, se aplicó una solución nutritiva durante la fase de enraizamiento de las plantas que consistió en un aumento de 1, 0,1 y 0,5 $\text{mmoles}\cdot\text{l}^{-1}$ en la concentración de nitrógeno nítrico, nitrógeno amoniacal y magnesio; y una disminución de 1 $\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ de potasio con respecto a la solución estándar. Finalmente, se utilizó la solución estándar hasta la aparición del primer racimo floral. A partir de ese momento, la solución nutritiva se fue modificando en función de los resultados de los análisis del sustrato y de las necesidades de la planta.

Tabla 12. Características físicas de la cascarilla de arroz quemada.

Característica	Unidad	Valor
Humedad	% (peso)	23,2
Cenizas	% (peso)	41,1
Materia orgánica	% (peso)	59
Densidad real	$\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$	1,83
Densidad aparente	$\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$	0,25
Porosidad total	% (vol)	86
Porosidad aire	% (vol)	36
Humedad a capacidad de campo	%	53

Tabla 13. Solución estándar para la producción de tomate hidropónico bajo invernadero.

Elemento	NO3	NH4	P	K	Ca	Mg	SO4
$\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}$	13,75	1,25	1,25	8,75	4,25	2	3,5
ppm	192	18	39	341	170	48	112

Fuente: Bemestingsadviesbasis glastuinbouw.

El pH del sustrato presentó un comportamiento parecido al de la solución nutritiva y al del agua de drenaje, pero muy atenuado si se comparan las curvas respectivas. El promedio de pH en el ciclo de cultivo fue de 6,4, con un mínimo de 5,7 y un máximo de 7,4. El pH promedio durante este ciclo de cultivo fue significativamente superior al del ciclo anterior, en donde el promedio estuvo en 4,7. Esto se logró gracias al incremento en la fertilización con cal dolomítica durante la preparación del sustrato, evitándose también la adición de potasa cáustica en la solución nutritiva para mantener elevados los niveles de pH.

La conductividad eléctrica (CE) del cultivo se constituyó en un factor de especial importancia para su desarrollo. Debido a la continua aplicación de fertilizantes en la solución nutritiva, la tendencia a la acumulación de sales fue muy elevada y por tanto fue necesario mantener los niveles de CE bajo un control permanente. El valor promedio de la CE fue de 2,5 dS·m⁻¹ y estuvo oscilando entre 1,8 y 2,3 dS·m⁻¹. En las últimas semanas se presentó un incremento de la conductividad, alcanzando valores de hasta de 3,8 dS·m⁻¹, considerados muy altos.

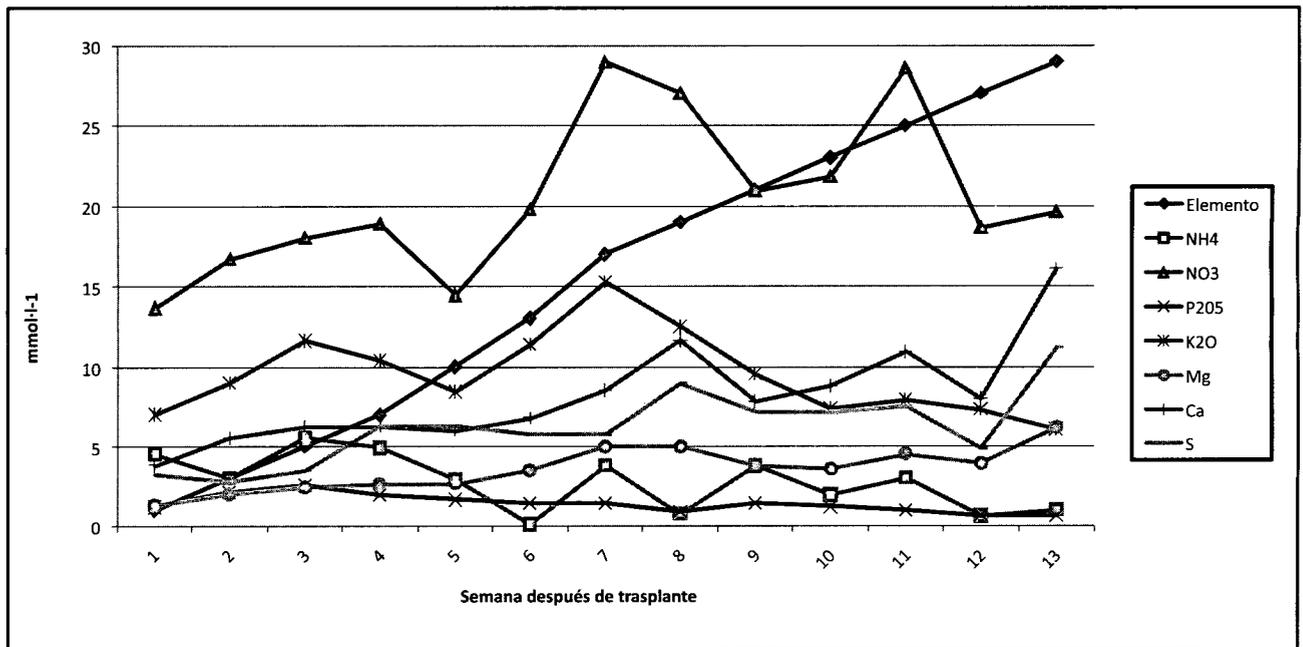
En relación con los elementos nutritivos en el sustrato, en la figura 2 se presenta el comportamiento de los elemen-

tos mayores en los muestreos de la solución nutritiva realizados durante el ciclo de cultivo.

La concentración de los elementos nutritivos está expresada en milimoles por litro. Para convertirlas a partes por millón (ppm), debe multiplicarse por el peso molecular de cada elemento químico. Los pesos moleculares pueden consultarse en una tabla periódica de los elementos.

Con el anterior manejo del sistema hidropónico se alcanzó una productividad de 21,7 kg por metro cuadrado, con una densidad de siembra de 2,5 plantas/m².

Figura 2. Resultados de análisis del sustrato (elementos mayores) durante un ciclo de cultivo de tomate hidropónico bajo invernadero. Método volumétrico.

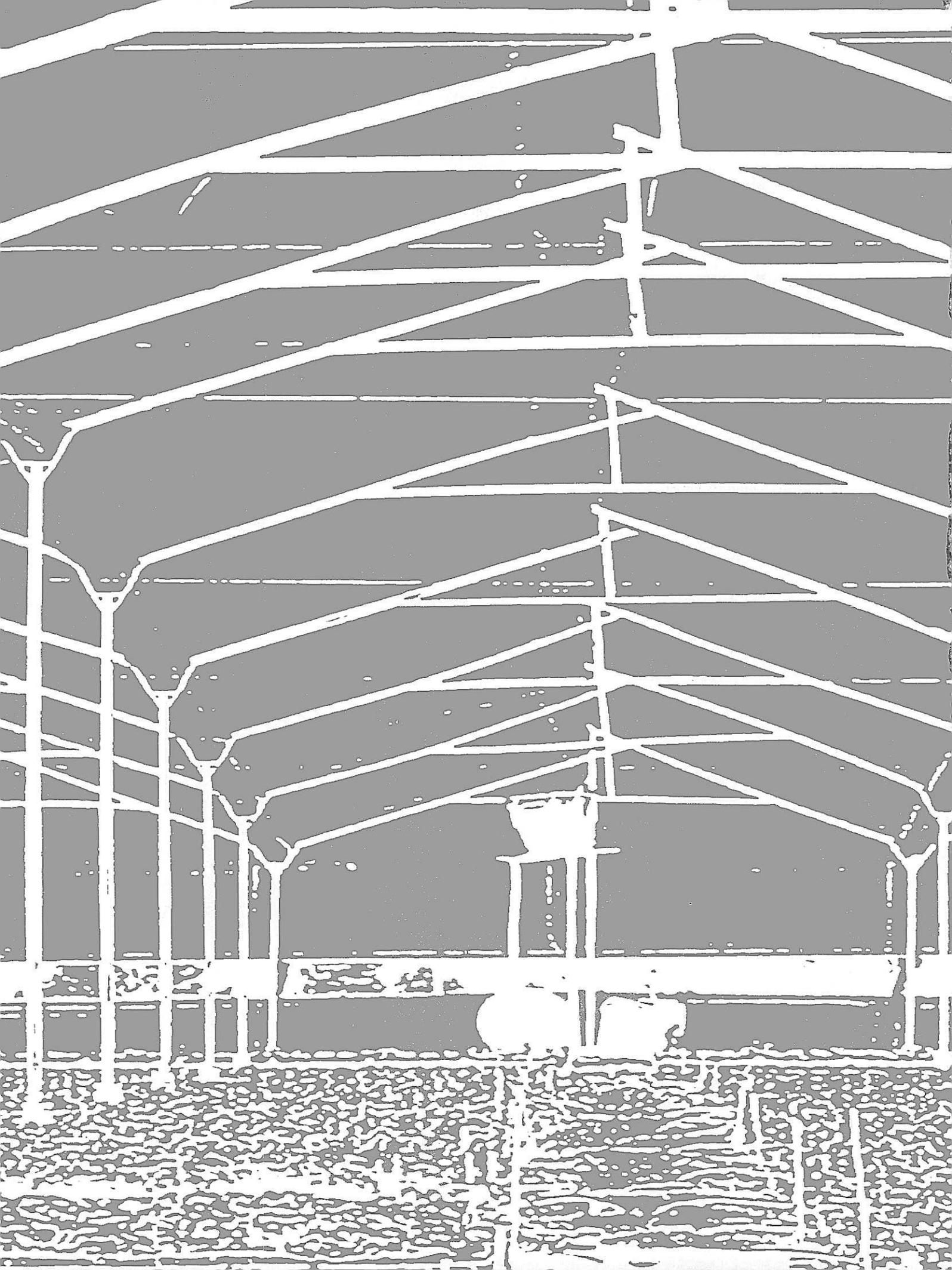


Bibliografía

ALARCÓN, A.L. 2000. *Tecnología para cultivos de alto rendimiento*. Murcia (España): Novedades Agrícolas S.A.

RESH, H.M. 1998. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook of Soilless Food-growing Methods*. Santa Barbara, CA: Woodbridge Press Publishing Company.

UJTL. «Producción hidropónica de tomate». 2001. En: *Desarrollo de la producción y el mercadeo de la lechuga, el tomate y la zanahoria dentro del Programa Eurofresh*. Cuarto Informe Técnico. Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.



58667

Ecofisiología del cultivo y manejo del clima **6**

**Carlos Ricardo Bojacá, Alexander Cooman,
Harold Ubaque y Hugo Escobar**

El objetivo del productor de tomate es obtener la cantidad máxima de frutos, de calidad apropiada, de forma continua o cuando lo demande el mercado y a un costo competitivo por unidad. El desarrollo del cultivo bajo invernadero contribuye a alcanzar estos objetivos en la medida en que el invernadero permite incrementar las productividades en espacios relativamente pequeños, protege los cultivos de las inclemencias del clima, mejora las condiciones bajo las cuales se desarrollan las plantas y da la posibilidad de establecer cultivos de forma permanente. Sin embargo, el establecimiento de un cultivo bajo invernadero no es suficiente para asegurar el éxito productivo si se desconocen los factores que caracterizan el clima del invernadero, sus interrelaciones con la fisiología de la planta y cómo se pueden realizar modificaciones con el fin de maximizar los rendimientos por unidad de área.

Factores climáticos

A continuación se presentan los principales factores ambientales que determinan el clima dentro de un invernadero, así como los principales requerimientos de cada uno de estos factores por el cultivo.

Temperatura del aire

En términos generales, la principal variable climática que se pretende modificar al establecer un invernadero es la temperatura del aire (°C). La temperatura dentro de un invernadero depende de 1) factores ambientales externos como la radiación solar, la temperatura, la velocidad y dirección del viento; 2) factores internos relacionados con el tipo de cultivo establecido y su cantidad de área foliar, así como los niveles de transpiración y 3) factores relativos al diseño del invernadero tales como el material de cubierta, las alturas y la ubicación y tamaño de las ventilaciones.

Según Castilla (1995), la planta de tomate es termoperiódica, es decir, que crece mejor a temperatura variable que constante y de igual forma varía con la edad de la planta. Diferencias noche/día de 6 a 7 °C han sido reportadas como óptimas para el cultivo. Lee y Cooman (1998) reportan para un invernadero "tradicional", localizado en Chía (Sabana de Bogotá), una temperatura promedio de 14,8 °C, con una temperatura promedio noche y día de 10,7 y 18,8°C, respectivamente. En un invernadero con buenas características de ventilación en una finca localizada en Guateque (Boyacá), se midió una temperatura promedio de 21,2°C con un promedio de noche y día de 17,8 y 24,5 °C, respectivamente (CIAA, 2000). Se puede concluir que las condiciones naturales de clima templado y frío del trópico colombiano tienen unas condiciones favorables en cuanto al diferencial de temperatura entre noche y día.

El rango de temperatura adecuado para el cultivo del tomate es relativamente amplio, tal como lo sugieren los reportes en la literatura. Camejo *et al.* (2005) sugiere temperaturas óptimas entre 25 y 30 °C durante el día y alrededor de 20 °C durante la noche. Sato *et al.* (2001) evaluó el efecto de las altas temperaturas sobre la formación de frutos partenocárpicos, flores no desarrolladas y aborción de flores, y estableció 28 °C como valor óptimo de temperatura durante el día, mientras que en la noche mantuvo una tem-

peratura de 22 °C. La diversidad de cultivares existentes en la especie de tomate también amplía el rango de temperatura recomendado para el cultivo. Cultivares tanto tolerantes como sensibles al calor exhiben características florales diferentes dependiendo del rango de temperatura al que se encuentren sometidos. Regímenes de temperatura de 28 °C durante el día y 23 °C durante la noche pueden producir excreción del estigma, limitando el cuajamiento de los frutos, mientras que regímenes más extremos de 35 °C durante el día y 30 °C durante la noche producen anomalías florales mayores tales como excreción del estigma sin apertura de las flores, flores vacías o flores persistentes que no cuajan (Lohar y Peat, 1998).

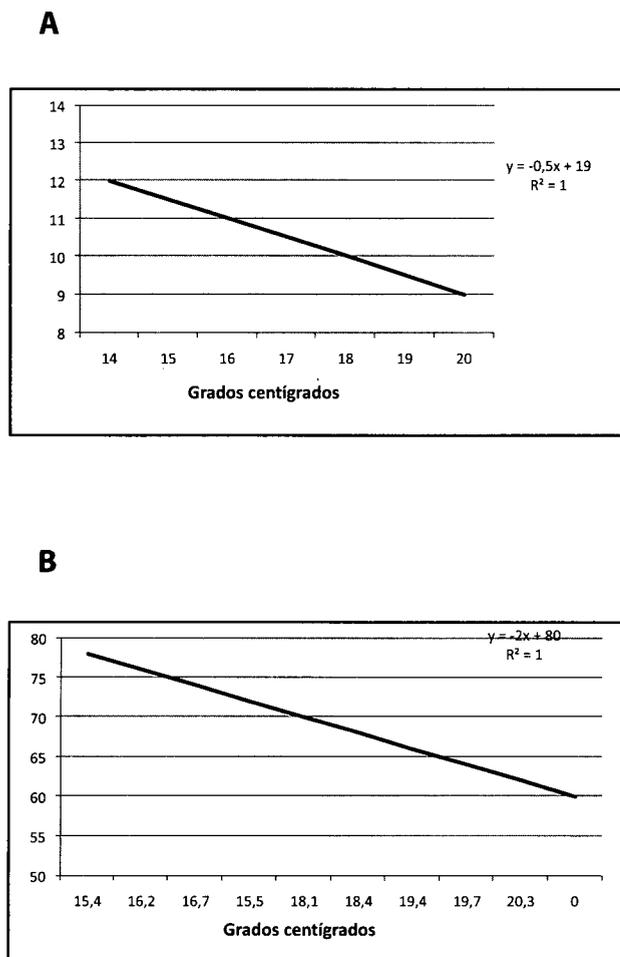
Es importante tener en cuenta que la temperatura promedio ideal para el cultivo del tomate varía según la luminosidad, siendo mayor la temperatura cuanto más elevados sean los niveles de radiación (Castilla, 1995; Beekmans, 1986). En términos generales, la temperatura promedio óptima recomendada es de 18 a 22 °C, siendo el promedio más elevado apropiado para buenas condiciones de luminosidad.

La velocidad de desarrollo de un cultivo de tomate es, en condiciones normales de crecimiento, casi proporcional con la temperatura. La tasa de aparición de nudos es la variable que puede ser utilizada para determinar la velocidad de desarrollo de una planta de tomate. En este caso, se entiende como nudo cualquier desviación del tallo principal ya sea para la formación de una hoja o de un racimo. Cooman (2002), evaluando la tasa de aparición de nudos en tres invernaderos con diferentes grados de control de clima en la Sabana de Bogotá, estimó una tasa de aparición de nudos de 0,0204 nudos·día⁻¹·°C. Lo anterior quiere decir que una planta creciendo a una temperatura promedio diaria de 25°C exhibirá una tasa de aparición de 0,5 nudos·día⁻¹. Este resultado es similar al determinado por Jones *et al.* (1991), quien estableció una tasa fija de aparición de nudos de 0,55 nudos·día⁻¹ para plantas creciendo a 28 °C. Nuevamente, es importante tener en cuenta el efecto del cultivar, ya que De Koning (1994) estimó una tasa más elevada (0,027 nudos·día⁻¹·°C) planteando la hipótesis de un efecto constante del cultivar, lo cual es discutible según los resultados obtenidos por Cooman (2002).

Para la variedad Boris, cultivada en la Sabana de Bogotá, se encontró que la tasa de aparición de racimos varía en-

tre 9,0 días entre racimos consecutivos a una temperatura promedio de 20,3°C y 11,9 días a una temperatura promedio de 15,6°C (figura 3). A la vez, el tiempo promedio entre la aparición de flores y su madurez varía de 63 a 77 días, respectivamente, a las mismas temperaturas (Gómez, 2000). Para el híbrido Daniela en clima medio, a una temperatura promedio de 19,6 °C, se encontró un tiempo promedio de 9,2 días entre la aparición de racimos consecutivos y 56 días entre floración y madurez para los frutos en la primera posición de cada racimo (Pulido, 2000).

Figura 3. Tasa de aparición de racimos, expresada como los días entre racimos consecutivos en función de la temperatura (A) y tasa de desarrollo de frutos, como número de días entre floración y madurez en función de la temperatura promedio del aire (B).



La temperatura del suelo incidirá en el desarrollo radicular, en la absorción de agua y nutrientes y en la síntesis radicular de reguladores de crecimiento (Castilla, 1995). Para un adecuado funcionamiento de las raíces, se recomienda una temperatura del suelo entre de 15 y 30 °C, siendo la temperatura óptima, entre 25 y 30 °C para las primeras semanas del crecimiento y entre 20 y 25 °C para el resto del ciclo. El uso de acolchados contribuye a incrementar la temperatura del suelo, por lo cual, aparte de todos los beneficios que éstos imprimen a la producción, su uso cobra mayor importancia en especial en zonas frías donde es necesario hacer uso de todas las estrategias posibles para mantener el calor generado por el invernadero, especialmente durante la noche.

El efecto de los acolchados plásticos sobre la temperatura del suelo ha sido ampliamente documentado. Acolchados con colores claros y oscuros han presentado mayores incrementos de la temperatura que los acolchados reflectivos de color blanco o plata/aluminio (Rangarajan e Ingall, 2001). Moreno y Moreno (2005), evaluando diferentes tipos de acolchados plásticos, encontraron en promedio una temperatura del suelo de 22,2°C con acolchados biodegradables, 23,2°C con acolchados a base de polietileno y 20,4°C para el suelo descubierto.

Recientemente, Díaz-Pérez & Mandal (2007) estudiaron el efecto de los acolchados plásticos sobre la temperatura del suelo y sobre la manifestación del virus del broncaado del tomate (TSWV, por sus siglas en inglés). Dentro de los resultados relacionados con la temperatura del suelo, los autores determinaron que los acolchados plásticos que generaron temperaturas altas como el acolchado negro (27,5 °C) mostraron los primeros síntomas de TSWV en comparación con los acolchados plata (25,8 °C), gris (27 °C) o blanco (24,8 °C). La utilización de acolchados plásticos que generan condiciones de estrés por altas temperaturas en la zona radicular predisponen a las plantas a expresiones tempranas del virus en comparación con plantas creciendo a una temperatura más adecuada (26,1 °C).

Radiación solar

La energía proveniente del Sol es necesaria, entre muchas otras cosas, para llevar a cabo el proceso fotosintético que permite la acumulación de biomasa en las plantas. En con-

secuencia, la radiación solar es un factor climático fundamental que determina la productividad de un cultivo. Es comúnmente aceptado que un incremento de 1% en la radiación significa un incremento de la misma magnitud en la productividad de un cultivo. De ahí la importancia de maximizar la utilización de la radiación incidente sobre las plantas reduciendo la influencia de obstáculos tales como los que impone un invernadero a través de su estructura y del mismo material de cubierta.

La radiación solar global total es expresada en vatios por metro cuadrado ($W \cdot m^{-2}$) para valores instantáneos o en Mega Joules por metro cuadrado y por día ($MJ \cdot m^{-2} \cdot día^{-1}$) para valores acumulados por día. Del total de radiación que llega a la superficie terrestre sólo una porción del espectro es utilizada en el proceso fotosintético. Esta radiación se conoce como radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus siglas en inglés) y comprende el rango entre 380 y 730 nm. Estas longitudes de onda son casi las mismas que el ojo humano puede ver, por lo que también se le conoce como rango visible. La sensibilidad de las plantas a esta radiación es variable y se reconocen dos picos de máxima sensibilidad a los 450 y a los 690 nm.

En Colombia, dada su ubicación geográfica la longitud del día es de aproximadamente 12 horas con pequeñas variaciones a lo largo del año. Lo anterior implica ventajas comparativas con respecto a zonas productoras ubicadas en zonas templadas donde las estaciones, especialmente bajo condiciones de invierno, obligan a la utilización de mayores recursos energéticos como la iluminación artificial para poder continuar con los procesos productivos.

En el país, a nivel regional, casi la totalidad del departamento de la Guajira recibe la mayor cantidad de radiación solar global total con valores entre 5,5 y 6,0 $kWh \cdot m^{-2}$, de acuerdo con el promedio multianual presentado en el Atlas de Radiación Solar elaborado por el Ideam y la Upme en 2005. Esta es una de las características por las que en la actualidad se están realizando importantes esfuerzos para convertir esta zona en un polo productor de hortalizas para el país. Buena parte de los departamentos de la Costa Caribe reciben entre 5,0 y 5,5 $kWh \cdot m^{-2}$ así como algunas zonas de los Llanos Orientales. Algunas áreas del departamento de Boyacá, como las ubicadas en los municipios de Villa de Leyva, Santa Sofía y Sutamarchán, reciben igual nivel de ra-

diación por lo que también esta zona en los últimos años ha incrementado sus áreas de producción en tomate bajo invernadero. La mayor parte del territorio recibe niveles de radiación que se ubican entre 4,0 y 4,5 $kWh \cdot m^{-2}$, mientras que la zona de la Costa Pacífica es la que recibe los niveles de radiación más bajos a lo largo de todo el año, con valores de entre 3,0 y 3,5 $kWh \cdot m^{-2}$.

El desarrollo del cultivo bajo invernadero impone de entrada una reducción en la cantidad de radiación que recibe el cultivo para llevar a cabo su proceso fotosintético. El material de cubierta del invernadero y sus propiedades ópticas definen la cantidad de radiación que entra al interior del área de cultivo. El porcentaje de transmisión de radiación es la variable comúnmente utilizada para establecer qué cantidad de radiación efectivamente llega al cultivo. Cuando los rayos solares alcanzan la superficie del material de cubierta, parte de la radiación es reflejada, otra parte es absorbida por la cubierta y un gran porcentaje es transmitida al interior del invernadero.

En nuestro medio, el material comúnmente utilizado para cubierta de invernadero es el polietileno de baja densidad. La transmisión de radiación de un plástico nuevo recién instalado sobre la estructura de un invernadero puede estar entre 65 y 70%. Lo anterior significa que de entrada se está perdiendo un potencial productivo de aproximadamente 30%. Con el paso del tiempo, estos porcentajes de transmisión van disminuyendo en la medida en que el plástico se va degradando y va acumulando polvo y suciedad procedentes del ambiente, pudiendo incluso llegar a transmisiones inferiores al 50%.

La pérdida de transmisión de radiación es un proceso progresivo que no es fácilmente observable por el productor. Sin embargo, su efecto sobre la producción es de la mayor importancia según lo que se ha expuesto anteriormente. Por eso, es importante mantener una estructura en buen estado, respetar la garantía que ofrece el fabricante sobre la vida útil del plástico y, en la medida de lo posible, realizar lavados periódicos al plástico para reducir el polvo y la suciedad.

El desarrollo de los racimos y las flores es determinante para el cuajado. En condiciones de baja radiación solar o de excesiva carga de frutos, la calidad de los racimos en desa-

rollo será pobre. En condiciones extremas, la planta abortará botones florales antes de la floración. Condiciones de mucha luminosidad y temperaturas bajas favorecen la división de los racimos, por lo cual se desarrollará una cantidad más elevada de flores. Este fenómeno es importante en la Sabana de Bogotá y depende de la variedad cultivada. Para permitir un buen crecimiento de los frutos, es importante podar el racimo para mantener una cantidad adecuada de flores.

El hecho de que el cultivo sea más precoz no necesariamente implica una mayor cosecha. Frutos que se desarrollan en iguales condiciones de luminosidad serán más precoces pero menos pesados en la medida en que se cultivan a una temperatura más elevada. Frutos que se desarrollan en estas condiciones tendrán una velocidad de crecimiento (aumento de peso por día) más elevada, pero como disponen de menos tiempo para su desarrollo, su peso final será menor (Koning, 1994). Si se comparan dos cultivos, uno con una mayor cantidad de luz, y ambos con la misma temperatura del aire, se cosecharán frutos al mismo tiempo, con mayor peso y con mayor contenido de materia seca en el caso de mayor luminosidad.

En una comparación hecha entre tres invernaderos en la Sabana de Bogotá con la variedad Boris, manejando todas las plantas con cinco frutos por racimo, Gómez (2000) encontró que el peso promedio varía de 173 gramos por fruto en un invernadero de plástico con 63% de transmisión de radiación visible y a una temperatura promedio de 15,6 °C, a 132 gramos por fruto en un invernadero de vidrio con una transmisión de 45% y una temperatura promedio de 20,3 °C. En el mismo invernadero con 45% de transmisión de radiación visible pero una temperatura de 17,2 °C, el peso promedio de los frutos fue de 138 gramos. A la vez, la producción acumulada en el invernadero de vidrio con mayor temperatura era de 19,5 kg por m² a los 5,5 meses después del trasplante, comparado con 15,1 kg por m² en el mismo invernadero a menor temperatura. En el invernadero de plástico con mayor radiación pero menor temperatura se cosecharon 15,4 kg en el mismo período.

De esto se concluye que en las condiciones de la Sabana de Bogotá, la temperatura es más limitante para la producción de tomates que el nivel de la radiación. En clima templado, donde la temperatura es más elevada y cercana al

ideal para el cultivo del tomate, la radiación solar será el factor más limitante para la productividad.

Humedad del aire

El contenido de vapor de agua es otra de las propiedades del aire que reviste importancia al momento de considerar el clima dentro de un invernadero. Existen diferentes tipos de variables que cuantifican el contenido de humedad del aire, ya sea en términos de peso o de presión. La humedad absoluta (X , kg vapor·kg⁻¹ aire seco) cuantifica el contenido de vapor de agua que contiene el aire en unidades de peso, mientras que la presión parcial de vapor (e , Pa) es el concepto análogo cuando se está hablando en términos de presión. La presión parcial de vapor a saturación (e_s , Pa) representa el contenido de vapor de agua máximo que puede sostener el aire a una temperatura dada. La diferencia entre e_s y e se denomina déficit de presión de vapor y es otra de las variables utilizadas para cuantificar el contenido de humedad del aire.

El término más utilizado para referirse a la humedad del aire es el de humedad relativa. La humedad relativa, expresada en porcentaje, es una proporción entre la presión parcial de vapor y la presión parcial a saturación (e/e_s). Es importante tener en cuenta que la humedad relativa del aire es dependiente de la temperatura. Supongamos una humedad relativa del 70% con una temperatura del aire de 20 °C. Esta condición del aire equivaldría a un $e = 1,636$ Pa. Ahora, si se considera una humedad relativa similar pero a una temperatura de 30 °C, e será igual a 2,970 Pa. A pesar de que ambas situaciones presentan el mismo nivel de humedad relativa, la mayor temperatura permite que el aire incremente su capacidad de sostener agua en forma de vapor. El contenido de humedad del aire dentro de un invernadero se encuentra determinado por diversos procesos tales como la transpiración del cultivo, la condensación sobre la cubierta y la ventilación, entre otros.

La presencia de plantas dentro de un invernadero afecta el microclima generado dentro de la estructura. El proceso de transpiración, que les permite a las plantas liberar agua al ambiente por evaporación a través de los estomas, contribuye a modificar tanto el contenido de humedad del aire como la temperatura dentro de un invernadero.

La tasa de transpiración de un cultivo se encuentra directamente relacionada con el grado de apertura estomatal y la demanda evaporativa del ambiente alrededor del follaje. Esta demanda evaporativa es función de condiciones ambientales tales como el nivel de radiación, la temperatura, el contenido de humedad del aire y la velocidad del viento.

Jolliet y Bailey (1992) caracterizaron el efecto del clima sobre la transpiración de las plantas de tomate. Para un cultivo joven, un incremento en el nivel de radiación de $1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ resultó en un incremento de la transpiración de $0,09 \text{ mm día}^{-1}$; un incremento en el déficit de presión de vapor de $0,1 \text{ kPa}$ incrementó la transpiración únicamente en $0,013 \text{ mm día}^{-1}$. Los mismos autores determinaron que una tasa de ventilación de 1 m s^{-1} incrementó la transpiración en $0,13 \text{ mm día}^{-1}$. Para un cultivo adulto, la radiación solar tuvo un efecto ligeramente mayor sobre la transpiración del cultivo (incremento de $1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ocasionó un aumento en la transpiración de $0,14 \text{ mm día}^{-1}$), pero el déficit de presión de vapor tuvo un efecto mucho mayor (un déficit de $0,1 \text{ kPa}$ incrementó la transpiración en $0,24 \text{ mm día}^{-1}$) que sobre el cultivo joven.

Diferentes regímenes de humedad fueron evaluados sobre el crecimiento, la fotosíntesis, el rendimiento y la calidad de tomates cultivados bajo invernadero por Xu *et al.* (2007). Las plantas que crecieron a bajas humedades relativas exhibieron una capacidad fotosintética mayor y como consecuencia registraron una mayor productividad. Esta condición de baja humedad también favoreció una mejor calidad de los frutos, es decir, mejor textura, color y contenido de azúcares. En conclusión, los autores sugieren niveles de humedad relativamente bajos para obtener una alta actividad fisiológica y el consecuente aumento de la productividad y la calidad.

El manejo de la humedad dentro del invernadero es un factor crítico para un óptimo crecimiento de las plantas. En términos generales, se recomiendan humedades relativas de entre el 65 y el 75% durante el día y entre el 80 y el 90% durante la noche. Valores extremos de humedad relativa contribuyen a una reducción del área foliar así como al incremento en el aborto de flores y frutos. Un adecuado manejo de las ventilaciones del invernadero contribuirá a evacuar los excesos de humedad, normalmente producidos durante la noche.

El efecto más visible de altos niveles de humedad en el ambiente es la condensación que se forma sobre el plástico, sobre las superficies estructurales dentro de invernadero, sobre el follaje o los frutos. En consecuencia, es recomendable ventilar bien temprano en las mañanas el invernadero con el fin de evitar las condiciones propicias para el desarrollo de problemas fitosanitarios. Aun cuando las temperaturas sean más bajas que las del interior del invernadero, es recomendable la apertura temprana de las cortinas ya que, por lo general, el aire que se encuentra dentro del invernadero presenta una humedad relativa mayor a la del medio externo.

La humedad del aire también tiene una influencia directa en la fecundación. Valores elevados, especialmente con poca iluminación, pueden reducir la viabilidad del polen. Buitelaar & Eindhoven (1986) definen el rango óptimo de humedad relativa para la polinización entre 60 y 85%. Debajo de este rango se reducen las características pegajosas del estambre, lo que puede disminuir la adhesión y germinación del polen. A la vez, humedades muy bajas ocasionan la desecación del polen, haciéndole perder su efectividad. Por encima del rango mencionado se reduce el desprendimiento del polen de la estera.

Dióxido de carbono (CO₂)

El CO₂ es uno de los sustratos empleados por las plantas durante el proceso de fotosíntesis. El proceso respiratorio de las plantas ocasiona la liberación de este gas durante la noche. Los niveles actuales de CO₂ en el ambiente se encuentran alrededor de 380 ppm, con incrementos anuales de unas 2 ppm. El CO₂ es también conocido como uno de los gases de efecto invernadero que actualmente están contribuyendo al calentamiento global de la atmósfera.

Las barreras físicas que impone el invernadero a la libre circulación del aire ocasiona cambios en la concentración del CO₂ al igual que ocurre con las otras variables climáticas ya expuestas. Durante el día, en la medida en que realizan su proceso de fotosíntesis, las plantas consumen el CO₂ presente en el aire y, si los niveles de ventilación son insuficientes dentro del invernadero, puede llegar a presentarse el fenómeno de depleción del CO₂. Este fenómeno no es más que la reducción del contenido del CO₂ en comparación con el nivel promedio encontrado en el aire del exte-

rior. En la noche, el proceso respiratorio libera CO_2 al ambiente y eleva la concentración del gas en el aire siempre y cuando las áreas de ventilación del invernadero no sean lo suficientemente grandes como para permitir intercambios de aire grandes con respecto al exterior.

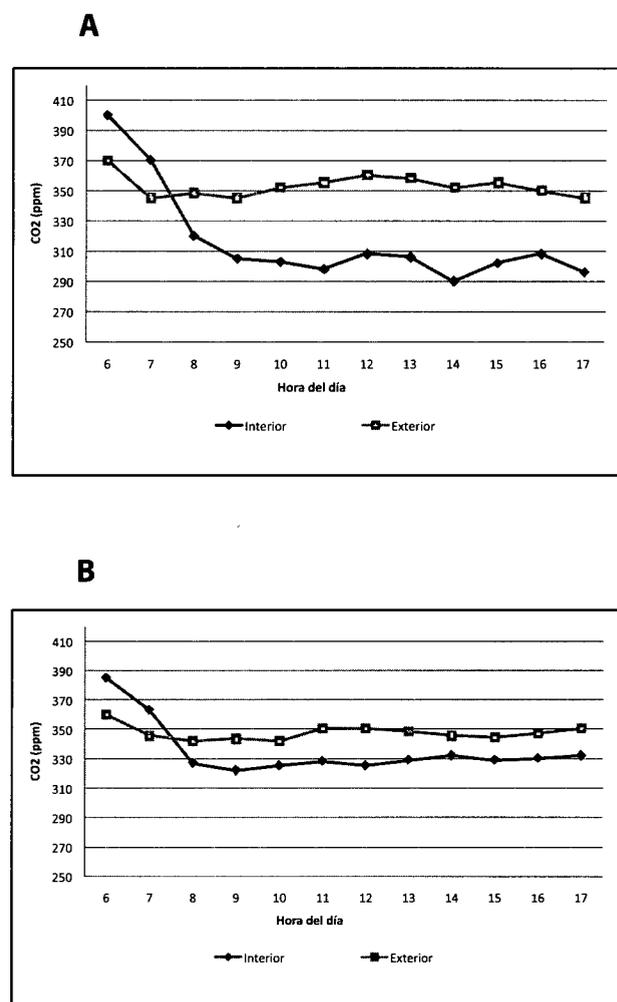
Evaluaciones realizadas en diferentes invernaderos en el CIAA (Cooman, 2002), tendientes a caracterizar el comportamiento interno del CO_2 , corroboran lo anteriormente expuesto. Evaluaciones dentro de un invernadero de vidrio indicaron cómo en las primeras horas de la mañana la concentración de CO_2 dentro del invernadero fue superior a la del exterior (figura 4A), con un valor promedio de 407,8 ppm contra 369,8 ppm registrado en el exterior del invernadero. Entre las 7:00 y 8:00 a.m. las concentraciones tendieron a equilibrarse y hacia las 8:00 a.m. ya la concentración de CO_2 dentro del invernadero era menor a la del exterior en un 8,4%. Durante los días evaluados se observó una constante depleción de CO_2 a partir de las 8:00 a.m. y hasta las 5:00 p.m., hora en que terminaban las evaluaciones. La depleción promedio para todo el período de evaluación (6:00 a.m. - 5:00 p.m.) fue de 9,0%. Hacia el final del día en este invernadero se registró una concentración promedio de 296,3 ppm y en el exterior un promedio de 344,2 ppm. El máximo valor registrado durante los días de evaluación fue de 544,3 ppm y el mínimo fue de 217 ppm.

Los resultados obtenidos para un invernadero de cubierta plástica también indicaron para las primeras horas de la mañana una concentración de CO_2 superior dentro del invernadero (381,5 ppm en promedio a las 6:00 a.m.) con respecto a la del exterior (360,5 ppm en promedio a las 6:00 a.m.), tal como se presenta en la figura 4B. En este invernadero el punto de equilibrio de las concentraciones interna y externa también se dio hacia las 8:00 a.m. al igual que en el invernadero de vidrio. A esta hora la concentración de CO_2 dentro del invernadero fue 4,1% menor a la del exterior. Este invernadero, a pesar de tener una ventilación fija, también presentó una depleción de CO_2 a lo largo de todos los días considerados.

La depleción promedio para todo el período de evaluación (6:00 a.m. - 5:00 p.m.) fue de un 5,4%. La apertura fija de las ventanas en este invernadero permitió una mayor ventilación a lo largo del día favoreciendo una mayor entrada de CO_2 al invernadero. Hacia el final del día en este

invernadero se registró una concentración promedio de 334,3 ppm y en el exterior de 350,6 ppm. El máximo valor registrado durante los días de evaluación fue de 428,8 ppm y el mínimo fue de 285,3 ppm.

Figura 4. Comparación de la concentración promedio de CO_2 entre el exterior y dos tipos de invernaderos en la Sabana de Bogotá cultivados con tomate. (A) Invernadero de vidrio con sistema de control activo de clima mediante ventilación cenital y (B) Invernadero plástico con apertura fija en la cumbrera y ventilaciones laterales mediante cortinas.



La fertilización de cultivos bajo invernadero con CO_2 ha sido una estrategia para maximizar las productividades en países desarrollados. Los niveles recomendados de CO_2 dentro de un invernadero se encuentran dentro del rango de 700 a 900 ppm. La combinación de diferentes estrategias de control climático y mejoras en el diseño de los invernaderos

utilizados comercialmente para la producción ha permitido alcanzar productividades superiores a las 400 T ha⁻¹ año⁻¹ en países como Holanda o Bélgica (FAOSTAT, 2006).

En nuestro país, la implementación de este tipo de tecnologías todavía parece lejana debido a los limitados avances sobre diseño de invernaderos y control climático. Una estrategia coherente para poder llegar a fertilizar con CO₂ bajo nuestras condiciones locales requiere que se mejore el diseño de los invernaderos implementando sistemas móviles para el movimiento de las ventilaciones. Una vez se cuenten con invernaderos que en determinados momentos reduzcan al máximo las pérdidas de calor, sería posible pensar en la implementación de sistemas de calefacción con el fin de mejorar la temperatura interna, especialmente durante la noche en climas fríos.

La combustión generada por el sistema de calefacción produce gases como el CO₂, en cantidades de alrededor del 9% del total de los gases producidos (Chalabi *et al.*, 2002). Este sería el insumo más adecuado para fertilizar el invernadero con este gas y aprovechar el potencial real de los cultivares actualmente comercializados en el mercado local. Sin embargo, en las actuales condiciones donde los niveles de los combustibles fósiles se vienen agotando progresivamente y los precios han sufrido incrementos nunca antes vistos, es necesario realizar una evaluación económica para determinar la factibilidad de uso del CO₂ puro.

Es importante tener en cuenta que los efectos de cada una de las variables climáticas expuestas anteriormente sobre el rendimiento de un cultivo no se deben considerar por separado. Por el contrario, las variables climáticas dentro de un invernadero se encuentran interrelacionadas y los efectos sobre el cultivo son aditivos y la comprensión de las interacciones así como de la interdependencia de las variables permitirá optimizar el manejo del clima para brindarle al cultivo las mejores condiciones posibles de desarrollo.

Interacción clima-planta

El crecimiento vegetal está estrechamente relacionado con las condiciones medioambientales en las cuales se desarrolla el cultivo. Internamente, las plantas pueden hacer poco para regular y mantener su temperatura interna.

Para su funcionamiento las plantas transforman importantes cantidades de radiación solar en energía química mediante el proceso fotosintético. La evaporación es el principal mecanismo que las plantas utilizan para liberar calor al exterior y regular su temperatura interna. Cuando la humedad ambiental es alta, la atmósfera está saturada con vapor de agua y hay poca evaporación y, por tanto, poca disipación de calor por este medio. Por el contrario, cuando el ambiente es seco se incrementa la tasa de evaporación y con ella la disipación de calor.

Manejo de clima para plantas en etapa de establecimiento

En la práctica, el manejo del clima dependerá también del grado de desarrollo y del estado de las plantas. En un cultivo joven, donde no existe competencia entre plantas vecinas, la fotosíntesis es todavía proporcional con el índice foliar, mientras que en un cultivo establecido no lo es.

Para un cultivo en establecimiento, la relación entre la intensidad de la radiación solar y la acumulación de materia seca es compleja y dependerá de la relación entre el área foliar sobre el peso seco total de la planta. Aumentando la radiación solar, se disminuirá el área específica de las hojas (área foliar sobre peso foliar), resultando en hojas más gruesas. A la vez, la proporción del peso de las hojas en el peso total de la planta no se verá afectada. Por consiguiente, el crecimiento relativo aumentará, pero no como se podría esperar. Aumentos en la concentración de CO₂ tienen en este estado un efecto similar a aumentos en la radiación (Challa *et al.*, 1995).

Por el contrario, un aumento en la temperatura del aire causará un aumento en el área específica de las hojas, aumentando así el área foliar de la planta y su capacidad de fotosíntesis. A la vez, siendo un cultivo en establecimiento de poco peso total, éste no tendrá mucha respiración de mantenimiento. En conclusión, se puede trabajar a una temperatura varios grados por encima del óptimo para la fotosíntesis neta. En condiciones de luminosidad normal, se recomienda una temperatura promedio de 20 a 22 °C.

A la vez y sobre todo para plantas en las primeras semanas después del trasplante, se debe tratar de mantener

una alta humedad relativa en el invernadero. En el semillero, las plantas están en condiciones de humedad elevada, mientras que después del trasplante, en el invernadero con plantas pequeñas, la tendencia es una humedad muy baja. Por un lado, la adaptación debe ser gradual para evitar condiciones de estrés, y por otro lado una humedad relativa elevada ayudará a una buena expansión foliar.

Las temperaturas promedio muy elevadas, mayores a 25 °C, pueden causar la caída de las flores y limitar el cuajado. Esto será más severo en condiciones de baja luminosidad. A la vez, Castilla (1995) y Buitelaar & Eindhoven (1986) reportan problemas con la fecundación a temperaturas inferiores a 15 °C. Por debajo de esta temperatura, la fecundación es más lenta y a 10 °C este proceso se detiene.

Manejo de clima para un cultivo en etapa de producción

Para un cultivo ya establecido, la expansión foliar ya no es prioritaria. Un mayor índice foliar ya no se verá reflejado en mayor fotosíntesis. En estas condiciones, la estrategia es maximizar la fotosíntesis neta, minimizando la respiración de mantenimiento (Challa *et al.*, 1995). También se debe tener en cuenta que la temperatura puede incidir en la repartición de la biomasa (Cooman *et al.*, 1999).

Fuera de buenas condiciones de luminosidad, el cultivo establecido necesita una temperatura adecuada. A temperaturas bajas (16 °C o menos) y con mucha luminosidad (promedio de 14 MJ·m⁻²·día⁻¹), la planta no tendrá una velocidad de desarrollo de acuerdo con su fotosíntesis. El resultado será un cultivo con tallos gruesos y hojas gruesas, a veces encrespadas, con frutos de excelente calidad en cuanto a tamaño y sabor, pero de baja productividad (Cooman *et al.*, 1999). La planta comenzará a guardar almidón en hojas y tallos en vez de conducirlo a los frutos y, en casos extremos, habrá inhibición de la fotosíntesis (Nederhoff *et al.*, 1992).

A temperaturas elevadas (24 °C o más) se tendrá un cultivo con un alto costo de mantenimiento, el cual es proporcional con el peso del cultivo y exponencial con la temperatura. En estas condiciones se obtienen frutos pequeños y la productividad puede ser decepcionante. En la práctica, se recomienda trabajar a una temperatura promedio de 18

a 20°C, siendo la primera la temperatura ideal para condiciones de menor luminosidad.

Diseño, construcción y manejo del invernadero para tomate

El cultivo de tomate en invernadero ayuda a mejorar las condiciones climáticas con respecto a la intemperie y reduce el riesgo por efecto de la lluvia. En la práctica, la radiación solar es impuesta por las condiciones meteorológicas, y se trata de maximizar la entrada de radiación al invernadero con una construcción liviana y una cubierta de buenas características ópticas. Generalmente, la temperatura del aire en el interior será superior a la temperatura del aire exterior, por el balance energético positivo generado por el efecto invernadero. La humedad del aire dependerá del balance de humedad. La temperatura y humedad del aire pueden modificarse por medio de la ventilación del invernadero y de accesorios poco utilizados en el medio colombiano como calefacción, pantallas energéticas y humidificadores.

Localización del invernadero

Al momento de seleccionar un terreno para la construcción de un invernadero, deben tenerse en cuenta los aspectos climáticos, topográficos y edáficos descritos a continuación. Adicionalmente, para bajar al máximo los costos de transporte, debe considerarse la cercanía a los mercados. Por último, como el cultivo de tomate bajo invernadero implica altas inversiones y requiere constante trabajo, se recomienda instalar el invernadero cerca de la vivienda del dueño, del mayordomo o de un operario responsable.

Factores climáticos

La altura sobre el nivel de mar está directamente relacionada con la temperatura promedio del sitio, que oscila preferiblemente entre los 14 y los 20°C. Esto corresponde en Colombia a una altura entre 1.500 y 2.600 msnm.

En términos generales y a buena temperatura, en cuanto más elevada sea la radiación solar, mejor. En Chía se registra una radiación promedio de 14 Mega Joules·m⁻²·día⁻¹.

Esto se logra en buena parte de la Sabana de Bogotá y en clima templado, pero pueden existir diferencias importantes entre regiones. En la Sabana de Bogotá, las zonas de mayor pluviosidad corresponden a zonas de menor radiación. Para mantener el invernadero en buenas condiciones de luminosidad, debe evitarse la acumulación de polvo y algas encima de éste. Las carreteras destapas y los árboles cerca al invernadero pueden incrementar la presencia de estos elementos encima de la cubierta.

La orientación del invernadero y la estabilidad del mismo dependerán de la velocidad y dirección predominante de viento. En sitios de vientos fuertes, la estructura del invernadero tiene que ser reforzada, aunque esto incrementa el costo del invernadero. En la Sabana de Bogotá el diseño de la estructura del invernadero le permite resistir una carga de viento de aproximadamente 50 km por hora.

La lluvia ayudará a tener el agua suficiente para los riegos. Sin embargo, en regiones con muchas horas de lluvia la humedad relativa será elevada y existirá un mayor riesgo de enfermedades. Si se quiere cultivar en una región donde existen riesgos de granizo, se debe tener un programa para la prevención de daños.

Factores topográficos y edáficos

Un terreno plano o con una pendiente hasta del 20% no será problema para la instalación de un invernadero, el sistema de tutorado, las camas para la producción y el sistema de riego. Cuando la pendiente del terreno ya supera el 20%, se recomienda instalar las camas de forma perpendicular a la pendiente, para evitar problemas con el tutorado de la plantas y con la uniformidad en el riego por la carga y descarga de las líneas de goteo.

Las condiciones de fertilidad del suelo se pueden modificar, pero a veces esto significa costos elevados en enmiendas, fertilizantes químicos y orgánicos, la instalación de un sistema de drenaje y, en un caso extremo, la instalación de un sistema hidropónico. Para evaluar las condiciones del suelo debe analizarse la fertilidad química, física y biológica. El terreno debe tener un buen drenaje y estar libre de encharcamientos. Para la parte biológica, se recomienda evaluar patógenos como nematodos, *Fusarium* y *bacterias*.

Diseño del invernadero

Para el diseño del invernadero deben considerarse las condiciones climáticas del exterior y las condiciones climáticas ideales para el cultivo, ambas mencionadas anteriormente. Para la orientación de las naves del invernadero, se toman en cuenta la topografía, la dirección predominante de los vientos y el trayecto del Sol. Además, el invernadero debe proporcionar un buen desagüe de las aguas lluvias.

Existen muchos tipos de invernadero. Entre los invernaderos "tradicionales", es decir, los invernaderos con apertura fija en la cumbrera y ventilación por ventanas laterales, existen diferentes tipos de estructura para el soporte del techo y las ventanas (foto 10). Entre los invernaderos tradicionales están los invernaderos de cercha, los invernaderos sin cercha y con un paral debajo de la cumbrera, y los invernaderos colgantes, en donde sólo hay unos paraleles de gran tamaño a los cuales se cuelga un sistema de guayas que soporta la cubierta y los canales. Se detallará un poco el diseño general de los invernaderos de cercha y con paraleles, ya que son frecuentemente construidos por los mismos productores. Los invernaderos colgantes y los nuevos tipos de invernadero son construidos por empresas especializadas.

Orientación del invernadero

En un terreno plano, se prefiere organizar las camas en el sentido oriente-occidente y se construye el invernadero con las naves en el mismo sentido. De esta forma se logra que parte de la radiación directa del Sol pueda penetrar hasta el fondo del cultivo. A la vez, se deja la apertura de las cumbreras en el sentido contrario al de los vientos predominantes, para prevenir que un viento fuerte levante el techo.

En el caso de un terreno con pendiente, se recomienda dejar el sentido de las camas y de las naves de forma perpendicular a la pendiente. Para las camas, pueden construirse terrazas si la pendiente es fuerte, se mantiene la altura de los diferentes paraleles igual y se juega con la forma de las cerchas para tener un buen desagüe. En ningún momento se puede dejar la cercha con muy poca pendiente, ya que esto causará formación de bolsas. En la figura 5 se observa un corte transversal para una estructura puesta en un te-

reno plano y en un terreno con pendiente. Si la pendiente es muy fuerte, puede construirse el invernadero con un solo techo en un solo sentido.

Tanto en terreno plano como con pendiente, las canales deben tener una pendiente suficiente para asegurar un buen desagüe. Esto se logra dando una pendiente de aproximadamente 10%, variando la altura de los parales. La medida estándar más común es 6,8 m de ancho para las naves mientras que el ancho de los cuadros por lo general es de 5 m.

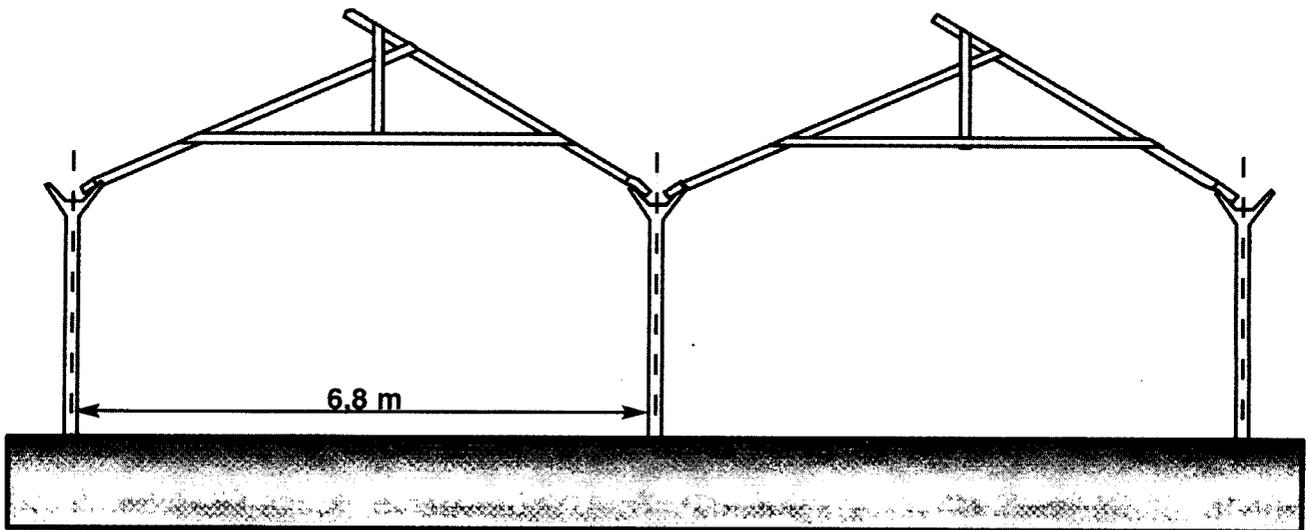
El clima "medio" es el hábitat "ideal" en cuanto a temperatura para el cultivo del tomate. La temperatura ideal se establece bien en esta zona climática en invernaderos con muy buena ventilación, que cambian en un mínimo la temperatura exterior y en los que la ventilación también ayuda a bajar la humedad del aire. Para el cultivo del toma-

te bajo invernadero en la Sabana de Bogotá se requieren invernaderos con ventilación suficiente para evacuar la humedad en la mañana y prevenir excesos de temperatura, pero que a la vez puedan mantener en la noche el calor acumulado durante el día.

Características mínimas de un invernadero de clima medio

Cuanto más alto sea el invernadero, más estable será el clima dentro de éste. Es recomendable que el invernadero tenga de 4,5 a 5,5 m de altura debajo de la canal en el centro del invernadero, alrededor de 3 m debajo de la canal en la fachada y ventanas a todo su alrededor para permitir una muy buena ventilación. En algunos sitios no se requiere una cobertura plástica en los cerramientos laterales, ni tampoco las culatas y antepechos. A veces, éstos se dejan abiertos, en otras ocasiones se reemplazan por una malla anti-insectos.

Figura 5. Invernadero de diseño tradicional con cercha.



BIBLIOTECA AGRICOLA DE COLOMBIA

El largo total de las naves puede llegar hasta 60 m, pero se recomienda no hacer unidades grandes para asegurar un buen funcionamiento de las ventanas. La apertura fija en la cumbrera puede ser de mínimo 40 cm en lugares frescos, mientras no haya problemas con excesos de temperatura. En sitios de más calor se hacen aperturas hasta de un metro. Cuanto más grande sea la apertura en la cumbrera del invernadero y mejor esté funcionando la ventilación cenital, más grande puede ser el invernadero. Como regla general, se trata de no exceder 40 m para el ancho del mismo.

Características mínimas de un invernadero de clima frío

El largo total de las naves puede llegar hasta 60 m, pero se recomienda ventilar por las fachadas frontales. La apertura fija en la cumbrera puede ser de 20 cm en la Sabana de Bogotá, mientras no haya problemas con excesos de temperatura. Para mantener el calor durante las noches pueden instalarse tubulares, ventanas móviles o pantallas térmicas.

Construcción del invernadero

Para llevar a cabo la construcción exitosa del invernadero deberán tenerse en cuenta algunos aspectos que se detallan a continuación.

Materiales de construcción para estructuras

Las estructuras, al igual que cada una de las diferentes partes del invernadero, deben reunir ciertas condiciones o características como: ser livianas, resistentes, de fácil mantenimiento y/o cambio, luminosas y económicas. Si el invernadero es de muy buena rigidez, parte de su estructura puede ser utilizada como estructura para el tutorado, pero normalmente se requiere de una estructura adicional para este fin.

Los materiales para las diferentes estructuras del invernadero varían según el diseño, la zona donde se va a construir y la inversión que se quiera hacer. Entre los invernaderos tradicionales, el más utilizado es el de cercha, seguido del invernadero sin cercha con paral debajo de la cumbrera. Los materiales para estos dos tipos de estructura se describen a continuación.

Los parales del invernadero pueden ser de madera inmunizada o madera normal sobre mojonos de concreto o enterrados directamente en el suelo. La longitud varía de acuerdo con el diseño del invernadero, la topografía del terreno y el clima, ya que en clima cálido deben construirse invernaderos más altos.

En los invernaderos de diseño tradicional con cercha se utiliza usualmente madera inmunizada (repisas). La unión de las repisas se hace con puntillas o en algunos casos con tornillos que, aunque elevan los costos, facilitan el mantenimiento de las mismas. En los invernaderos de diseño tradicional sin cercha se utilizan varas de corredor, cuya longitud varía de acuerdo con el ancho de cada nave.

Otro elemento necesario para la construcción del invernadero es una estructura llamada "carevaca" (Figura 6). Ésta se fija a los parales del invernadero y sirve como unión entre dos cerchas; a la vez, soporta la canal que recibirá el desagüe de las cubiertas del invernadero. Usualmente, las carevacas están hechas en ángulo metálico de 1½ pulgadas y/o repisas de madera inmunizada.

El anclaje del invernadero y/o los puntos de apoyo laterales están contruidos en concreto, varillas y platinas. La estructura del invernadero se fija a los apoyos laterales mediante alambres o guayas metálicas.

Cubiertas y características

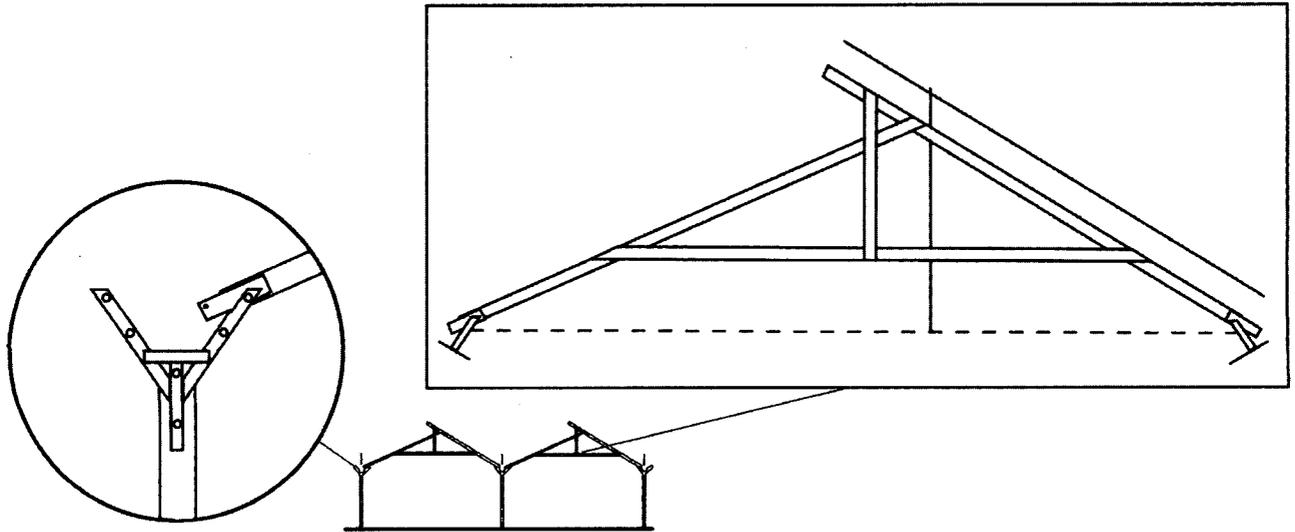
Para el material de cubierta para los invernaderos es necesario conocer algunas propiedades del mismo en el momento de su elección:

Propiedades ópticas

Se refieren al comportamiento del material frente a las radiaciones. En este aspecto es necesario evaluar la transmisión de luz del material.

La luminosidad interviene en la fotosíntesis, siendo así el factor más importante para el crecimiento de las plantas, generando aumentos o disminuciones en la producción y calidad del tomate. En términos generales, los materiales que son usados para cubrir un invernadero serán mejores cuanto más transparentes sean a las radiaciones fotosinté-

Figura 6. Diseño de la cercha y la carevaca en un invernadero de diseño tradicional.



ticamente activas. Sin embargo, al comparar la luminosidad es preciso tener en cuenta no sólo el material en sí, sino también la estructura que lo soporta, ya que ésta influye directamente en la pérdida de luminosidad dentro del invernadero. De la misma forma, la pérdida de luminosidad puede deberse al envejecimiento del material o, lo que es más importante, a la acumulación de polvo y/o algas.

Propiedades térmicas

Hay dos aspectos importantes a tener en cuenta: el coeficiente de pérdidas de calor (K), el cual expresa las pérdidas debidas a radiación infrarroja larga o calorífica, conducción y convección. Y el coeficiente de transmisión de la radiación IR larga o calorífica. Cuanto menor sea este coeficiente, mayor será el poder de acumulación del material.

Propiedades mecánicas

Es importante que un buen material de cubierta soporte esfuerzos como la tensión de instalación, los vientos, las lluvias, el movimiento de la estructura y las labores de

mantenimiento del invernadero. Las deficiencias en la sujeción o instalación pueden ocasionar desgarros en el plástico, disminuyendo la vida útil del material.

Uno de los materiales más utilizados como cubierta de los invernaderos en nuestro medio, el cual reúne la mayoría de las condiciones anteriormente expuestas, es el polietileno de baja densidad, estabilizado contra radiación ultravioleta. Los calibres más utilizados son de 5 ó 6 milésimas de pulgada.

En la instalación de las láminas de polietileno, es necesario tener en cuenta ciertos aspectos como los siguientes: 1) La estructura del invernadero debe estar libre de bordes agudos, astillas, puntillas y alambres que puedan rayar o romper el plástico. 2) La tensión ideal se da por la elongación máxima del material con respecto a su longitud inicial; ésta no debe sobrepasar el 2%; por ejemplo, en naves de 70 m no debe estirarse más de 1,4 m. 3) Es recomendable hacer la instalación del plástico en la mañana o en la tarde, cuando la temperatura no sea muy alta. 4) La fijación del plástico debe hacerse de forma tal que se haga el mínimo de perforaciones.

Manejo del clima

En términos generales, se quiere maximizar la radiación solar, llegar a una temperatura promedio entre 18 y 22 °C y mantener la humedad relativa del aire entre 60 y 80%. Adicionalmente, las temperaturas dentro del invernadero no deberían bajar de 15 °C durante la noche, ni exceder 30 °C durante el día.

En el trópico, las variaciones de temperatura en un día pueden ser muy importantes, y junto con ello las variaciones en la humedad relativa del aire. Por ello, es importante la toma de datos confiables. En las primeras horas del amanecer, la temperatura del aire sube rápidamente, mientras que la temperatura del cultivo se demora en subir. Esto causa una condensación de agua sobre el follaje y los frutos, lo cual favorece el desarrollo de hongos. Para prevenir al máximo esta condensación, debe ventilarse el invernadero; así, el aire del invernadero se calienta de forma menos rápida y la condensación que se presenta se evacua más rápido.

Una vez superados los problemas con excesos de humedad, se ventila básicamente en función de la temperatura. En condiciones de clima variable, con variaciones de tiempo nublado y luego mucha luminosidad, ocurren alteraciones muy bruscas en la humedad relativa del aire. Es entonces cuando debe ventilarse con cautela; es preferible que la temperatura suba durante un lapso corto de tiempo que tener una baja brusca en la humedad del aire.

Manejo de la ventilación en clima frío

En clima frío es difícil llegar a los promedios de temperatura ideales. En estas condiciones, se ventila el invernadero con las cortinas laterales durante las primeras horas de la mañana, para después mantenerlas cerradas sin llegar a excesos de temperatura.

Se inicia la apertura de las cortinas entre media hora y una hora después del amanecer y durante unas tres horas más. En la práctica esto significa que se abren las cortinas desde las 6:30 ó 7:00 a.m. hasta las 9:00 ó 10:00 a.m. Así se previene y evacua la condensación de agua sobre el cultivo y se seca la cubierta del invernadero sobre la cual se condensó agua durante la noche.

No hay necesidad de hacer aperturas grandes en las cortinas laterales. Además, es preferible no generar viento sobre la primera hilera de plantas, lo que se logra con las cortinas que abren de arriba hacia abajo.

A las 9:00 ó 10:00 a.m., y con el cultivo seco, se comienza a ventilar en función de la temperatura. Se mantienen las cortinas laterales cerradas sin que la temperatura del aire exceda los 28 °C.

Durante la noche se mantiene el invernadero cerrado; en el caso de tener tubulares, éstos se inflan para también cerrar la cumbrera. En épocas de mucha humedad y cuando surgen problemas sanitarios con *Botrytis* o *Phytophthora*, puede optarse por ventilar durante más tiempo en las mañanas. En este caso, también es preferible no cerrar la cumbrera del invernadero durante la noche, ya que esto ayuda a subir la humedad relativa del aire.

Con las prácticas mencionadas se logra un temperatura promedio aproximadamente 2 °C superior a la del exterior, o sea, de 16 °C aproximadamente. En un invernadero tradicional de buenas características, la temperatura nocturna está menos de 0,5 °C por encima de la temperatura del exterior, mientras que en el día se logra una temperatura promedio de 4 °C más elevada que la del exterior.

En un invernadero con tubulares que se activan durante la noche, se logra una temperatura nocturna superior en 1 °C a la del exterior. De este modo, la temperatura promedio diaria 2,5 °C más que la del exterior. En un invernadero tradicional con pantalla térmica se logra una diferencia nocturna con el exterior de 2 a 3 °C (Cooman *et al.*, 1999), esto se refleja en una temperatura promedio diaria entre 3 y 3,5 °C superior a la del exterior, o sea, una temperatura promedio de 17 a 17,5 °C. Con el uso de pantalla térmica se incrementa el peligro de humedades muy elevadas durante la noche, y aumenta el riesgo de problemas fungosos.

Manejo de la ventilación en clima templado

En clima templado, la temperatura exterior puede ser muy cercana a la temperatura ideal para el cultivo del tomate. En este caso, igualmente se debe ventilar en las horas de la mañana para evacuar humedad y el rocío sobre las plantas.

El resto del día se ventila en función de la temperatura. En clima templado, a 1.500 msnm o menos, se ventilará todo el día para que la temperatura promedio no sea más elevada que en el exterior. Pulido (2000) encontró que en Guayatá, en un invernadero con excelente ventilación, se puede lograr una temperatura parecida a la del exterior. El promedio del exterior fue de 20,3 °C, y bajo invernadero 20,6 °C. En este caso se trataba de un invernadero con todas las laterales abiertas y en un bloque de 2.600 m².

En zonas con clima entre frío y templado se ventilará para tratar de llegar a una temperatura promedio entre 18 y 22 °C, sin tener excesos de temperatura.

Desórdenes fisiológicos y condiciones de estrés

Los desórdenes fisiológicos son alteraciones de la planta que pueden afectar algunos de sus órganos y que pueden ser causadas por condiciones inadecuadas de temperatura, nutrición y agua. Se afectan principalmente los frutos, aunque también sufren las hojas y flores. Algunas variedades son más susceptibles que otras a estos desórdenes.

Grietas

Las grietas son provocadas por cambios bruscos en el potencial hídrico del fruto, ocasionado por grandes variaciones de temperatura, cambios bruscos de humedad del suelo o variaciones bruscas en la conductividad eléctrica del suelo. Si después de un período de deficiencia de agua con alta temperatura sucede un inesperado suministro de agua, la planta comienza a tomar agua rápidamente, a una velocidad mayor de la que es capaz de eliminar por medio de la transpiración. Esto hace que una parte de esta agua vaya a los frutos, ocasionando una fuerte presión que produce el agrietamiento de los mismos. Igualmente, si después de un período de alta salinidad en suelo se hace un lavado del suelo con agua sin fertilizantes, los frutos pueden absorber agua muy rápidamente y agrietarse. La mejor forma de prevenir las grietas de los frutos es mantener un nivel de humedad y de fertilizantes constante en el suelo y usar variedades tolerantes. Las grietas en los frutos pueden ser de dos clases: radiales y concéntricas.

Malformaciones ("cara de gato")

Son frutos que presentan arrugamientos y protuberancias entre las cuales a menudo se observan bandas de tejido corchoso. Las cavidades penetran profundamente dentro del fruto. Estas malformaciones son de tal magnitud que los frutos pierden cualquier valor comercial. La causa de este desorden se debe a una deficiente polinización y a factores ambientales, tales como bajas temperaturas y elevadas humedades relativas que provocan un desarrollo anormal de algunas partes de las flores. Tan pronto como estos frutos sean identificados, deben eliminarse de la planta. Para evitar ese problema, se recomienda hacer la polinización mecánicamente vibrando el tallo del racimo floral sin tocar las flores.

Caída de las flores

Este fenómeno es común cuando la humedad del suelo es baja y la planta está expuesta a vientos secos o a excesivas aplicaciones de nitrógeno. Esto ocasiona un crecimiento anormal del pistilo y muy pocas flores cuajan. Períodos repentinos de baja temperatura o lluvias fuertes también afectan la polinización adecuada. Para el control de la caída de flores se recomienda regular la humedad del suelo y evitar la aplicación excesiva de nitrógeno cuando la planta está pequeña.

Manchado

Consiste en coloraciones anormales e irregulares en cualquier parte de la piel de los frutos. El manchado varía de verde pálido hasta la carencia de color. Este desorden está asociado con la baja intensidad lumínica, temperaturas frías, alta humedad del suelo, exceso de nitrógeno y falta de potasio.

Golpe de Sol

Se forman zonas blanquecinas y blandas en la parte superior del fruto alrededor de los hombros causadas por la exposición directa de éstos a una radiación solar intensa. Se debe evitar la eliminación de las hojas que ofrecen sombra a los racimos.

Hoja enrollada

Durante tiempo húmedo (abundante lluvia o riego), las plantas de tomate frecuentemente muestran un enrollamiento hacia arriba de las hojas más viejas. Al principio, los márgenes de una misma hoja se ponen en contacto y más tarde se enrollan completamente. El crecimiento de la planta no se afecta y la formación de frutos es normal. Esta anomalía ocurre a menudo cuando el suelo tiene alto contenido de humedad y las plantas son podadas en exceso.

Frutos huecos

Este desorden se caracteriza por la carencia en el llenado de los lóculos o cavidades internas de los frutos con pulpa gelatinosa. Es un problema más frecuente en cultivos bajo invernadero que en cultivos a campo abierto. Las causas son factores que impiden una buena polinización o generan excesivo vigor de la planta, y aspectos ambientales como la baja radiación solar, las excesivas o bajas temperaturas, la baja humedad. En el capítulo correspondiente al manejo del cultivo se explican en detalle las estrategias para mejorar la polinización de las flores.

Condiciones de estrés

Estrés por salinidad

La salinización de los suelos se produce por fenómenos naturales y por la acción del ser humano. En el segundo caso ocurre por un manejo inadecuado del agua de riego, que lleva a la acumulación progresiva en el suelo de las sales disueltas en el agua de riego. Las plantas de tomate cultivadas en suelos salinos o con aguas salinas sufren alteraciones en todo su metabolismo, las cuales se reflejan en la planta en síntomas como sistema radicular más pequeño, hojas jóvenes más pequeñas enrolladas sobre sí mismas, racimos con menor número de flores y frutos más pequeños.

En la floración, el cultivo de tomate en condiciones salinas no afecta de manera significativa la producción de racimos florales, pero sí afecta drásticamente el número de flores producidas en cada racimo, llegando a la disminución hasta a un 40%. Esta reducción en el número de flores puede ser mayor en los racimos superiores de la planta que en los inferiores, sobre todo en las variedades de fruto grande.

En cuanto a la fructificación y desarrollo del fruto, la salinidad puede reducir el número de frutos por planta, no solamente por la disminución en el número de flores por racimo, sino también por la reducción en el cuajamiento de las flores que quedan. La salinidad puede afectar también el tamaño del fruto, siendo éste más pequeño en la medida en que sube la concentración de sales. No todas las variedades de tomate disminuyen el tamaño del fruto de modo similar. Cuando los frutos son más pequeños, sufren una reducción menor por el efecto salino y también menor reducción de la cosecha.

Estrés hídrico

Por su gran masa vegetativa y fructificación, el tomate necesita un gran aporte de agua, especialmente en épocas de altas temperaturas. En general, la planta reacciona al déficit hídrico de una manera rápida cerrando los estomas y evitando la transpiración. El déficit en el suministro de agua tiene muchas implicaciones en el desarrollo de la planta. A nivel radicular, si la raíz recibe agua y nutrientes en exceso con relación a sus necesidades, como ocurre en cultivos sin suelos o hidropónicos, su papel se minimiza, pero en situaciones de escasez de agua en el suelo es importante disponer de un sistema radicular amplio y activo para la supervivencia de la planta. En general, las plantas reaccionan al estrés hídrico aumentando la relación raíz/parte aérea. En cuanto al crecimiento del fruto, el déficit hídrico provoca cambios en el tamaño del fruto a muy corto plazo. Cuando el fruto crece y madura en condiciones de estrés hídrico en el suelo, se reduce la acumulación de agua en él, dando lugar a frutos de menor peso.

Estrés por temperatura

El tomate es un cultivo de origen tropical que no se adapta bien a temperaturas muy bajas. La temperatura a la cual la planta puede sufrir daños por heladas no es fácil de precisar, pero a 1 °C siempre se producen síntomas de heladas en las hojas. Las fases del desarrollo de la planta más sensibles a temperaturas inferiores a 11 °C son la germinación, la emergencia y las fallas en el cuajado de los frutos en donde las causas son la escasa formación de polen que, además, posee baja fertilidad y dificultad en el desprendimiento del polen formado.

Las altas temperaturas, por su parte, modifican todas las funciones de la planta, llegando a impedir la fotosíntesis. El daño en las estructuras reproductivas por altas temperaturas tiene como consecuencia deficiencias en el cuajado del fruto y disminución en la producción.

Bibliografía

- BEEKMANS, G. 1986. «Kasklimaat». En *Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk* (Ed.) Teelt van Stooktomaten. No. 56: 56-67.
- BUITELAAR, K.Y.W. EINDHOVEN. 1986. «Teelten Teeltmaatregelen». En *Proefstation voor Tuinbouw onder Glas te Naaldwijk* (Ed.) Teelt van Stooktomaten. No. 56: 38-55.
- CAMEJO, D., P. RODRÍGUEZ, M.A. MORALES, J.M. DELL'AMICO, A. TORRECILLAS, J.J. ALARCÓN. 2005. «High temperatura effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility». *Journal of Plant Physiology* 162(3): 281-289.
- CASTILLA, N. 1995. «Manejo del cultivo intensivo con suelo». En Nuez, F. (Ed.) *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundiprensa.
- CHALABI, Z.S., A. BIRO, B.J. BAILEY, D.P. AIKMAN & K.E. COCKSHULL. 2002. «Optimal Control Strategies for Carbon Dioxide Enrichment in Greenhouse Tomato Crops, Part II: Using the Exhaust Gases of Natural Gas Fired Boilers». *Biosystems Engineering* 81(3): 323-332.
- CHALLA, H., E. HEUVELINK & U. VAN MEERTEN. 1995. «Crop Growth, Long-Term Crop Responses, Crop Growth and Development». En Bakker, J.C., G.P.A. Bot, H. Challa, & N.J. Van de Braak (eds.). *Greenhouse Climate Control, an Integrated Approach*. Wageningen (Holanda): Wageningen Pers. 62-84.
- CIAA, 2000. «Desarrollo de la producción y el mercadeo de la lechuga, el tomate y la zanahoria dentro del programa Eurofresh». Tercer informe técnico ante COLCIENCIAS.
- COOMAN, A. 2002. «Feasibility of protected tomato cropping in the high altitude tropics using statistical and system dynamic models for plant growth and development». Tesis doctoral, Katholieke Universiteit Leuven, Bélgica.
- COOMAN A., H. UBAQUE, E. SCHREVEVS & G. DE RIJCK. 1999. «Evaluation of the feasibility of greenhouse tomato cropping in the high altitude tropics of the Bogota Plateau». *Acta Horticulturae* 507: 85-90.
- DÍAZ-PÉREZ, J.C., R. GITAITIS, B. MANDAL. 2007. «Effect of Plastic Mulches on Root Zone Temperature and on the Manifestation of Tomato Spotted wilts Symptoms and Yield of Tomato». *Scientia Horticulturae* 114(2): 90-95.
- FAOSTAT Database, 2006. <http://faostat.fao.org/>.
- GÓMEZ, D. 2000. «Estudio del crecimiento y desarrollo del fruto del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en función del clima». Monografía, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.
- JOLIET, O. & B.J. BAILEY, 1992. «The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison». *Agricultural and Forest Meteorology* 58: 43-62.
- KONING, A.N.M. de. 1994. «Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach». Dissertation, Wageningen Agricultural University, Holanda, 240 pp.
- LEE R. & A. COOMAN, 1998. «Change the climate to control production». *Floriculture International*, May 1998: 12-14.

- LOHAR, D.P. & W.E. PEAT, 1998. «Floral characteristics of heat-tolerant and heat-sensitive tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars at high temperature». *Scientia Horticulturae* 1(12): 53-60.
- MORENO, M.M. & A. MORENO. 2008. «Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop». *Scientia Horticulturae* 116(3): 256-263.
- NEDERHOFF, E.M., A.N.M. DE KONING & A.A. RIJSDIJK, 1992. «Leaf deformation and fruit production of glasshouse grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by CO₂, plant density and pruning». *The Journal of Horticultural Science*, 67: 411-420.
- PULIDO, S. 2000. "Producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de crecimiento indeterminado bajo condiciones de invernadero en el Valle de Tenza, Boyacá". Monografía, Universidad Pedagógica Tecnológica de Colombia. Facultad de Agronomía.
- RANGARAJAN, A. & B. INGALL, 2001. «Mulch colour affects radichio quality and yield». *HortScience* 36(7): 1240-1243.
- SATO, S., M.M. PEET, R.G. GARDNER, 2001. «Formation of parthenocarpic fruit, undeveloped flowers and aborted flowers in tomato under moderately elevated temperatures». *Scientia Horticulturae* 90(3-4): 243-254.
- UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME) – INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). 2005. *Atlas de radiación solar de Colombia*.
- XU, X.L., D. IRAQUI, A. GOSSELIN, 2007. «Effect of ambient humidity on physiological activities and fruit yield and quality of greenhouse tomato». *Acta Horticulturae* (ISHS) 761: 85-92.



Manejo integrado de plagas y enfermedades

Kris A.G. Wyckhuys, Luz Stella Fuentes, Nancy Eunice Niño, Ligia Espinosa, Raf De Vis y Hugo Escobar

Introducción

A lo largo de la historia de la humanidad, las plagas y enfermedades de los cultivos así como la búsqueda de estrategias apropiadas para su manejo han sido objeto de preocupación constante. El término "plaga" es un concepto relativo y circunstancial, lo que refleja que un organismo en ciertas circunstancias no es visto como molestia o como benéfico, pero si afecta directamente al ser humano, en cultivos, animales o propiedades, se convierte en plaga y requiere intervención. En términos agrícolas, una plaga es una población de seres vivos que causa daño a un cultivo o a los animales domésticos, lo que provoca la reducción del rendimiento y/o calidad de la producción en una cantidad tal que es económicamente inaceptable para el productor. El manejo de plagas es un acercamiento general para encargarse de diferentes tipos de plagas: insectos, ácaros y otros artrópodos, nematodos, patógenos microbianos y virales, malezas y algunos vertebrados.

Sin embargo, la realidad muestra que las actuales prácticas de manejo de plagas en ciertos cultivos no necesariamente son las opciones más eficaces, económicas o ambientalmente apropiadas. En muchos casos, el agricultor casi exclusivamente depende del uso intensivo de plaguicidas de síntesis química. Bajo esos esquemas de manejo, fre-

cuentemente se usan productos inapropiados, que contaminan el ambiente, que tienen alta toxicidad, en dosis inadecuadas y sin tener buena apreciación del tipo y nivel de infestación de cierta plaga o enfermedad. El uso indiscriminado de plaguicidas no solamente constituye un importante factor de costos, sino que también tiene considerables implicaciones para la salud del productor y el medioambiente. Además, la aplicación de plaguicidas en etapas antes de la cosecha conlleva al alto contenido de residuos en el producto agrícola, poniendo así en peligro la salud del consumidor.

Para reducir los múltiples costos (para el medioambiente, la salud humana, la economía del productor) asociados con el uso indiscriminado de plaguicidas, se han investigado varias opciones. No solamente se han desarrollado plaguicidas con un espectro menos amplio y más dirigidas al control de ciertas plagas, enfermedades o malezas, sino que también se ha prestado atención a prácticas que eran comúnmente utilizadas mucho antes de la introducción de plaguicidas de síntesis química. Entre ellos, el manejo cultural y control físico para prevenir brotes de plagas o enfermedades, la práctica tradicional de control biológico y el manejo integrado de plagas (MIP), que consiste en aplicar todas las técnicas disponibles para combatir las plagas, mediante la implementación de herramientas apropiadas para mantener bajos los niveles de incidencia de plagas y enfermedades, disminuyendo el empleo de plaguicidas y otras intervenciones a niveles económicamente justificados, además de reducir los riesgos para la salud humana y el ambiente. El MIP incluye el uso de herramientas para facilitar la toma de decisiones acerca de manejo de plagas, basados en niveles de infestación y condiciones agro-ecológicas y socioeconómicas. Aunque esos acercamientos tienen un gran potencial en sistemas agro-productivos en Colombia (como el de tomate bajo invernadero), todavía no han recibido la suficiente atención científica ni el interés de los agricultores.

El cultivo de tomate en Colombia se ve afectado por varias plagas y enfermedades. Las plagas de mayor importancia bajo invernadero son la mosca blanca y el cogolero, mientras que las principales enfermedades son la gota, el moho gris, el mildew veloso y un complejo de bacterias. Comúnmente, al notar problemas con plagas y/o enfermedades en el cultivo de tomate, la primera respuesta del agricultor colombiano es aplicar plaguicidas de síntesis

química, sin el conocimiento suficiente para determinar la cantidad a aplicar y muchas veces sin información acerca del posible impacto ambiental o a la salud humana que esto conlleva. Con frecuencia, el agricultor combina insecticidas y fungicidas en una sola aplicación y adopta aplicaciones programadas, a veces hasta dos veces por semana, aun cuando el cultivo está en cosecha y sin respetar los períodos de carencias de los productos utilizados. En ocasiones, es común la aplicación de plaguicidas químicos, sin verificar la presencia de plagas y enfermedades.

No queda duda de que el actual manejo de plagas en el cultivo de tomate bajo invernadero en Colombia es una situación preocupante, que necesita del diagnóstico y la formulación adecuada, la validación en campo y la adopción de varias alternativas de control. En este capítulo exploramos las diferentes opciones de manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de tomate, mediante estrategias eficaces, rentables y ambientalmente amigables.

Monitoreo: base para la toma de decisiones

El monitoreo es el primer paso para la toma de decisiones durante el manejo de plagas y enfermedades, pues nos permite conocer el nivel de infestación de cada una de las plagas o enfermedades que afectan un cultivo. El monitoreo permite tomar decisiones de control solamente cuando el agente causal constituye una amenaza directa o potencial al cultivo. Los programas de monitoreo tienen como objetivo determinar la presencia de cierta plaga o enfermedad, estimar su abundancia y distribución espacial en el cultivo y cuantificar cómo fluctúa a lo largo del tiempo. El tipo de monitoreo más apropiado para productores de tomate son las inspecciones cuantitativas. Éstas definen de manera numérica la abundancia o nivel de incidencia de una plaga en el tiempo y el espacio. Esa información se usa para predecir patrones en futuras poblaciones, cuantificar el potencial de daño económico y finalmente tomar decisiones informadas acerca del manejo de cierta plaga o enfermedad.

Para las plagas o enfermedades de las cuales no exista un umbral económico preestablecido (nivel de infestación en el cual el daño económico causado es mayor que los costos de control), el agricultor mismo (preferiblemente con

apoyo de expertos) podría determinar la relación entre el nivel de infestación y las pérdidas económicas. El monitoreo informará al agricultor cuál es el momento oportuno para tomar una acción de manejo y así evitar que cierta plaga o enfermedad sobrepase ese umbral económico. Cuando las decisiones de manejo no se basan en un proceso de monitoreo, es muy probable que el agricultor realice aplicaciones para controlar la plaga, pero en momentos incorrectos (demasiado temprano gastando dinero en aplicaciones innecesarias o demasiado tarde cuando la plaga o enfermedad ya ha causado daños económicos).

Un muestreo generalmente se ejecuta en un espacio determinado, medido en unidades de superficie, por ejemplo 1 m² del área total bajo cierto cultivo. Así mismo, la presencia de cierto número de plagas o plantas enfermas por unidad de muestreo indica el nivel de infestación de esa plaga o nivel de incidencia de la enfermedad en el cultivo. Otros tipos de muestreo dependen del uso de trampas (trampas de feromona, trampas de luz, entre otras) que atraen y capturan ciertos individuos de la plaga. La técnica de muestreo es el método usado para coleccionar información de una unidad de muestreo mientras que un programa de muestreo especifica la forma en que se toman muestras, por ejemplo: 1) estado del insecto a coleccionar, 2) número de unidades de muestreo por área, 3) ubicación de las unidades y 4) coordinación o frecuencia de muestreo.

Un factor clave para el éxito de programas de muestreo (por ejemplo en cultivos de tomate) es la constancia con la cual se adopta una estrategia de muestreo durante el ciclo de cultivo. Esa constancia permite observar patrones en los niveles de infestación por plagas y tomar medidas de control antes de que se aumenten las poblaciones. Para ciertas plagas o enfermedades está definido el programa de muestreo adecuado, mientras que para otras el agricultor, con apoyo científico de investigadores, podría concebir un plan de muestreo que le permita conocer acerca de los niveles de infestación o incidencia de cierta plaga o enfermedad, respectivamente.

El proceso de monitoreo está estrechamente relacionado con el tipo de plaga y cultivo. Así, ciertas técnicas de monitoreo funcionan sólo para algunos cultivos. Hay varias técnicas de monitoreo entre las cuales los recuentos visuales

y el uso de trampas son las más apropiadas en el cultivo de tomate. Los *recuentos visuales* pueden ser muy útiles para insectos grandes, vistosos y que se mueven libremente por la superficie de la planta. Bajo esos esquemas de monitoreo, se revisa el follaje meticulosamente y se determina el número de insectos por planta o el porcentaje de plantas enfermas. Para insectos que desarrollan una población abundante por planta, puede determinarse el número de individuos por hoja u otra parte de la planta (siempre y cuando su distribución en la planta sea uniforme).

Cada una de las unidades de muestra deben estar localizadas en diferentes áreas del invernadero, para así poder localizar eventuales focos de infestación. El *uso de trampas* es una de las técnicas más comunes en el muestreo de insectos plaga. Las trampas sirven de manera óptima bajo dos condiciones: cuando los insectos son móviles y la trampa atrapa el insecto capturado (para el conteo más adelante). Las trampas pueden ser atractivas para el insecto (por ejemplo, trampas con feromona o trampas de luz ultravioleta –UV–) o pueden actuar de manera pasiva (trampas de caída). Las trampas de luz UV son utilizadas mundialmente para capturar polillas y mosquitos, por lo que se consideran de gran potencial para ciertas plagas comunes en el cultivo de tomate bajo invernadero.

Estas trampas funcionan de noche, capturando insectos que son atraídos por la luz UV emitida por bombillos montados dentro de la trampa. Otro tipo de trampas de uso frecuente son las de feromonas, que atraen especialmente a los insectos utilizando estas sustancias atrayentes. Por último, las trampas de acción pasiva como las trampas amarillas de pegante son muy útiles en monitorear la presencia y nivel de infestación de ciertas plagas como la mosca blanca.

Control cultural y físico: una opción eficiente y de bajo costo

La producción agrícola y la conversión de terrenos implican una alteración o modificación de las especies vegetales o animales que ocurren en cierto lugar, al igual que modificaciones en el suelo, el agua y la topografía. Posteriormente, los cultivos se mantienen mediante el uso de varios insumos y prácticas como fertirrigación, labranza e irrigación. Estas prácticas están diseñadas para crear un

ambiente favorable para la especie cultivada. Sin embargo, ese mismo ambiente es ecológicamente simple y provee un hábitat favorable para otros organismos, como plagas y enfermedades del cultivo (que directamente interfieren con la producción agrícola y reducen su rendimiento). En el caso de tomate bajo invernadero, la alteración del paisaje agrícola es muy evidente con la construcción de una estructura física como un invernadero, el establecimiento de cierta área bajo monocultivo y la adopción de un manejo intensivo de cultivo.

Una de las técnicas más antiguas para el manejo de plagas es el control cultural o físico, que consiste en la alteración de esquemas y técnicas de cultivo que hacen el ambiente de agroproducción menos favorable para plagas y enfermedades, reduciendo el daño causado por ellas. Sin embargo, con la introducción de productos de síntesis química para el manejo de plagas y enfermedades, las prácticas de control cultural quedaron en el olvido y hoy en día se consideran anticuadas, tradicionales y atrasadas. Se debe indicar que el control cultural y físico es una opción de muy bajo costo que adoptado e implementado constantemente puede prevenir severas infestaciones de plagas o enfermedades y así evitar importantes costos de manejo.

El control cultural consiste en múltiples prácticas, de las cuales sólo mencionaremos las que tienen alto potencial en cultivos de tomate bajo invernadero. Las prácticas se organizan en estrategias que 1) reducen el atractivo de un cultivo para cierta plaga o enfermedad, 2) alteran la continuidad de algunos requisitos de las plagas o enfermedades, 3) desvían la plaga del cultivo y 4) minimizan el impacto de daño por plagas o enfermedades.

Una de las estrategias clave para *reducir el atractivo* de un cultivo son las prácticas de sanidad. La destrucción de residuos de cultivo, quemando o compostando, o la limpieza general del invernadero al inicio de un nuevo ciclo de cultivo deberían ser adoptados por cada productor de tomate, porque pueden prevenir severos problemas fitosanitarios. Se puede lograr la desinfección del terreno de cultivo cerrando el invernadero por completo durante varios días. De esta forma, el invernadero se calienta hasta temperaturas letales para la mayoría de plagas y enfermedades. La destrucción o modificación de hospederos o de hábitats alternativos cercanos al invernadero puede ser una estra-

tegia igual de eficiente para reducir los niveles de infestación. Existe poca atención por parte del productor acerca de la ocurrencia y manejo de plagas o enfermedades en cultivos vecinos al suyo, por lo que resulta muy importante que el productor realice estas observaciones para tomar medidas de prevención. El manejo adecuado de agua e irrigación en cultivos de tomate bajo invernadero también puede servir para prevenir brotes de plagas o enfermedades. En general, las plantas son más susceptibles a ataques por insectos cuando viven bajo estrés (por ejemplo, falta de agua). Por otra parte, ciertas enfermedades, como *Fusarium oxysporum*, son prevalentes bajo condiciones de exceso de agua.

La *alteración de la continuidad* en ciertos requisitos favorables a las plagas o enfermedades se logra mediante varias estrategias. Una primera estrategia es la reducción de la continuidad en espacio, que se refiere a la siembra de plantas a cierta distancia para interferir con el movimiento de plagas o proliferación de enfermedades. La ubicación del cultivo de tomate es igualmente importante, de tal forma que una parcela de tomate establecida en medio o cerca de un cultivo infestado por mosca blanca (por ejemplo, melón), sufrirá igualmente de infestaciones de esa plaga. Por eso, se sugiere plantar cultivos de tomate colindante a cultivos que pertenecen a distintas familias botánicas y que no padecen de las mismas plagas o enfermedades.

Dependiendo de la movilidad de la plaga o del tipo de dispersión de la enfermedad, se pueden respetar ciertas distancias entre cultivos de tomate y parcelas con cultivos que tienen las mismas plagas o enfermedades. Otra estrategia es la alteración de cultivos en el tiempo, que involucra prácticas de rotación de cultivos. Aunque esa estrategia no ha recibido mucha atención en tomate bajo invernadero en Colombia, puede ser valiosa en caso de problemas con plagas o enfermedades del suelo (en cultivos no-hidropónicos) o cultivos extensos donde ciertos problemas fitosanitarios van propagándose de un invernadero a otro. Preferiblemente se rotará con cultivos que no son susceptibles a la plaga o enfermedad focal.

La *desviación de plagas clave* del cultivo puede lograrse mediante el establecimiento de cultivos trampa. El uso de cultivos trampa incluye la siembra de áreas pequeñas alrededor del cultivo principal con plantas que son más atrac-

tivas para la plaga y hacia las cuales se dirigen las acciones de manejo. Por ejemplo, el establecimiento de pequeñas áreas con frijol alrededor de cultivos de tomate bajo invernadero puede ser una estrategia de control de mosca blanca (porque el frijol es más atractivo que el tomate para esa plaga). Sin embargo, no se puede olvidar hacer un seguimiento meticuloso de niveles de mosca blanca en esos cultivos trampa y tomar decisiones de manejo acertadas para evitar que el cultivo trampa se convierta en fuente de plagas para el cultivo principal. En zonas donde la presión de plagas es alta, el uso de mallas es una opción eficaz para evitar inmigraciones de insectos como polillas, mosca blanca etc. en el cultivo nuevo. Puede ser mucho más barato invertir en una malla que aplicar una gran cantidad de insecticidas. Se debe crear aperturas de ventilación en las mallas y mantenerlas limpias para evitar que interfieran con la ventilación del invernadero.

La *reducción del impacto de la plaga* en el cultivo de tomate puede lograrse mediante la adopción de variedades tolerantes. Aunque esas variedades no han sido identificadas en Colombia, el mismo agricultor puede hacer comparaciones de la susceptibilidad de ciertas variedades de tomate a plagas o enfermedades bajo sus propias condiciones de cultivo y seleccionar aquellas que dan mejor resultado.

Por último, existen otras opciones de control cultural como las podas fitosanitarias (podando partes infestadas de la planta), la eliminación de plantas enfermas, el uso de material vegetal libre de enfermedades, la limpieza de herramientas de trabajo, trabajar primero en bloques limpios y después en bloques infestados, entre otros.

Manejo con enemigos naturales y otros agentes biológicos

Desapercibido por muchos, la mayoría de insectos plaga o enfermedades ocurren naturalmente a niveles muy bajos debido a que son objeto de ataques de sus propios enemigos naturales. Esos enemigos naturales, como por ejemplo la mariquita, que es un depredador de pulgones, o la araña cazadora de moscas, son organismos naturalmente presentes en el cultivo que matan insectos plaga instantáneamente, los debilitan o reducen su potencial reproductivo. También pueden ser organismos que interfieren con

la proliferación de enfermedades, haciendo que los brotes de ellas sean menos probables o que el daño económico sea mucho menor.

Casi todas las plagas y enfermedades están afectadas por enemigos naturales, muchos de los cuales ya están disponibles comercialmente en varias partes del mundo e inclusive en Colombia. Sin embargo, en la producción de tomate bajo invernadero en Colombia, la mayoría de los agricultores desconocen su presencia y viven con la convicción de que el único manejo de plagas o enfermedades es el uso de insecticidas o fungicidas costosos y altamente tóxicos. Esta situación contrasta con la producción de tomate bajo invernadero en Europa, EE.UU. o Canadá, donde los agricultores dependen principalmente del uso de controladores naturales para el manejo de plagas o enfermedades.

El control biológico se define como el uso de enemigos naturales en sistemas agrícolas para el manejo de problemas fitosanitarios como plagas o enfermedades. Los enemigos naturales de las plagas son muy variados, encontrándose desde los virus y bacterias hasta algunos vertebrados. Los enemigos naturales se han dividido en diferentes tipos o grupos principales: depredadores, parasitoides y patógenos. Los *depredadores* son cazadores y consumen presas (insectos plaga) que comúnmente devoran completamente y de manera rápida. Generalmente, consumen más de una presa, constituyéndose en importantes controladores de plagas. Los *parasitoides* colocan sus huevos dentro o sobre algunas especies de insectos plaga y el desarrollo de sus larvas causan la muerte del insecto hospedero. Los adultos son insectos móviles que en la mayoría de los casos son avispas pequeñas o moscas, que buscan activamente los insectos plaga adecuados para su desarrollo.

Los *patógenos* son enfermedades (causadas por virus, bacterias, hongos) que afectan los insectos plaga de la misma manera como una enfermedad afecta a los humanos, debilitándonos, en caso de no aplicar medicinas, llegando a provocar la muerte. Para poder manipular esos enemigos naturales presentes en cultivos de tomate bajo invernadero y utilizarlos en prácticas de control biológico contra plagas y enfermedades, los agricultores deben reconocer su importancia, lo cual todavía hace falta en los productores de tomate en Colombia.

Hay dos formas en las que puede promoverse el control biológico en el cultivo de tomate bajo invernadero. La primera es mediante la liberación de enemigos naturales que ya están comercialmente disponibles. Ejemplos son la liberación de *Encarsia formosa*, *Amitus fuscipennis*, *Chrysoperla carnea*, *Trichogramma sp.*, entre otros, contra insectos plaga, mientras que contra infecciones de varias enfermedades se usan aplicaciones con suspensiones del hongo *Trichoderma sp.* La segunda forma es mediante la conservación de enemigos naturales presentes en el cultivo, con la disponibilidad de los nutrientes requeridos por ellos, para aumentar sus poblaciones. Como varios parasitoides consumen néctar, la siembra de ciertos tipos de flores en los alrededores o al interior del invernadero puede aumentar la abundancia de los controladores biológicos. Debe quedar claro que cuando se elige el camino de control biológico en el cultivo, deben evitarse aplicaciones con insecticidas o fungicidas para que éstas no interfieran con la acción de los enemigos naturales, o utilizar ingredientes activos con algún grado de compatibilidad con el controlador biológico que se esté utilizando.

El control biológico ha sido adoptado por un gran número de productores a nivel mundial, básicamente por la gran cantidad de ventajas que conllevan:

- El control biológico no es más costoso que el control químico.
- El control biológico es más confiable que el control químico. A medida que los agricultores se acostumbran y aprenden sobre esta técnica de manejo, reconocerán sus amplios beneficios y llegarán a confiar en esta herramienta. Adicionalmente, al tiempo que el equilibrio y el banco de enemigos naturales se incrementan en el cultivo y las zonas aledañas, el control biológico se establece cada vez más fácilmente.
- No existe la posibilidad de que las plagas adquieran resistencia a enemigos naturales, siendo una ventaja enorme frente al uso de plaguicidas.
- Al adoptar el manejo biológico, se reducen los efectos de toxicidad de plaguicidas tanto en el cultivo como en el medioambiente.

- Con el control biológico se mejora la salud ocupacional de los productores, operarios, etc.
- La implementación de un manejo biológico mejora la imagen de la empresa productora; además, se puede destacar el valor agregado en los productos producidos biológicamente frente a los de producción convencional y así mejorar las utilidades.
- El control biológico ayuda a generar un producto sin residuos de plaguicidas, algo que es cada vez más requerido por los consumidores a nivel mundial.

Aunque todavía falta mucho conocimiento científico acerca de la presencia de enemigos naturales en cultivos de tomate y su uso en programas de control biológico, los productores pueden aprender mucho de este manejo, observando las plagas y sus enemigos naturales presentes en el cultivo.

Control químico

Considerando el alto costo de los agroquímicos, el eventual peligro para la salud humana y el posible impacto ambiental, el control químico de plagas y enfermedades debería ser la última medida a tomar. En cultivos de tomate bajo invernadero en Europa o Canadá, el control químico es una opción de rescate (la cual se adopta cuando las demás opciones no han dado buen resultado), mientras que en Colombia es muchas veces la primera y única opción de manejo de plagas o enfermedades. Dado que la mayoría de plaguicidas no son compatibles con el control biológico (porque eliminan depredadores, parasitoides o patógenos), no es fácil la incorporación de varios de esos productos en esquemas de manejo de plagas. Sin embargo, existen ciertas estrategias bajo las cuales la aplicación de algunos productos químicos puede ser compatible con el control biológico.

Una primera estrategia está basada en un monitoreo frecuente de la plaga o enfermedad dentro del cultivo, permitiendo la aplicación de plaguicidas sólo cuando la plaga o enfermedad tiene potencial de causar daño económico (límite de umbral económico) y únicamente en focos de infestación. Una segunda estrategia puede ir de la mano con

la anterior, porque se basa en el uso de plaguicidas que son compatibles con el control biológico (que causa menor mortalidad a los controladores naturales).

Esta herramienta permite intervenir con productos químicos, en caso de eventuales brotes, sin alteraciones altamente significativas en el balance ecológico dentro del cultivo. La tercera estrategia, llamada "Manejo Integrado de Plagas", se refiere a la integración de todas las diferentes prácticas (control cultural, control biológico, modificación de hábitat, monitoreo y control químico) para mantener los niveles de plagas o enfermedades por debajo de los umbrales económicos. Esta tercera estrategia es la preferida y generalmente resulta ser la opción más económica, con buen perfil ambiental y representa menor peligro para el agricultor y el consumidor.

Algunos productos químicos son indispensables durante procesos de desinfección del invernadero. Por ejemplo, se recomienda emplear agua con 2% de formol ó 4-7% de hipoclorito de sodio para desinfectar la estructura del invernadero (plástico, estructura, tutorado y sistema de riego). Después se deben dejar cerradas las estructuras por lo menos 24 horas y airearlas bien al menos por un día antes del trasplante.

Otros productos químicos nunca deberían utilizarse en cultivos de tomate ni en otros cultivos, ya que son de amplio espectro, por su efecto negativo en controladores naturales, causando más daño que beneficio, porque después de una aplicación se presenta el resurgimiento y proliferación de muchas plagas o enfermedades. De igual manera, se recomienda no aplicar productos de los cuales no se disponga información o productos con alta toxicidad. Falta por destacar que es exactamente el uso irracional de plaguicidas lo que hace que se elimine la comunidad de controladores naturales y se generen problemas con plagas o enfermedades difíciles de controlar.

En el caso de que el productor opte por medidas de control químico, es importante rotar los grupos de productos, para evitar el desarrollo de resistencia de las plagas y enfermedades a determinados productos. Se recomienda fumigar dos o tres veces con un producto del mismo grupo químico para después rotar a otro grupo. Lo mismo se recomienda para insecticidas elaborados a base de ex-

tractos de plantas. En este grupo, los productos más conocidos son los extractos del árbol de Neem (*Azadirachta indica*) y el extracto de tabaco, que afectan el crecimiento y el comportamiento de los insectos; estos insecticidas son de poca persistencia. La desventaja de éstos es su amplio espectro, afectando también la fauna benéfica, razón por la cual no pueden utilizarse en cultivos con sello ecológico. Aunque la producción orgánica utiliza los extractos vegetales para el manejo de plagas y enfermedades, la certificación orgánica no permite el uso de Neem, tabaco y barbasco.

Las principales plagas del tomate y su control

Mosca blanca o "palomilla"

Trialeurodes vaporariorum, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae)

Distribución: la mosca blanca es una de las principales plagas del tomate a escala mundial (foto 11), pero abunda más en el trópico y subtrópico. En el trópico, hay reportadas cerca de 43 especies de mosca blanca, las cuales afectan más de 50 plantas cultivables. En Colombia, las especies más abundantes son *Trialeurodes vaporariorum* (zonas de clima medio y frío) y *Bemisia tabaci* (zonas de clima medio y cálido). La mosca blanca se encuentra comúnmente en cultivos como la yuca, batata, frijol, ají, papa, berenjena, calabacín y melón. Entre las variedades de tomate hay diferencias de susceptibilidad a la mosca blanca, siendo el tomate de mesa la variedad más susceptible.

Importancia: los adultos generalmente se encuentran en las hojas superiores y/o jóvenes de las plantas y se ubican en el envés de las mismas, donde se alimentan de la savia de la planta y colocan sus huevos. La mosca blanca produce tres tipos de daño sobre su hospedante vegetal: 1) daño directo causado por adultos e inmaduros al succionar la savia de la planta, lo que causa que las hojas de plantas infestadas se vean amarillentas y poco desarrolladas. Para producir un efecto significativo sobre la cosecha, las poblaciones deben ser altas. 2) Daño indirecto causado por la formación de fumagina, la cual se forma sobre las hojas y frutos, al crecer el hongo *Cladosporium* sp. sobre la excre-

ción azucarada de adultos y ninfas de la mosca blanca. La presencia de fumagina se observa por una capa mohosa de color negro que cubre la superficie de varias partes de la planta infestada. Cuando la infestación es fuerte, la fumagina cubre las hojas reduciendo la fotosíntesis. El daño causado por la formación de fumagina es mayor que el daño directo por la succión de la savia. 3) Daño indirecto al transmitir virus. Este daño es sumamente importante en el caso de *Bemisia tabaci*, transmisor de geminivirus que afectan fuertemente el rendimiento del cultivo del tomate. El incremento de la importancia de esta plaga puede atribuirse al empleo intensivo de insecticidas y a la utilización de variedades de plantas con menor grado de resistencia. En el caso de que mosca blanca no transmita virus, el umbral económico es de 10 adultos por planta.

Apariencia: las moscas blancas son insectos diminutos, que muy raramente llegan a ser más grandes que 2-3 mm y que parecen mariposas pequeñas con alas blancas. Los adultos tienen alas cubiertas con polvo blanco y ceroso. Los adultos son insectos activos mientras que los inmaduros son sésiles y parecen escamas pequeñas de color blanco.

Ciclo de vida: el desarrollo de la mosca blanca pasa por 4 estados (huevo, ninfa, pupa y adulto) y generalmente tiene una duración de 25 a 30 días a una temperatura de 20 a 25 °C. Los huevos son muy pequeños, al inicio de color blanco y luego se tornan cafés. Una vez eclosionado el huevo, emerge una pequeña ninfa, que pasa por cuatro instares y un estado conocido como pupa, al final del cuarto instar, seguido por la etapa de adulto. El número de huevos por hembra depende de la temperatura y la planta hospedera, variando entre 28 y 534 huevos/hembra.

Monitoreo: por lo general, el monitoreo de infestaciones de mosca blanca empieza al momento de la siembra. Se colocan trampas amarillas de pegante con doble cara y un área de aproximadamente 100 cm² cada 50-250 m² en el cultivo. Las trampas deberían ubicarse en el estrato medio o alto del cultivo. Se recomienda que las trampas se revisen semanalmente, contando el número de individuos por trampas, y deben reemplazarse las trampas cada 3 ó 4 semanas (dependiendo del nivel de infestación). Una densidad alta de trampas ayudará a identificar focos de infestación y así dirigir intervenciones de manejo. Cintas largas y anchas de color amarillo (con pegante), colocadas alre-

dedor del cultivo, también pueden servir como práctica de control de mosca blanca. Se usan con frecuencia en cultivos de flores de la Sabana de Bogotá.

Control cultural: para la prevención y control de brotes de mosca blanca existen varias recomendaciones de control cultural. Primero, se recomienda iniciar con un cultivo que esté absolutamente limpio. Para eso se destruyen todos los residuos de cultivo y se depositan en un sitio lejano del invernadero. Una opción recomendable es compostar tanto los restos de cultivo de cosechas anteriores como los producidos durante el cultivo. Durante el proceso de compostaje se recomienda cubrir las pilas de materia orgánica con un plástico o picar los restos de cultivo para lograr un compostaje eficiente y rápido. Si el cultivo anterior sufrió infestación de mosca blanca, se recomienda esperar para el establecimiento de un nuevo cultivo por lo menos 5 días. Se debe eliminar toda la vegetación dentro del invernadero y dejar abiertas las cortinas para estimular la emigración de las plagas. Durante el ciclo de cultivo, se recomienda adoptar prácticas de sanidad de cultivo, eliminando con frecuencia las malezas dentro del invernadero y en zonas aledañas de 2 a 3 metros alrededor del invernadero. También se sugiere evitar la siembra de cultivos hospederos de mosca blanca (como papa o frijol) en cercanías a los invernaderos. Sin embargo, plantas como el frijol común pueden servir como cultivo trampa y pueden atraer una plaga que de otra manera atacaría este último. Finalmente, en caso de que existan brotes de mosca blanca en algunas naves del invernadero, se puede colocar malla insectil en las entradas de las demás naves para así evitar el ingreso de plagas.

Control biológico: el control biológico de mosca blanca se presenta como la mejor alternativa dentro de un programa de manejo integrado de plagas, soportados por los éxitos logrados hasta ahora en el mundo. Los parasitoides *Encarsia formosa* y *Amitus fuscipennis*, el depredador del género *Delphastus* y varios entomopatógenos tienen alto potencial como controladores biológicos de mosca blanca en Colombia.

La avispa *Encarsia formosa* es un parasitoide que se usa mundialmente para el control de mosca blanca. *Encarsia* es una avispa pequeña de color negro y amarillo (Foto 12) que solamente ataca las ninfas de mosca blanca, colocando sus huevos dentro de éstas y dejando que su larva se

alimento del contenido interno de la ninfa. Las ninfas de mosca blanca que están parasitadas por *Encarsia* se tornan de color negro (Foto 13). Una hembra de este parasitoide puede colocar más de 350 huevos y vive hasta 38 días. La duración del ciclo de vida a 20 °C es de 25 días. El Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales – CIAA de la UJTL– comercializa ese parasitoide bajo el nombre Encarfox®.

Un segundo parasitoide de mosca blanca es *Amitus fuscipennis*. Estas pequeñas avispa negra (≤ 1 mm) ocasionan que las ninfas de mosca blanca adquieran un color gris después de ser parasitadas. Las hembras de *Amitus* pueden colocar más de 400 huevos en su fase de vida adulta, que se prolonga de 5 a 17 días dependiendo de las condiciones climáticas. Este parasitoide puede parasitar más de 100 ninfas de mosca blanca en un día, comparado con 15 huevos por día para *Encarsia*, lo que demuestra su efectividad para controlar rápidamente brotes o focos de mosca blanca. La duración de su ciclo de vida es de 31 días a 20 °C. El CIAA comercializa este parasitoide bajo el nombre Amifux®.

El método de control biológico con parasitoides está basado en liberaciones estacionales: se hacen unas introducciones al inicio del cultivo y a niveles bajos de infestación de mosca blanca, con el fin de establecer un equilibrio entre la plaga y el parasitoide durante el resto del cultivo. En esas liberaciones, se cuelgan las tarjetas con pupas en la parte baja del cultivo. De esta forma, al emerger el parasitoide se encuentra directamente con la plaga y se evita que los parasitoides vuelen hacia el techo del invernadero y se pierdan. En tomates bajo invernadero en la Sabana de Bogotá se ha tenido éxito con 5 introducciones de 5 pupas/m² de *Encarsia*, con un intervalo de una semana entre las introducciones. En el caso de variedades de tomate de mesa se recomienda el uso de hasta 6 introducciones de 5 pupas con un intervalo de una semana entre introducciones. En clima medio, como en la zona de Villa de Leyva, el control biológico de la mosca blanca muy probablemente será más eficiente por la mayor temperatura.

Para lograr un control exitoso hay que tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Evitar altas poblaciones de mosca blanca al inicio del cultivo. Cuando la población inicial es mayor a 1 adul-

to/planta se recomienda primero hacer una aplicación con entomopatógenos como *Beauveria bassiana* antes de liberar los parasitoides.

- Introducir *Encarsia* en el semillero, donde iniciará su control de la población inicial de mosca blanca.
- Evitar fumigaciones, aun con productos que son compatibles con los parasitoides. Es importante recurrir solamente al control químico cuando sea estrictamente necesario, y de ser posible hacer estas aplicaciones sólo en focos.
- Es importante aumentar la temperatura de los invernaderos, especialmente en la Sabana de Bogotá. Aumentar la temperatura dentro del invernadero con un solo grado mejoraría considerablemente el control biológico.
- Monitorear permanentemente las poblaciones de mosca blanca y el porcentaje de parasitismo. Un nivel de parasitismo por encima del 80% nos indica que el control es exitoso.
- Cuando se presentan focos, se puede introducir *Amitus*. Dependiendo de la severidad de la infestación y del desarrollo del cultivo, se recomienda introducir de 10 a 50 pupas por m² y repetir esta introducción dos a tres veces.

Otra forma de controlar los focos es con entomopatógenos. Comercialmente, se consiguen productos a base de *Lecanicillium lecanii* o *Beauveria bassiana*, hongo que ataca las ninfas de mosca blanca y que es compatible con *Encarsia* y *Amitus*.

También se ha evaluado el efecto del depredador *Chrysoperla carnea* con 15 liberaciones de 2 a 3 huevos/m² por semana, reduciendo así el desarrollo de la población de mosca blanca.

Por último, el depredador *Delphastus pusillus* puede ejercer un control natural en clima medio donde se encuentre ampliamente distribuido. *Delphastus* es un cucarroncito negro y tanto los adultos como las larvas son predadores de mosca blanca. Un individuo de *Delphastus* fácilmente

BIBLIOTECA DE LA UJTL

puede consumir hasta 80 ninfas jóvenes de mosca blanca. En la actualidad, *Delphastus* no está comercialmente disponible y todavía falta investigación básica bajo condiciones de campo.

Control químico: en el control químico es necesario tener en cuenta que hay que romper el ciclo biológico del insecto, de tal forma que debe utilizarse un químico para controlar la fase adulta de la plaga (*thiocyclam hydrogen oxalate*) y otro para el control del estado de ninfa (buprofezin). En el anexo 2 se presenta un listado completo de ingredientes activos utilizados para el control de diferentes estados de desarrollo de la mosca blanca y que son compatibles con los enemigos naturales.

Cogollero

Tuta absoluta (Lepidoptera: Gelechiidae)

Distribución: el cogollero, de la familia Gelechiidae, es una plaga importante en toda Latino América, afectando entre otros al cultivo de tomate. Además, esta especie puede atacar otras especies de la familia de las solanáceas (sea cultivadas o silvestres), como papa, berenjena o lulo. Existen otras especies de la misma familia con apariencia similar a *T. absoluta* pero no está claro si afectan al tomate y/o están presentes en Colombia. De todas formas, es importante identificar la especie antes de utilizar herramientas de control o monitoreo como las feromonas. Recientemente, el cogollero también ha sido reportado en España.

Importancia: los adultos de *T. absoluta* son polillas pequeñas que vuelan de noche, colocan sus huevos en el envés de las hojas o en los sépalos de las flores. Una vez eclosionan, las larvas minan las hojas, perforan el punto de crecimiento o se introducen en el fruto del tomate (foto 14). Las galerías en las hojas igual que las perforaciones en el cogollo impiden el desarrollo de la planta. Otro daño importante causado por el cogollero es la perforación de los frutos, los cuales muchas veces se pierden debido a la infección posterior por patógenos. Por último, las larvas de *T. absoluta* pueden atacar los puntos de crecimiento de la planta, evitando el propio desarrollo del tomate y la subsiguiente producción de frutos. El cogollero es considerado como una plaga muy prolifera con alta capacidad de dispersión, lo cual explica su amplia distribución en Latino América.

Apariencia: los adultos del cogollero son palomillas pequeñas (tamaño promedio: 6-13 mm) con alas grises y diminutas manchas negras. Tienen hábitos nocturnos (foto 15). Estas mariposas depositan huevos cilíndricos de color blanco o amarillo (tamaño 0,3-0,9 mm) en el envés de las hojas. Las larvas, que emergen de los huevos, pasan por 4 estados diferentes y causan los daños típicos (minas de hojas, galerías en tallos o perforación de frutos) en las diferentes estructuras de plantas de tomate. Las larvas son de color blanco cremoso, verde o rosado con una cabeza color café. Después de su desarrollo, las larvas forman pupas en el envés de las hojas, dentro de las galerías o en el suelo. La pupa es de color marrón y su tamaño promedio es de 4 a 8 mm.

Ciclo de vida: el desarrollo desde huevo hasta adulto dura 27 días, a una temperatura promedio de 25 °C, similar a las condiciones bajo invernadero en muchos sitios en Colombia. La fecundidad de cada hembra es de 158 huevos y la longevidad de los adultos es de 11 días. El insecto puede completar hasta 12 generaciones por año.

Monitoreo: el monitoreo de *Tuta absoluta* puede hacerse tanto de forma directa como indirecta. Para el monitoreo directo se hacen observaciones secuenciales en los tercios medio y bajo de la planta. Aunque esta forma de monitoreo puede resultar eficiente, generalmente es relativamente dispendiosa en tiempo y mano de obra. Otra forma de monitoreo es mediante el uso de trampas (tipo delta) con feromonas sexuales (foto 16). Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada, en Bogotá, han demostrado que las trampas tienen mayor efectividad si se instalan en las partes superiores del cultivo, a una distancia de 30 m entre sí. Las feromonas sintéticas del cogollero atraen selectivamente a los machos y su uso indica el nivel de infestación dentro del cultivo. La feromona sintética está disponible comercialmente y viene impregnada en dedales o septos de caucho o resina. Al colocar un dedal por trampa, los machos caerán en la trampa y se obtendrá información acerca del nivel de infestación en el cultivo, cuyo conocimiento permitirá tomar ciertas medidas de control.

Control cultural: hay varias tácticas de bajo costo y fáciles de ejecutar que pueden prevenir infestaciones graves de cogollero o ayudar a reducir brotes de infestación de la plaga. Prácticas muy importantes son las medidas de

sanidad, como la colección y eliminación de material vegetal infestado (frutos, tallos, hojas). Hay que enfatizar que se debe adoptar cierto tratamiento (quemado, compostaje) de ese material para evitar que las plagas sigan desarrollándose y re-infesten el cultivo. También se recomienda mantener los cultivos limpios, especialmente entre ciclos de cultivos, para impedir que la plaga permanezca dentro del invernadero. Por último, la eliminación de ciertas plantas hospederas de *T. absoluta* (pertenecientes a la familia de las Solanáceas) alrededor de los invernaderos al igual que una rotación con cultivos distintos a Solanáceas puede ser eficiente para prevenir brotes de cogollero en cultivos de tomate.

Control biológico: para el control de *T. absoluta* se puede considerar varias opciones de control biológico, entre ellos el uso de parasitoides de huevos como *Trichogramma pretiosum* y parasitoides de larvas como *Apanteles* sp. *Trichogramma* es una avispa diminuta que ataca los huevos de varias especies de lepidópteros (polillas o mariposas). Estas avispitas están comercialmente disponibles en Colombia, con una unidad de presentación en pulgada cuadrada de cartulina negra con huevos parasitados. Se utiliza ampliamente en cultivos de caña de azúcar para controlar plagas de lepidópteros. Se recomienda introducir aproximadamente 250 pulgadas cuadradas de *Trichogramma* por Ha, por semana, una vez que se observa la presencia de *Tuta absoluta* en el cultivo (foto 17). Según las investigaciones realizadas en cultivos de tomate en el CIAA, se ha observado que liberar *Trichogramma pretiosum* resulta ser una herramienta importante en el manejo integral del cogollero.

Otro enemigo natural muy importante es la avispa *Apanteles*, que tiene un tamaño similar a la pupa del cogollero (4-8 mm) y ataca los estados larvales de esa plaga. Las avispas son altamente eficientes en controlar poblaciones de *Tuta absoluta* y cada hembra puede poner un total de 112 huevos. En la actualidad, la Universidad Militar Nueva Granada está validando los criterios de liberación para estos controladores.

Otros controladores importantes del cogollero son chinches depredadores. Se debe destacar que el control biológico sólo se hace posible dentro de esquemas de manejo integrado, por ejemplo, con una reducción del uso de in-

secticidas y/o la selección de productos compatibles con controladores naturales.

Por último, existen ciertas insecticidas biológicos basados en la bacteria *Bacillus thuringiensis*, los cuales son muy compatibles con el uso de parasitoides o depredadores y no ponen en peligro la salud humana ni del ambiente. Esos productos están ampliamente disponibles en el comercio y son muy fáciles de aplicar.

Otros: una práctica llamada "control etológico" consiste en el uso de feromonas con alta densidad de trampas. Con la captura de machos se reduce la no fecundación de las hembras y por consecuencia no habrá reproducción de la plaga dentro del cultivo. Otra forma de control es regar una gran cantidad de los dedales con feromonas en el cultivo, de manera que haya tanta feromona en el ambiente, que los machos no encontrarían a las hembras, por tanto no habría reproducción.

Control químico: se puede utilizar como última opción productos químicos para bajar la población de adultos (*thiocyclam hydrogen oxalate*) y la población de larvas (teflubenzuron).

Pasador del fruto

Neoleucinodes elegantalis (Lepidoptera: Crambidae)

Distribución: el pasador del fruto es una de las plagas más importantes del tomate en Latino América. Por lo general, afecta cultivos de Solanáceas como el lulo, tomate de árbol o tomate de mesa.

Importancia: el pasador del fruto ocasiona pérdidas hasta del 80-90% en la producción de tomate. Por lo general, esta plaga se presenta únicamente en climas relativamente cálidos. El daño por *Neoleucinodes* lo provocan sus larvas, las cuales penetran los frutos y los hacen inaceptables para mercadeo en fresco, causando daños económicos importantes. También, la infestación de frutos por el pasador del fruto está asociado con pudrición bacteriana causada, por ejemplo, por *Erwinia carotovora* (especialmente en zonas de clima cálido y alta humedad relativa).

Apariencia: los adultos del pasador del fruto son polillas de apariencia blancuzca, de las alas blancas, un poco hialinas,

con áreas escamosas de color canela oscuro a marrón y de hábitos nocturnos (foto 18). Las hembras de *Neoleucinodes* ponen sus huevos debajo de los sépalos y en frutos recién formados. Al eclosionar, las larvas penetran rápidamente al fruto donde consumen su interior y dejan una cicatriz surberizada denominada espinilla, mediante la cual se reconoce que el fruto está afectado por dicha plaga. Una vez completado su desarrollo, la larva sale del fruto (dejando una cicatriz redonda) y se dirige hacia el suelo donde forma una pupa en la superficie del suelo. La pupa es de color caoba claro y luego se torna marrón.

Ciclo de vida: una hembra de *Neoleucinodes* puede depositar de 180 a 200 huevos. El promedio de duración en días de las diferentes fases de desarrollo a temperatura ambiental (24 °C) son: huevo, 5-6; larva, 16-25; pupa, 8-12 y adulto, 4-5.

Monitoreo: para el monitoreo de pasador del fruto hay disponible en el mercado una feromona sintética (impregnada en dedales de caucho) que se coloca en trampas cilíndricas de 15 cm. a una profundidad de 8 cm. Mediante un alambre, se coloca un dedal justo debajo de la tapa y se llena la trampa con 1 litro de agua mezclada con una pequeña cantidad de jabón de aceite vegetal. Preferiblemente, se colocan alrededor de 20 trampas por ha. Las trampas se revisan con cierta frecuencia (por ejemplo, 1 vez por semana) y según el número de adultos de *Neoleucinodes* presentes dentro de ella, se toman ciertas estrategias de control. Una alternativa para el monitoreo del pasador del fruto es la inspección visual de frutos con cicatrices, formados por larvas al penetrarlos.

Control cultural: existen varias prácticas de control cultural que efectivamente pueden contribuir a reducir el nivel de infestación por pasador del fruto o prevenir futuros brotes de esa plaga. Entre ellas, la práctica más importante es la recolección y eliminación de frutos infestados (perforados por larvas de *Neoleucinodes*). También es importante la rotación con cultivos de familia diferente a Solanáceas. Por último, se puede efectuar un control por medio del uso de mallas, para evitar la entrada de la polilla al cultivo.

Control biológico: básicamente, existe una opción altamente promisorio para el control biológico, que fácilmente puede combinarse con las tácticas de monitoreo. Esa opción incluye el uso de parasitoides de huevos de las polillas, como *Trichogramma exiguum*. Estos parasitoides es-

tán libremente disponibles para el control de plagas en cultivos como el de caña de azúcar. También existen otros insectos naturalmente presentes en el cultivo de tomate que contribuyen al control del pasador del fruto –pero cuya población natural se reduce por aplicaciones frecuentes de insecticidas–. Adicionalmente, se puede aplicar el insecticida biológico a base de *Bacillus thuringiensis*, que controla las larvas del pasador del fruto. Sin embargo, estos insecticidas biológicos sólo tienen una ventana de acción muy limitada, debido a que no son eficientes cuando las larvas ya se encuentran dentro de los frutos.

Otros: la aplicación de feromonas también puede servir como estrategia de control, atrayendo los machos del pasador y evitando así que hay fecundación de las hembras y, en consecuencia, que aumente la población (foto 19). Para fines de control, se deben colocar una densidad mayor a 20 trampas /Ha en el cultivo.

Control químico: las actuales estrategias de manejo de *Neoleucinodes* incluyen aplicaciones frecuentes de plaguicidas, que comúnmente causan problemas de resistencia del insecto. Además, una vez que las larvas del pasador del fruto se encuentren dentro del fruto, el control químico no es eficaz. Por último, aplicaciones frecuentes de insecticidas pueden interferir con el uso de avispias de *Trichogramma*, indicando así la necesidad de un manejo integrado. Preferiblemente, el control químico debe dirigirse a las larvas usando teflubenzuron, o a los adultos con aplicaciones nocturnas de *tiocyclam hidrogen oxalato*.

Áfidos o pulgones

Macrosiphum euphorbiae, *Myzus persicae*, *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphididae)

Distribución: los áfidos son plagas polífagas que afectan una gran diversidad de cultivos a nivel mundial (foto 20). Aunque en el trópico comúnmente hay menos problemas con esas plagas (comparado con zonas más templadas), los áfidos han sido reportados como plagas esporádicas en cultivos de tomate.

Importancia: cada uno de los áfidos está presente en un amplio rango de hospederos, tanto en especies de plantas agrícolas como naturales y se tiende a asociar a cada espe-

cie con un cultivo específico. De tal manera, *Macrosiphum euphorbiae* es ampliamente conocido como el áfido de la papa, mientras que *Myzus persicae* se encuentra comúnmente en cultivos de durazno y *Aphis gossypii* está asociado con cultivos de algodón. Como ilustración del amplio rango de hospederos, las plantas (agrícolas) afectadas por *Myzus* son: alcachofa, espárrago, frijol, remolacha, brócoli, repollo, zanahoria, coliflor, melón, apio, maíz, pepino, nabo, berenjena, lechuga, mostaza, arveja, perejil, pimentón, papa, rábano, espinaca, calabacín, tomate, sandía, tabaco y girasol. Sin embargo, las 3 especies de áfidos pueden causar problemas graves en cultivos de tomate bajo invernadero. Los áfidos consumen la savia de las plantas, causando –en caso de alto número de individuos– pérdidas de rendimiento o eventualmente distorsiones o amarillamiento en las hojas, deformaciones en los demás tejidos vegetales o plantas atrofiadas. Los áfidos también pueden producir daños indirectos: la producción de fumagina en sus excreciones azucaradas (lo cual impide la fotosíntesis) o la transmisión de virus.

Apariencia: dentro de un cultivo, los áfidos generalmente se encuentran como colonias de adultos e inmaduros juntos. Los áfidos son insectos diminutos (adultos de 1,8-2,1 mm), de aspecto más o menos globoso y con formas o colores muy variables (de rosado para *Myzus persicae* hasta verde-amarillo para *Macrosiphum* y *Aphis gossypii*). También, los estados adultos de áfidos pueden tener alas que les permite moverse entre plantas y establecer nuevas colonias.

Ciclo de vida: la duración de una generación completa de áfidos es muy corta, generalmente de 10 a 12 días o menos, bajo condiciones de invernadero. Los áfidos adultos producen directamente ninfas vivas en condiciones del trópico. El período de vida promedio de estos áfidos es de unos 25 días. Para *Myzus persicae*, cada adulto produce cerca de 75 ninfas.

Monitoreo: como los áfidos son fáciles de observar, la forma de monitorear su presencia en cultivos de tomate bajo invernadero es mediante inspecciones visuales frecuentes.

Control cultural: aunque ciertas estrategias de manejo cultural (rotación de cultivos) son ineficientes para plagas con un rango de hospederos tan amplio como los áfidos, todavía existen ciertas opciones para su control cultural.

Primero, se debe evitar la siembra de largas extensiones de cultivos hospederos a poca distancia del invernadero –alternativamente, pueden colocarse mallas insectiles en las entradas del invernadero–. También, como las poblaciones de áfidos proliferan más en plantas con regímenes altos de aplicación de nitrógeno, se puede disminuir la tasa de aplicación de nitrógeno en el cultivo. La erradicación de colonias iniciales de forma manual o con insecticidas botánicos es una opción preferible para evitar brotes de esta plaga. Un insecticida botánico promisorio son los extractos de ajo o cebolla. Para esto, se muele 100 g de ajo (o cebolla) y se deja 24 horas en aceite mineral, después se le agrega medio litro de agua mezclado con 10 g de jabón. Eso se filtra y se diluye en 20 l de agua, después se aplica de forma dirigida hacia colonias de áfidos. Los extractos vegetales también se pueden conseguir de forma comercial en Colombia.

Control biológico: los áfidos se controlan de forma natural con varios insectos benéficos, como las avispas pequeñas, las mariquitas y las crisopas. Las avispas causan momificación de los áfidos, que se vuelven inmóviles y cambian su color a dorado, blanco o negro. Los adultos, al igual que las larvas de mariquitas, son especializados en el control de áfidos; por ejemplo, las larvas consumen un promedio de 20 áfidos por día por individuo. Por lo general, una reducción del uso de plaguicidas puede lograr aumentos sustanciales en las poblaciones de estos enemigos naturales y así promover un control “gratis” de estas plagas.

Control químico: en muchos casos, el uso de insecticidas para el manejo de áfidos no sería necesario si la presión de químicos fuera baja y se presentara un control natural. Sin embargo, el control químico puede hacerse con pirimicarb, un insecticida con baja toxicidad para enemigos naturales como las mariquitas. Se debe destacar que el uso excesivo e innecesario de insecticidas tiene más desventajas que ventajas para el control de áfidos.

Araña roja

Tetranychus urticae (Acari: Tetranychidae)

Agente causal y síntomas: la araña roja es un tipo de ácaro (que se distingue de los insectos por tener 8 patas en lugar de 6) que apenas es observable a simple vista y que

puede detallarse fácilmente con lupa. Es de color amarillo o amarillo verdoso, con dos manchas oscuras en el dorso (foto 21). Los individuos de la araña roja son ovalados y globosos, con un tamaño de apenas 0,5 mm. Los huevos son esféricos, lisos y de color blanco amarillento, y la hembra los deposita en el envés de las hojas. La araña roja pasa por tres estados inmaduros antes de convertirse en adulto. La hembra coloca alrededor de 120 huevos que eclosionan en 5 días a 21 °C y completan su ciclo biológico en unos 14 días. Todos los estados móviles se alimentan del jugo celular de los tejidos vegetales. Los síntomas iniciales de infestaciones por *Tetranychus* son puntos de alimentación, amarillentos, sobre las hojas. Al aumentar las poblaciones, la hoja presenta una decoloración difusa amarilla, se seca e incluso se puede caer. Cuando la población es alta, los ácaros comienzan a formar una telaraña que puede cubrir también el haz de las hojas, tallos y frutos, y migran hacia las partes altas de las plantas. Los ataques muy severos ocasionan el marchitamiento de la planta.

Monitoreo/control: antes de iniciar cualquier tipo de control, es importante mantener un monitoreo frecuente, estandarizado, que cubra todo el invernadero –revisando varias plantas, a diferentes alturas en el cultivo–. El control cultural se basa principalmente en los requisitos de la plaga, los cuales son la temperatura alta y la baja humedad, de tal manera que una buena ventilación del invernadero puede contribuir a reducir sus infestaciones. También, prácticas generales de sanidad de cultivo (limpiar/desinfectar las estructuras del invernadero antes de la siembra) y eliminación de las malas hierbas pueden evitar que se pasen infecciones por araña roja de un ciclo de cultivo a otro. Similar a los áfidos, las infestaciones de araña roja están relacionadas con altos niveles de aplicación de nitrógeno. Así que se pueden prevenir brotes de estas plagas reduciendo la tasa de aplicación de ese elemento fertilizante. Para el control biológico se puede utilizar el ácaro depredador *Phytoseiulus persimilis*, un ácaro ciego pero muy eficiente controlador de la araña roja. Este ácaro se encuentra comercialmente disponible en Colombia, a un precio relativamente bajo y su aplicación en invernaderos es fácil. Para el control químico se recomienda el uso del acaricida fenbutatin óxido. Sin embargo, es supremamente importante rotar productos químicos para el control de la araña roja, ya que esta plaga adquiere fácilmente resistencia a cierto producto y/o su ingrediente activo.

Ácaro del bronceado o ácaro tostador del tomate

Aculops lycopersici (Acari: Eriophyidae)

Agente causal y síntomas: es un ácaro muy pequeño con dos pares de patas y dos más transformadas en apéndices (foto 22). A simple vista no se puede distinguir la presencia del ácaro en el cultivo, pero se logra con ayuda de una lupa. El ácaro del bronceado tiene un cuerpo amarillento y alargado, de forma vermiforme de 0,12 a 0,15 mm de tamaño. Por lo general, son los síntomas que provocan una búsqueda del posible agente causal. En focos de infestación, las hojas, tallos o frutos del tomate adquieren un aspecto grisáceo, de color de bronce, y cuando las poblaciones son altas, las hojas se van marchitando, desarrollan necrosis y se secan desde el borde, y las flores pueden abortar. Además, se puede observar un polvillo en frutos, hojas y tallos. El ataque empieza primero en la parte baja de la planta y puede llegar a cubrir toda la planta. El ambiente seco y caliente favorece el desarrollo de la plaga. Comúnmente, el ácaro del bronceado completa su ciclo de vida en menos de una semana.

Monitoreo/control: el diminuto tamaño del ácaro del bronceado ofrece gran dificultad de manejo porque no puede ser observado en campo. Para el monitoreo se recomienda hacer una revisión frecuente del cultivo, prestando atención a los síntomas específicos causados por *Aculops*. Las plantas con síntomas típicos pueden revisarse con una lupa (o estereoscopio) para confirmar la presencia del ácaro. Una vez confirmado el ataque, se recomienda no transportar plantas afectadas (o partes vegetales, como hojas, tallos) de un lugar a otro dentro del invernadero. También, y dado que el ácaro fácilmente se transporta en la ropa, herramientas o calzado de operarios de cultivo, se recomienda primero trabajar en zonas sanas del cultivo y al final del día dirigirse hacia las zonas infestadas. Para el control del ácaro son muy eficientes las prácticas de fitosanidad, tales como la erradicación (eliminación, compostaje, quema) de plantas muy afectadas. En los focos de infestación, también se recomienda la aplicación de un acaricida compatible a base de fenbutatin óxido, repitiendo estas aplicaciones hasta dos veces con un máximo de cuatro días de intervalo. De preferencia, se limitan las aplicaciones de acaricidas a los focos de infestación, procurando llegar a los ta-

llos y hojas bajas de las plantas. También, se puede utilizar azufre para control del ácaro del bronceado. Sin embargo, el uso de este elemento causa daño a muchos insectos benéficos y solamente se puede aplicar en los focos. En Colombia, todavía no existen opciones para el control biológico de este ácaro (pero eventualmente en el futuro se tendrá disponible el ácaro *Amblyseius andersoni*).

Minador de la hoja

Liriomyza sp. (Diptera: Agromyzidae)

Agente causal y síntomas: por lo general, los minadores de la hoja son moscas muy pequeñas (1,5 a 2,3 mm) de color negro y amarillo, las cuales colocan sus huevos en la epidermis de las plantas. Los huevos son de 0,25 mm de longitud y 0.1 mm de ancho, insertados por la hembra dentro del tejido de la hoja. Las larvas que emergen de los huevos se alimentan del interior de las hojas o de tallos de brotes nuevos, y al cumplir su desarrollo salen de la hoja y forman pupas en el suelo. A 20 °C, el desarrollo inmaduro del minador de la hoja puede cumplirse en 25 días; cada hembra coloca de 40 hasta 400 huevos y vive aproximadamente 10 días. Las larvas de la mosca minadora de las hojas originan galerías o minas en la hoja, que pueden causar un daño estético del cultivo o pueden llevar a que esas hojas se sequen o se caigan prematuramente. En caso de infestaciones severas, pueden ocurrir importantes pérdidas económicas. También, al alimentarse de las células de la epidermis, los adultos producen unos puntos necróticos finos en las hojas. Aunque este último daño es menos importante (que aquel causado por larvas), igualmente puede reducir la capacidad fotosintética de la planta y tener repercusiones en los niveles de producción de tomate. Además, pueden constituir puntos de fácil entrada para hongos o bacterias, los cuales eventualmente pueden causar un daño indirecto. La gravedad de los daños depende del estado de desarrollo de la planta al momento del ataque, siendo más grave cuando éste se produce en plantas jóvenes. Se estima que, en plantas bien desarrolladas, cinco galerías por hoja no deben causar daño económico.

Monitoreo/control: en general, la mosca minadora de hojas no causa graves problemas en cultivos bajo invernadero, y comúnmente los brotes de esa plaga se relacionan

con el alto uso de plaguicidas dentro del invernadero (lo cual interfiere con sus controladores biológicos). Cualquier tipo de manejo de *Liriomyza* debe ser anticipado por un monitoreo frecuente y estandarizado del cultivo –lo que puede hacerse visualmente o mediante trampas amarillas–. Existe una gama de prácticas preventivas que incluyen: la ubicación de mallas insectiles en las entradas del invernadero, la eliminación de malezas y restos de cultivo, la supresión de hojas bajas de las plantas.

En infestaciones severas, se puede considerar ciertas estrategias (de tipo químico y cultural) que eliminan las pupas de la mosca minadora que se encuentran en el suelo. Una estrategia muy promisoría para el control de pupas en el suelo es la aplicación de nematodos (*Steinernema carpocapsae*), aunque esto aún no ha sido validado en Colombia. También, el uso de trampas amarillas adhesivas (iguales a las utilizadas contra mosca blanca) puede servir como estrategia de control, además de servir para detectar las primeras infestaciones dentro del cultivo y así facilitar la planeación de intervenciones de control.

Otra estrategia de prevención es el uso de material vegetal sano al iniciar el cultivo. A nivel mundial, se han validado prácticas de control biológico con liberaciones de *Diglyphus isaea* o *Diglyphus begini*, avispas diminutas que atacan directamente las larvas del minador. Esas avispietas están comercialmente disponibles en Colombia y son utilizadas comúnmente en la floricultura de la Sabana de Bogotá. En general, como las larvas de *Liriomyza* se encuentran en el interior de las hojas o tallos, el control químico de esta plaga es difícil. Sin embargo, aplicaciones con abamectina, ciromazina o pirazofos pueden resultar eficientes.

Trips

Frankliniella occidentalis, *Trips palmi* (Thysanoptera: Thripidae)

Agente causal y síntomas: los trips son pequeños insectos (tamaño 1-1,5 mm), considerados como plagas muy importantes de múltiples cultivos a nivel mundial. Por ejemplo, *Frankliniella* es una plaga importante en cultivos de tomate, pimentón, ciertas verduras de hoja, rosa, crisantemo y otras plantas de la familia Cucurbitaceae (pepino, melón).

Trips palmi recientemente se estableció en Colombia y tiende a ocurrir en zonas de clima medio y cálido. Los adultos pueden ser blancos, amarillos, anaranjados o de color café, de forma alargada, con 4 alas pequeñas. Existen 4 instares en el estado inmaduro, de los cuales sólo 2 son móviles y succionan la savia de la planta, los otros 2, llamados pupas, son inmóviles. Las pupas generalmente se encuentran en el suelo debajo de la planta, donde gradualmente se transforman en adultos. Dependiendo de la temperatura, los adultos de trips pueden vivir hasta 71 días y colocar de 24 hasta 96 huevos. La succión de la savia por parte de adultos y larvas deja cicatrices pequeñas en las hojas, lo que produce una apariencia de color gris/plateada. Si las poblaciones son altas, las hojas se secan parcial o completamente. También, la presencia de trips en botones florales o ápices puede interferir con su posterior desarrollo. Aparte del daño directo, *Frankliniella* puede transmitir el virus del bronceado del tomate (TSWV), muy dañinos en cultivos de tomate al aire libre (causando pérdidas hasta del 90%). En tomate, el TSWV puede distinguirse por el amarillamiento de las hojas y tallos jóvenes –lo cual en últimas puede desarrollar en necrosis–. Los frutos afectados se tipifican por decoloración en áreas irregulares o concéntricas.

Monitoreo/control: el primer paso para evitar problemas con trips es prevenir la llegada de esa plaga en el invernadero. Lo más importante es iniciar cada ciclo de cultivo con plantas sanas y evitar el movimiento de personas de zonas infestadas hacia zonas limpias. Las prácticas generales de fitosanidad así como la eliminación de malezas hospederas de trips son buenas estrategias de prevención. Como *Trips palmi* todavía no se ha diseminado por todo el país, debe evitarse el uso de material vegetal proveniente de zonas infestadas para iniciar nuevos ciclos de cultivo. El monitoreo de trips se facilita con el uso de trampas azules con pegante –similares a las amarillas utilizadas para mosca blanca–. Las trampas se colocan a una densidad de una por cada 100 m² (o más alta, para detectar focos de infestación). Las trampas preferiblemente se revisan semanalmente. Los niveles de tolerancia para infestaciones de trips dependen mucho de la presencia de TSWV en el cultivo. En el caso de que haya TSWV en el cultivo, se deben tomar medidas de control de trips lo más pronto posible para evitar transmisión de ese virus tan peligroso.

El control biológico de trips puede ser efectivo para mantener esta plaga en un nivel bajo de infestación. Aparte de

la gran diversidad de depredadores naturalmente presentes, se puede considerar la liberación del crisopa como *Chrysoperla externa* (con introducciones de 20.000 por Ha) con lo cual se han obtenido buenos resultados en habichuela. En cuanto al control químico, no existen insecticidas que controlen trips y que a la vez sean totalmente compatibles con los enemigos naturales. Un producto que puede tener cierta compatibilidad es el ingrediente activo spinosad.

Barrenador del tallo

Melanagromyza caucencis, Melanagromyza tomatae (Diptera: Agromyzidae)

Agente causal y síntomas: el barrenador de tallo es una mosca pequeña (2,8 a 3,5 mm) de color negro brillante y alas transparentes. Las hembras insertan los huevos en la epidermis del tallo. La larva hace galerías dentro de los pecíolos y tallos de la planta, alimentándose del parénquima en el centro de los tallos. Antes de formar pupa, la larva hace un orificio en el tallo hacia los entrenudos, por donde sale el adulto al emerger de la pupa. La fecundidad del barrenador de tallo es de 125 a 200 huevos por hembra, y la duración de su ciclo de vida es de 27 hasta 30 días. La infestación por barrenador de tallo se observa por un amarillamiento de las hojas, las cuales eventualmente se secan por completo. Cuando la plaga se presenta en los tallos, la planta muestra inicialmente síntomas de marchitamiento reversible, pero en infestaciones severas, la planta se puede marchitar por completo y morir. En variedades de tomate con tallos gruesos, las larvas se concentran en el centro del tallo, alimentándose sólo del parénquima, mientras en tallos delgados también se afecta el tejido vital del xilema. Eso hace que en variedades de tomate con tallo delgado, el umbral de daño es de una larva por tallo (o menos) mientras que en variedades con tallo grueso puede ser mayor a 10 larvas por tallo.

Monitoreo/control: antes de iniciar cualquier tipo de manejo del barrenador de tallo, es supremamente importante el desarrollo e implementación de un rígido esquema de monitoreo. El monitoreo se hace por inspección simple, determinando la incidencia de síntomas y presencia de larvas dentro de tallos en múltiples lugares del invernadero. Al sobrepasar el umbral económico –determina-

do por monitoreo frecuente—, se sugiere el uso de aplicaciones con insecticidas. Sin embargo, hay unas prácticas que podrían prevenir brotes de esa plaga. Aunque existe muy poca información acerca de enemigos naturales de *Melanagromyza*, se han reportado parasitoides que atacan las larvas de esa plaga (y que pueden ayudar a mantenerla bajo umbrales económicos).

Para estimular el control biológico, se sugiere una reducción en el uso de insecticidas de amplio espectro a lo largo del ciclo de cultivo. También se ha encontrado que los minadores del tallo tienen como huésped alternativo la maleza bleo (*Amaranthus* sp.). Aunque se puede eliminar esa maleza en los alrededores de los invernaderos (como fuente de inóculo), la presencia de niveles bajos de mosca minadora al mismo tiempo puede mantener poblaciones de enemigos naturales y así facilitar su gradual colonización del invernadero.

Capador del tomate

Melanagromyza socolena (Diptera: Agromyzidae)

Agente causal y síntomas: el capador del tomate es una mosca pequeña, de color negro o verde oscuro con aspecto metálico (foto 23). La mosca pone sus huevos en el cono estaminal de las flores y las larvas comen las anteras y el ovario, pasando por tres instares. Al cumplir su desarrollo, la larva forma pupa dentro de la flor, que muchas veces se cae, afectando así la producción de la planta. Como en el cultivo del tomate bajo invernadero se deben hacer podas de flores, la presencia de la plaga a bajos niveles de infestación no es problema. Sin embargo, se ha encontrado que frecuentemente los niveles de la plaga van subiendo paulatinamente durante el ciclo del cultivo, pueden afectar el 30 ó 50% de los botones florales (foto 24). La duración del desarrollo inmaduro del insecto es de 20 días a 23 °C y el adulto tiene una longevidad mayor a 10 días.

Monitoreo/control: cualquier tipo de manejo curativo del capador de tomate debe ser basado en un monitoreo frecuente de niveles de infestación de esa plaga en el cultivo. El monitoreo puede hacerse mediante una revisión semanal del porcentaje de flores infestadas (y/o abortadas) en varias partes del invernadero. El umbral de daño dependerá de la cantidad de flores que produce la variedad

cultivada de tomate. Para variedades que producen más de 10 flores por racimo (y donde comúnmente se mantienen 4 a 6 frutos por racimo para asegurar una producción de frutos grandes), el insecto nos hace una poda natural que no requiere intervención. Sin embargo, en variedades que sólo producen de 5 a 6 flores por racimo, el umbral de daño estaría en un 20% de flores afectadas. En general, una pérdida de flores por ataque del capador de tomate no necesariamente es grave, como generalmente hay compensación de la pérdida de botones, ya que los frutos que quedan van a ser más grandes.

Aunque por ahora no existen opciones disponibles para control biológico, se han observado varias especies de parasitoides atacando larvas del capador de tomate. Cabe destacar que las aplicaciones de insecticidas con amplio espectro conllevan al detrimento de los enemigos naturales, últimamente llevando a brotes de esa plaga. Para el control químico se recomiendan los mismos productos que se utilizan para el control del minador de hojas. Como las infestaciones del capador del tomate generalmente se concentran en focos, las aplicaciones de insecticidas deben dirigirse hacia éstos.

Las enfermedades del tomate y su control

Las enfermedades son otro de los principales limitantes en los cultivos de tomate bajo invernadero y pueden agruparse en enfermedades foliares, enfermedades que radicales y enfermedades del sistema vascular. Las enfermedades de tomate también se pueden agrupar por agente causal: las causadas por hongos, bacterias, nematodos y virus, los cuales pueden afectar hojas, sistema vascular y raíces.

Las enfermedades foliares causadas por hongos y bacterias se desarrollan generalmente con mayor facilidad en condiciones de alta humedad relativa, y aún más cuando hay agua libre en los tejidos de las plantas. El agua libre puede provenir de procesos de condensación, de los riegos, de fumigaciones, de lluvia que entra por las aperturas del invernadero, de goteras que se forman por plásticos rotos o mal instalados, de neblina que entra en el invernadero, etc. Las enfermedades de las raíces y del sistema vascular se deben a múltiples razones y pueden iniciarse en

varias etapas del ciclo productivo, con problemas graves cuando se inician desde semillero.

Existen varias estrategias para disminuir la alta humedad relativa o agua libre dentro de invernaderos. Igualmente, hay múltiples tácticas de manejo para enfermedades de raíces y del sistema vascular. Una primera opción para control de humedad es la ventilación del invernadero mediante la cual se busca obtener un equilibrio entre la temperatura óptima para el crecimiento de las plantas, y una humedad aceptable que no genere demasiados problemas fúngicos. También, hay que controlar toda fuente de humedad (goteras, lluvia, fumigaciones, charcos) que se pueda presentar en el cultivo.

En general, un sistema de riego por goteo es preferido sobre un riego por aspersión o nebulización. Así mismo, el uso de acolchado plástico en el suelo reduce la transpiración, por tanto la humedad del aire. Para bajar la humedad o eliminar agua libre en las plantas, se debe abrir las cortinas del invernadero –eventualmente de manera intermitente o abrirlas parcialmente para mantener una temperatura favorable dentro del invernadero–. Es recomendable ventilar después de un riego o una fumigación para que las plantas se sequen rápidamente y regar por la mañana, ya que el cultivo se seca más fácilmente. Por último, altas densidades de siembra aumentan la humedad dentro del cultivo y, por tanto, es importante buscar una densidad de siembra adecuada y una forma de podar para mejorar la ventilación dentro del cultivo.

En nuestra descripción de las principales enfermedades del cultivo de tomate bajo invernadero, iniciamos con una descripción de enfermedades causadas por hongos fitopatógenos, entre los cuales la gota, el moho gris y el mildew polvoso son los más importantes.

Enfermedades por hongos

Gota o tizón tardío

Phytophthora infestans (Orden: Peronosporales)

Agente causal y síntomas: la gota es una enfermedad altamente destructiva de tomate en zonas de clima medio y frío. Es causada por *Phytophthora infestans*, un

hongo oomiceto perteneciente al Reino Hongo, orden Peronosporales, el cual produce zoosporas móviles. Ataca todos los órganos de la planta, incluyendo hojas, pecíolos, frutos y tallos (foto 25). Los niveles de infestación por *Phytophthora* tienen una estrecha relación con la humedad y presencia de agua libre en el follaje, la cual es necesaria para que los esporangios de *Phytophthora* germinen. En presencia de películas de agua o en humedades relativas mayores del 91%, los esporangios pueden producir zoosporas flageladas en corto tiempo. En ambientes secos y bajo temperaturas menores de 30°C, se inhibe el crecimiento de la enfermedad. Las lesiones en las hojas aparecen primero como manchas indefinidas, las cuales crecen rápidamente tomando una coloración café que cubre grandes áreas de la hoja, y luego se forma un moho blanquecino que se forma alrededor de las lesiones marrones grandes. Las lesiones de frutos aparecen como manchas grasosas, oscuras y oliváceas, las cuales crecen hasta que el fruto entero es invadido. Las noches frías con días moderadamente cálidos y alta humedad favorecen el desarrollo de esta enfermedad, así mismo la presencia de agua libre sobre el follaje.

Control: el monitoreo de presencia y nivel de infestación de gota en el cultivo se hace mediante monitoreos semanales. Considerando la relación entre infestaciones de *Phytophthora* y altas humedades, es muy importante hacer un buen control de la humedad relativa dentro del invernadero. Por tanto, una buena estrategia es airear al máximo el invernadero –preferiblemente en horas de la mañana para hacer secar el rocío en el cultivo– con el fin de disminuir la humedad del ambiente. Otra estrategia es prevenir el establecimiento de cultivos hospederos de esta enfermedad alrededor de los cultivos de tomate, como el caso de la papa que es altamente susceptible a este infecciones de gota y tener en cuenta la eliminación de residuos de ese cultivo. Las prácticas generales de fitosanidad, como las podas sanitarias y su posterior eliminación, también pueden contribuir al manejo de la gota en el invernadero. Preferiblemente, las podas sanitarias se combinan con una aplicación de fungicidas curativos (repetido después de 3-5 días). Los fungicidas sistémicos generalmente dan excelentes resultados para el control de la gota en cultivos de tomate. También se han obtenido buenos resultados con aplicaciones de hidrolato de chipaca, un producto apto para uso en cultivos orgánicos.

Moho gris

Botrytis cinerea (Orden: Helotiales)

Agente causal y síntomas: el moho gris es una de las principales enfermedades en cultivos de tomate bajo invernadero. Es causada por *Botrytis cinerea*, un hongo perteneciente a los Deuteromycetes, de gran importancia en agricultura porque afecta una amplia variedad de plantas ornamentales y hortícolas cultivadas bajo invernadero y a campo abierto, causando daños en follaje y en poscosecha. Es altamente oportunista y pocas veces ataca el tejido en crecimiento activo o plantas sanas; aunque puede invadir y dañar muchas partes de la planta como flores, pedicelos, tallos, hojas botones, frutos, bulbos tubérculos y raíces, casi siempre se encuentra en los tejidos viejos y senescentes de las plantas (foto 26). Los factores que favorecen el desarrollo de *B. cinerea* son: alta humedad relativa, temperatura entre 15 a 22 °C, un mayor contenido de agua en los tejidos (plantas suculentas), un mayor contenido de carbohidratos, el alto contenido de etileno, mayor factor endógeno de la incidencia de la enfermedad, lo cual explica que ésta se incremente durante la senescencia de las plantas, y las deficiencias nutricionales, que al causar debilidad en las plantas, las hacen susceptibles a este patógeno.

El síntoma más característico de la enfermedad se manifiesta inicialmente por una decoloración y humedecimiento de los tejidos. En condiciones de alta humedad relativa, se desarrolla un moho de color gris de apariencia vellosa, compuesto de muchas esporas del hongo, por esto se ha denominado “etapa del moho gris”. Cuando una planta infectada envejece, o muere, puede formar esclerocios sobre algunos de sus tejidos. Los principales síntomas que ocasiona *B. cinerea* son: manchas foliares, lesiones del tallo, flores y frutos, y en plántulas el dampig-off (ahogamiento de plántulas) que ocurre principalmente en lugares fríos, donde la humedad es alta, pero aparece también cuando las semillas o el suelo están contaminadas con esclerocios del hongo. En tomate se presenta la llamada mancha espectral o mancha fantasma, que aparece sobre frutos verdes en forma de halos o círculos blancos de aproximadamente 0,5 cm de diámetro, la cual se produce durante noches húmedas, seguidas de días con alta intensidad luminosa. La presencia de alto número de

mancha fantasma afecta el valor comercial del fruto. El hongo se disemina con la lluvia y el viento.

Control: se debe hacer monitoreos preventivos para detectar la presencia de síntomas iniciales por *Botrytis* y establecer focos en el cultivo. La principal práctica de prevención es el control de la humedad y el agua libre dentro del invernadero, y una adopción de prácticas culturales, tales como mantener los cultivos limpios, eliminando residuos vegetales. También, se recomienda la poda de chupones a tiempo para evitar heridas grandes por donde puede entrar el hongo, así como la eliminación de tejidos enfermos siempre y cuando las podas se hagan por la mañana, para que las heridas se sequen durante el día; se debe evitar que restos de pecíolo queden en el tallo. Por último, se recomienda encalar los suelos ácidos para incrementar el contenido de calcio en las plantas y reducir la susceptibilidad al patógeno. Las podas sanitarias eventualmente pueden complementarse con fumigaciones para evitar la posterior infección de heridas. Cuando los tallos están afectados, se recomienda cortar y raspar la zona afectada del tallo y posteriormente aplicarle una pasta con fungicidas como: iprodione y tiram, con el fin de proteger la herida.

Mildeo polvoso

Oidium neolycopersici o *Erysiphe polygoni* (Orden: Erysiphales)

Agente causal y síntomas: el mildew polvoso es una enfermedad que afecta varios cultivos agrícolas y es relativamente importante en cultivos de tomate bajo invernadero en Colombia. Aunque es muy común y virulenta en climas cálidos y secos, se encuentra también en zonas húmedas y moderadamente frías. Por lo general, el desarrollo de este hongo es favorecido cuando la humedad relativa está entre 50 y 70% y la temperatura entre 20 y 25 °C. El mildew polvoso es una de las enfermedades más comunes y fáciles de reconocer ya que se manifiesta como manchas de aspecto polvoso y de color blanco sobre las hojas. Afecta a todos los tipos de plantas incluyendo todas las solanáceas (foto 27). Este hongo es un parásito obligado y sólo se desarrolla sobre la superficie de hojas vivas. La enfermedad se caracteriza por la formación de manchas constituidas por masas de hifas de color blanco, que producen conidióforos cortos sobre la superficie de las hojas; cada conidióforo produce cadenas de conidios

ovoides, que hacen ver las manchas de aspecto polvoso y que se diseminan fácilmente por el viento y la lluvia. Cuando las condiciones ambientales o nutricionales no son favorables, el hongo puede llegar a producir cleistotecios que contienen una o pocas ascas con ascosporas sexuales.

Esta enfermedad es común, aun en climas cálidos y secos, debido a que las conidias pueden germinar y causar infección sin la presencia de películas de agua en la superficie de la planta, caso contrario a los mildes vellosos que requieren de una alta humedad en las plantas para causar infección. Este patógeno utiliza los nutrientes de la planta y reduce la fotosíntesis, aumentando la respiración y la transpiración, reduciendo así los rendimientos hasta un 40%.

Control: para el control de mildew polvoso en tomate es recomendable hacer monitoreos semanales por todo el cultivo; así mismo, las prácticas de sanidad, como la desinfección del invernadero al inicio de nuevos ciclos de cultivo, han sido eficientes para prevenir infecciones de ese hongo. Las medidas de control incluyen: la poda de hojas afectadas, teniendo en cuenta de no dispersar la enfermedad, se recomienda colocar dichas hojas afectadas en bolsas, que luego se llevarán fuera del cultivo. Después de estas podas fitosanitarias se debe aplicar un fungicida a las plantas afectadas y aleañas, y repetir esta fumigación dos veces con un intervalo no mayor a cuatro días. El control de mildew polvoso se ha logrado con la aspersión de fungicidas sistémicos, aunque el hongo ha adquirido resistencia a algunos de estos productos. Así mismo, la mayoría de fungicidas que controlan el mildew polvoso reducen el crecimiento del tomate, razón por la cual el control eficaz de los focos es aún más importante. Experimentalmente el control de mildew polvoso se ha logrado con la aspersión del hongo biocontrolador *Ampelomyces quisqualis* y aunque este control es promisorio, aún no se ha desarrollado suficientemente para ser usado en el manejo de esta enfermedad en tomate. El uso de compuestos activadores también ha demostrado un control eficiente sobre esta enfermedad.

Marchitez fusariana

Fusarium oxysporum (Orden: Deuteromycetes)

Agente causal y síntomas: la marchitez fusariana es una enfermedad distribuida en todo el mundo, causando gran-

des pérdidas en el cultivo de tomate. Este hongo es favorecido por temperaturas cálidas (20 °C) asociadas a una alta humedad relativa. El hongo penetra en la planta a nivel del suelo, ya sea por el tallo o raíces superficiales, y luego por los haces vasculares se traslada a toda la planta. Existen tres razas del hongo numeradas del uno al tres, esto obedece al orden cronológico en que fueron descubiertas. El manejo de esta enfermedad se basa en la siembra de variedades resistentes.

El hongo se desplaza dentro de la planta por el sistema vascular de tallos y raíces, afectando, el movimiento de agua, nutrientes y asimilados dentro de la planta. El hongo se conserva en numerosos sustratos, en el suelo y en restos vegetales. La diseminación de *Fusarium* se facilita por el agua (de riego), el viento y las corrientes de aire. La enfermedad puede ser más importante cuando las raíces han sido expuestas a excesos de agua o a temperaturas demasiado bajas. El hongo puede sobrevivir varios años en el suelo, aun cuando se deja de cultivar el tomate u otra planta susceptible, y además tiene la capacidad de infectar rápidamente nuevos cultivos.

El hongo tiene 2 formas especiales que afectan distintas partes de la planta: *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici* afecta principalmente el tallo y causa un amarillamiento a lo largo de los márgenes de las hojas más viejas, seguido por una necrosis que afecta también el crecimiento y desarrollo de los frutos. Los síntomas inician en las hojas viejas y paulatinamente progresan hacia las hojas más jóvenes, causando la marchitez de la planta (foto 28). Al cortar transversalmente el tallo de una planta afectada, se observa la formación de un anillo de color pardo y una decoloración del xilema. *F. oxysporum* f.sp. *radicis* se conoce como la podredumbre de raíces y base del tallo; afecta principalmente el sistema radicular y se puede diferenciar de *F. oxysporum* f.sp. *lycopersici* porque sólo progresa hasta 25 cm por encima de la base del tallo y al cortar la raíz se observa una lesión de color marrón por el sistema vascular con una pudrición seca parda de la corteza y el xilema. Es característico observar externamente las lesiones necróticas de raíces y base del tallo de la planta afectada. Como el hongo afecta la raíz, la infección además se manifiesta en una marchitez de la planta.

Control: aunque las infecciones de *Fusarium* se caracterizan por el amarillamiento y marchitez general de la plan-

ta, es importante confirmar la presencia de este patógeno mediante cortes del tallo o raíz y un diagnóstico en laboratorio. Adoptando esa estrategia, se puede hacer un monitoreo frecuente por todo el invernadero, para así detectar los primeros focos de infección de ese hongo. Se puede prevenir infecciones de *Fusarium*, usando sustratos de siembra desinfectados. También, vale destacar que la desinfección de estructuras dentro del invernadero es igualmente importante. Una buena manera de prevenir esta enfermedad es haciendo rotación de cultivos y utilizando variedades resistentes a *Fusarium*, aunque son pocas. Otra forma es injertar tomate en raíces de plantas resistentes (sea de tomate o berenjena), lo que ha demostrado amplio potencial en el control de esa enfermedad. Sin embargo, hay muy poca experiencia en Colombia con ésta práctica.

La eliminación completa de plantas enfermas puede ayudar a controlar el hongo en el cultivo. Una vez infestadas las plantas con *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, se puede prolongar la vida y por ende la producción de la planta mediante el aporque para promover la formación de nuevas raíces. La infección por *Fusarium* puede controlarse con aplicación preventiva de fungicidas o por medio de control biológico, mediante aplicaciones preventivas de hongos antagonistas como *Trichoderma harzianum*, haciendo aplicaciones cada 15 días, desde el inicio del cultivo, o desde semillero.

Tizón temprano y pudrición del cuello

Alternaria solani*, *Alternaria alternata* f. sp. *lycopersici (Orden: Deuteromycetes)

Agente causal y síntomas: el tizón temprano y pudrición del cuello son causados por dos especies diferentes de *Alternaria*: *A. solani* y *A. alternata* f. sp. *lycopersici*, respectivamente. Estos hongos se conservan en el suelo en restos vegetales y se diseminan con el viento y la lluvia. La humedad relativa alta y temperaturas entre 18 y 25 °C benefician su desarrollo. Así mismo, los períodos húmedos cortos, interrumpidos por otros secos, favorecen más la esporulación que los períodos húmedos largos. Generalmente, las plantas con muchos frutos son las más susceptibles. El tizón temprano se caracteriza por la formación de pequeñas lesiones en las hojas más viejas de color negro o café, con una coloración amarilla alrededor de la mancha, que cre-

cen rápidamente formando anillos concéntricos (foto 29). En los tallos se forman anillos concéntricos que pueden alcanzar un tamaño considerable produciendo la caída de los frutos, y si esta lesión avanza puede ocasionar la muerte de la planta. El cáncer del tallo (o pudrición del cuello) se caracteriza por la presencia de anillos concéntricos de color café oscuro o negro, localizados en la parte baja del tallo cerca al suelo. La lesión aumenta de tamaño lentamente hasta que la planta muere. También puede desarrollarse necrosis en las zonas entre las nervaduras de los folíolos, hasta el punto de secarlas.

Control: los síntomas causados por *Alternaria* (anillos concéntricos en hojas, tallos o frutos) son relativamente fáciles de identificar y por tanto es posible detectar los primeros focos mediante monitoreos periódicos en el cultivo. Existen también varias estrategias de control de estas enfermedades como el buen manejo de la humedad relativa dentro del invernadero y algunas prácticas culturales como podas sanitarias, y eliminación y destrucción de material vegetal infectado. Así mismo, es importante realizar una fertilización adecuada del cultivo, ya que los excesos de nitrógeno favorecen la incidencia de estos patógenos. La siembra de variedades resistentes o tolerantes puede evitar problemas graves con *Alternaria*. Por último, una vez se presenta la enfermedad, se debe eliminar en lo posible las partes más afectadas de las plantas para bajar inóculo y luego hacer una aplicación de fungicidas.

Moho foliar o cladosporiosis

Cladosporium fulvum (Orden: Deutero-mycetes)

Agente causal y síntomas: el moho foliar es una enfermedad importante de tomate bajo invernadero, que generalmente afecta el follaje inicialmente hojas viejas y en infecciones severas también hojas jóvenes. Los síntomas iniciales son manchas con márgenes no definidas de color verde pálido o amarillas en la parte superior de las hojas. En el envés se forma un polvillo color verde oliva, asociado con las áreas decoloradas en el haz (foto 30). Las hojas se curvan, marchitan y pueden caerse de la planta. El desarrollo del hongo depende de la alta humedad relativa (> 85%) y una temperatura óptima entre 20 y 24 °C (pero puede ocurrir entre 4 y 32 °C). El *Cladosporium* sobrevive en los

residuos de cosecha, en el suelo y sobre las estructuras de la cubierta. La enfermedad fácilmente se disemina con las herramientas y ropa de los trabajadores. Igualmente, la semilla contaminada puede servir como fuente primaria del inóculo.

Control: existen diferentes estrategias para prevenir problemas con moho foliar dentro del invernadero, entre ellas, un buen manejo de la humedad relativa, la siembra de semilla certificada y la adopción de prácticas de eliminación de hojas afectadas. Después de estas podas sanitarias, se recomienda la aplicación de fungicidas.

Moho blanco

Sclerotinia sclerotiorum (Orden: Helotiales)

Agente causal y síntomas: *S. sclerotiorum* pertenece a los Ascomycetes y es agente causal del moho blanco en tomate y en una amplia variedad de plantas ornamentales y hortícolas. Las enfermedades causadas por *Sclerotinia* son de amplia incidencia en todo el mundo y afectan plántulas, plantas en desarrollo y productos cosechados.

Los síntomas del moho blanco inician con la aparición de manchas húmedas sobre hojas y tallos, donde se forma un micelio blanco y algodonoso, paralelo a la pérdida de turbidez de los tejidos afectados (foto 31). En la fase avanzada de la enfermedad el hongo forma esclerocios de color negro sobre tejidos enfermos. La fase sexual se caracteriza por la formación de apotecios, donde se originan esporas sexuales que se dispersan por la lluvia o el viento, facilitando la infección en partes aéreas de las plantas. Su incidencia es mayor en cultivos de tomate, con suelos húmedos, lo que facilita la germinación de los esclerocios presentes en el suelo. Así mismo, la presencia de residuos de plantas infectadas dejadas en el mismo terreno de cultivo y la incorporación de estos residuos en suelo, para las próximas siembras, ya que estos hongos son capaces de infectar a un amplio número especies vegetales. Cuando se presenta la enfermedad, es necesario erradicar y desinfectar los focos, así como eliminar los residuos contaminados con el patógeno.

Control: el control de *Sclerotinia* depende de medidas culturales y de la aplicación de fungicidas. En invernadero, la esterilización del suelo por medio de solarización puede ayudar a eliminar este patógeno. Además, es importante un buen manejo del drenaje y la eliminación de malezas. Si la incidencia de esta enfermedad es alta, se recomienda en lo posible hacer rotación de cultivos con plantas no susceptibles a este patógeno, y usar semillas certificadas y variedades con resistencia genética.

En varios cultivos se ha logrado un control eficiente del hongo con fungicidas de contacto o sistémicos como: Benomil, Dicloram o Metil tiofanato. Sin embargo, hay que tener en cuenta que si hay esclerocios en el suelo, éstos pueden ser resistentes a fungicidas. Actualmente se hace control biológico de *Sclerotinia* mediante la aplicación preventiva de hongos antagonistas al suelo, como *Trichoderma*, que ayuda a impedir la formación de esclerocios, bajando inóculo en el suelo y disminuyendo la incidencia de la enfermedad. Se han reportado otros micoparásitos como: *Gliocladium roseum*, *G. Virens*, *Coniothyrium minitans* que destruyen los esclerocios existentes en el suelo o que inhiben la formación de nuevos esclerocios, pero su uso actualmente no se ha desarrollado.

La roña de las raíces

Spongospora subterranea (Orden: Plasmodiophorales)

Agente causal y síntomas: *S. subterranea* es un Plasmodiophoromycete, perteneciente al reino Hongo. Este hongo produce zoosporangios o esporas de reposo, estructura reproductora que germina, produciendo zoosporas que penetran en los pelos radicales del hospedante y forman un plasmodio. Estos hongos se encuentran ampliamente distribuidos en suelos cultivados, donde hibernan como esporas de reposo. Las zonas infectadas por el plasmodio no sólo utilizan la mayor parte de alimento requerido para el desarrollo normal de la planta, sino que también interfieren con la absorción y la translocación del agua y los nutrientes, lo cual da como resultado la atrofia y el marchitamiento gradual de los órganos aéreos de la planta.

Los síntomas más característicos de la enfermedad aparecen sobre las raíces y se caracterizan por la aparición de

pequeños o grandes hinchamientos en forma de huso, esféricos o en forma de masa en las raíces y raicillas; las malformaciones pueden cubrir parte de las raíces o bien pueden cubrir todo el sistema radical de la planta. Las plantas que han sido infectadas presentan hojas amarillentas o de color verde pálido que se debilitan y marchitan a mediodía en días soleados y se recuperan en la noche. La enfermedad puede destruir las plantas jóvenes en poco tiempo después de haberse producido la infección, mientras que las plantas maduras sobreviven pero no producen cosechas comerciales. Las raíces más viejas que han sido infectadas se desintegran debido a la invasión de otros microorganismos del suelo.

Los factores que favorecen el desarrollo de *Spongospora* son: pH inferior a 7 (suelos ácidos); temperaturas entre 10 a 30 °C. Cuando las condiciones de humedad y temperatura son favorables, las esporas latentes en el suelo producen zoosporas que infectan los pelos radicales y producen un plasmodio.

Control: el control de este patógeno es difícil y depende en su mayor parte de que se prevenga la contaminación de suelos libres de patógenos. Así mismo, cuando se presenta la enfermedad se debe erradicar las plantas y residuos de raíces infectadas con la enfermedad. Este hongo se debe manejar preventivamente mediante el uso de material vegetal sano, rotación de cultivos con plantas no susceptibles, ajuste del pH del suelo, enclavamiento en suelos ácidos y desinfección del suelo en semilleros.

La roya del tomate

Puccinia pitteriana (Orden: Uredinales)

Agente causal y síntomas: *Puccinia pitteriana*, hongo perteneciente a los *Basidiomycetes*, orden Uredinales, es el agente causal de la roya del tomate y de la papa, y hasta el momento sólo se encuentra reportado en los Andes colombianos. Aunque no es una enfermedad de importancia en tomate en Colombia, cuando se presenta y no se controla a tiempo, puede ocasionar grandes pérdidas. El hongo ataca principalmente hojas y tallos, y comienza con la aparición de pústulas de color amarillo-anaranjado, que finalmente rompen la epidermis (foto 32). La mayoría de royas son parásitos obligados, especializados y ata-

can sólo ciertos géneros de ciertas variedades de plantas y producen diferentes tipos de esporas. La roya del tomate se caracteriza por ser microcíclica o de ciclo corto porque presenta sólo dos tipos de esporas: basidiosporas y teliosporas. Por su parte, otros tipos de royas como las de las gramíneas son macrocíclicas porque presentan ciclos más complejos, con cinco estados diferentes, de los cuales algunos infectan un hospedero mientras que otros pueden parasitar diferentes hospederos alternos. La reproducción sexual rara vez ocurre. Las basidiosporas pueden atacar plantas hospederas y es el estado más infectivo, mientras que las teliosporas sirven como reservorio del estado sexual, que se desarrolla generalmente cuando las condiciones son adversas. La roya se transporta de planta a planta, por medio de esporas que van por la lluvia y el viento, por insectos y por el ser humano.

Control: el control de la roya en algunos cultivos se lleva a cabo mediante el uso de variedades resistentes, la eliminación de malezas que pueden actuar como hospederos alternos. La roya, además, puede ser controlada en los estados iniciales de la enfermedad, con la poda de hojas afectadas y con el uso de fungicidas sistémicos como triadimefon, triarimol y fenapanil.

Pudrición de corona

Rhizoctonia solani (Orden: Basidiomycetes)

Agente causal y síntomas: *R. solani* es un hongo cosmopolita que se encuentra en todas las regiones del mundo, causando pérdidas en la mayoría de plantas anuales y afecta a casi todas las hortalizas. Inicialmente, el hongo forma un micelio estéril que en ciertas condiciones forma pequeños esclerocios, estructuras de resistencia que permanecen en el suelo. En su estado perfecto, el hongo es un Basidiomycete y es denominado *Thanatephorus cucumeris*, en el cual el hongo forma basidias que pueden germinar e infectar al hospedante. La enfermedad es más severa en suelos moderadamente húmedos, con temperaturas entre 15 y 18 °C y cuando hay una alta densidad de siembra y presencia de residuos contaminados. Los síntomas causados en tomate por *Rhizoctonia* son lesiones de color café o negro en el cuello de la planta o en las raíces. Cuando afecta plántulas en semillero, causa la muerte damping-off.

Control: el control preventivo de este patógeno se puede lograr mediante el uso de semillas certificadas o tratadas, cultivando en terrenos donde no haya habido incidencia de este patógeno o con la desinfección del suelo con vapor o compuestos químicos o, cuando sea posible, por medio de solarización. Una vez se presenta la enfermedad, si los síntomas son iniciales, el hongo se puede controlar con un fungicida en drench; de todas formas deben eliminarse residuos de plantas afectadas y hacer un buen manejo del drenaje y del riego. Actualmente, se utiliza el hongo *Trichoderma* como controlador biológico, aplicado en forma preventiva en sustratos de semillero, para disminuir la incidencia de la enfermedad.

“Damping-off” o muerte súbita

Agente causal y síntomas: es una enfermedad de los semilleros causada por diferentes agentes causales como *Pythium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea*, *Fusarium solani*, *Sclerotium sp.*, *Sclerotinia* y algunas bacterias, entre otros. El síntoma típico de damping-off en plántulas es la pudrición de la base del tallo, lo que provoca la caída y muerte de las mismas. Así mismo, cuando las semillas se siembran en suelos infectados con alguno de estos patógenos, éstas no alcanzan a germinar al ser invadidas por éstos, los cuales causan necrosis, pudrición y finalmente la desintegración de la semilla (foto 33).

Control: el control de damping-off se logra con el uso de semillas tratadas con fungicidas, o con el uso de hongos antagonistas como *Trichoderma*, con un adecuado manejo del drenaje, ya que estos patógenos son favorecidos por una alta humedad. También se recomienda el uso de sustratos limpios y libres de patógenos.

Pudrición de tallo

Sclerotium rolfsii (Orden: Helotiales)

Agente causal y síntomas: esta enfermedad causada por *Sclerotium rolfsii*, hongo presente principalmente en climas cálidos, causa la pudrición en la base del tallo. Generalmente el hongo penetra por heridas. Una vez comienza a invadir los tejidos internos del tallo y va avanzando la infección, la planta comienza a mostrar síntomas de amarillamiento en hojas bajas. El hongo forma peque-

ños esclerocios de color negro que le permiten mantenerse por mucho tiempo en el suelo, por esto es importante controlar la enfermedad en estados iniciales, ya que una vez se forman los esclerocios es más difícil su control, ya que son estructuras de resistencia. Su manejo y control es similar al de *Sclerotinia*.

Manchas foliares

Stemphylium botryosum y *S. herbarum* (Orden: Deuteromycetes)

Agente causal y síntomas: *Stemphylium* es un hongo Dematiáceo, causante de manchas foliares en tomate, aunque en ocasiones se presenta como patógeno secundario afectando tejidos susceptibles o senescentes. Se presenta ocasionalmente en cultivos bajo invernadero y en cultivos a campo abierto, en áreas con condiciones de alta humedad. Los síntomas son similares a los causados por *Alternaria*, aunque las manchas son más pequeñas y se presentan principalmente sobre las hojas (foto 34).

El manejo de *Stemphylium* se basa en un buen manejo de la humedad relativa dentro del invernadero, en podas sanitarias, y en la eliminación y destrucción de material vegetal infectado. Una vez se presenta, el control químico se puede hacer con los mismos productos utilizados para el control de *Alternaria*.

Verticiliosis

Verticillium albo atrum y *V. dahliae* (Orden: Deuteromycetes)

Agente causal y síntomas: causada por las especies *Verticillium albo atrum* y *V. dahliae*. Es una enfermedad vascular que causa amarillamiento en hojas inferiores, marchitez vascular y, finalmente, como los demás patógenos vasculares, la muerte de las plantas. No es una enfermedad común en tomate, pero una vez se presenta deben erradicarse las plantas afectadas, aislar los focos para evitar que se disemine la enfermedad. Su control se basa en medidas preventivas y es similar al control de *F. oxysporum*.

Mancha foliar

Septoria lycopersici (Orden: Hlotiales)

Agente causal y síntomas: forma pequeñas manchas acuosas con un centro de color crema sobre las hojas. Igual que otros patógenos foliares su incidencia es mayor en condiciones de alta humedad relativa. El control de *Septoria* se basa en la poda de hojas y en la aplicación de fungicidas de contacto.

Enfermedades por bacterias

Marchitamiento bacterial

Ralstonia solanacearum (*Pseudomonas solanacearum*) (Fam: Pseudomonadaceae)

Agente causal y síntomas: el marchitamiento bacterial por *R. solanacearum* es común en las diferentes especies de solanáceas y está presente principalmente en los trópicos y en climas cálidos. Existen por lo menos 5 razas de este patógeno causando enfermedades en distintos hospederos. Una de estas razas ataca solanáceas y algunas musáceas, otra ataca sólo plantas de la familia del banano, una tercera afecta a la papa y el tabaco, y las otras 2 razas atacan plantas de menor importancia. La bacteria es común en suelos húmedos y livianos y es más activa a temperaturas de 25 °C. Por lo general, causa un rápido y completo marchitamiento de plantas de tomate.

Los síntomas iniciales son la flacidez en una o más hojas jóvenes y un gradual marchitamiento de la planta. En los estados iniciales de la enfermedad, los cortes del tallo muestran un amarillento u oscurecimiento del sistema vascular. Al cortar el tallo a la altura del suelo de una planta marchita, se presenta un exudado grisáceo cuando se presiona el tallo (foto 35). La pudrición, además, puede ocasionar un ahuecamiento del tallo y pueden aparecer raíces adventicias en los tallos de plantas afectadas. El marchitamiento bacterial puede distinguirse de enfermedades causadas por hongos mediante la suspensión en agua de una sección del tallo enfermo, donde una corriente de células bacteriales blanda, lechosa y viscosa fluye del tallo en un lapso de 3 a 5 minutos.

Esta bacteria hiberna en restos vegetales, en material de propagación como semillas o plántulas y en el suelo. La bacteria se propaga a través del agua del suelo, mediante herramientas de poda y, en algunos casos, por insectos. La bacteria penetra a la planta a través de heridas, daños mecánicos en raíces, causados por nematodos o por aberturas naturales y se moviliza hacia la parte superior del tallo a través de los vasos del xilema, causando necrosis vascular, marchitez y finalmente la muerte de la planta.

Control: el manejo de esta enfermedad es complejo, ya que una vez se establece en un suelo es difícil su erradicación, por tanto su control se basa en el uso de variedades resistentes, en el uso de semillas y material vegetal certificado y en la rotación de cultivos. También es importante la desinfección de herramientas en el momento de las podas, el manejo de insectos que puedan propagar la enfermedad y un buen manejo del drenaje.

Cáncer bacterial

Clavibacter michiganensis (Clase: Thallobacterias)

Agente causal y síntomas: aunque el cáncer bacterial es una enfermedad esporádica en cultivos de tomate bajo invernadero, puede ser devastadora. Los síntomas tempranos incluyen el doblamiento de las hojas más viejas y la necrosis marginal de los folíolos. Se forman estrías oscuras que se extienden desde la parte inferior de los pecíolos hasta el punto donde se unen con el tallo (y que eventualmente causan la formación de un cáncer). Los tejidos vasculares del tallo primero muestran rayas amarillentas o pardas, las cuales se tornan de color marrón rojizo y se pueden desarrollar raíces adventicias sobre el tallo. La enfermedad se desarrolla en condiciones de alta humedad (> 80%) y a temperaturas de 18 a 24 °C.

Control: la presencia de cáncer en los tejidos y las características estrías oscuras en las hojas ayudan a distinguir focos iniciales del cáncer bacterial para tomar las medidas necesarias de control. Existen múltiples estrategias para prevenir la infección como las medidas de higiene al visitar nuevos cultivos, la siembra de semillas certificadas, el control de calidad de agua para riego y la desinfección de herramientas de poda. Una vez infestado el cultivo, se recomienda la erradicación y/o quema de plantas infectadas, así como la adopción de podas sanitarias.

Mancha bacteriana

Xanthomonas campestris pv. *vesicatoria* (Fam: Pseudomonadaceae)

Agente causal y síntomas: esta enfermedad se encuentra ampliamente distribuida y afecta principalmente cultivos de tomate y pimentón. La bacteria invade hojas, tallos y frutos. Los síntomas se manifiestan con la aparición de manchas irregulares de color negro, de aproximadamente 3 mm. La mancha bacteriana observada sobre los folíolos se hunde y cambia de amarillo a negro o marrón oscuro y finalmente se produce necrosis en el centro, y con el tiempo se desarrolla un halo alrededor de las manchas (foto 36). La lesión en fruto comienza como una pequeña mancha acuosa amarillenta que más tarde se torna grisácea oscura y costrosa; esta lesión tiende a deprimirse en el centro y levantarse en el margen. Esta enfermedad se desarrolla en condiciones de alta humedad relativa y temperaturas entre 24 y 30 °C. La bacteria puede encontrarse en las semillas y se disemina a través de la lluvia, por el uso de maquinaria y herramientas.

Control: es muy importante tomar las suficientes medidas para evitar el establecimiento de la enfermedad en el cultivo, ya que su control es difícil. Algunas de las estrategias de prevención son: la rotación de cultivos, el uso de plantas sanas libres de la enfermedad, semillas tratadas y eliminación de malezas. Una vez establecida en el cultivo, la enfermedad se puede controlar con la aplicación de bactericidas.

Peca bacteriana

Pseudomonas syringae pv. *Tomato* (Fam: Pseudomonadaceae)

Agente causal y síntomas: esta enfermedad ha llegado a ser económicamente importante en cultivos de tomate, en todo el mundo, desde mediados de 1970. Las condiciones que favorecen la enfermedad son una alta humedad relativa, películas de agua sobre el follaje y una temperatura promedio de 20 °C. Las manchas causadas por *P. syringae* pv. *tomato* son más pequeñas que las causadas por *X. campestris* pv. *Vesicatoria*. Así mismo, la peca bacteriana usualmente tiene un halo más marcado y grandes

superficies de los folíolos pueden volverse cloróticas, comúnmente con agujeros en el centro de las lesiones, las cuales son más prominentes en la superficie inferior de las hojas. En tallos o pedúnculos son ovals o elongados (foto 37). Los síntomas en los frutos son puntos necróticos con desarrollo superficial y que tienden a ser protuberantes.

Control: el control de la peca bacteriana es similar al de la mancha bacteriana y se basa principalmente en una adecuada ventilación en invernaderos, buen manejo del riego y del drenaje, en la eliminación de desechos de plantas infectadas, así como el uso de material vegetal sano. Los estados iniciales de la enfermedad se pueden controlar con la aplicación de algunos bactericidas y productos a base de cobre.

Mancha necrótica del tallo

Pseudomonas corrugata (Fam: Pseudomonadaceae)

Agente causal y síntomas: esta enfermedad, aunque se presenta ocasionalmente en tomate, puede causar pérdidas importantes en los cultivos de tomate, ya que afecta en forma severa los tallos. Las condiciones que favorecen la enfermedad son alta humedad relativa y sobre el follaje, y temperaturas entre 22 y 25 °C. Las manchas causadas por *P. corrugata* son negras, de aspecto aceitoso, a lo largo de tallos y pecíolos; en estado avanzado, la bacteria puede causar la pérdida de hojas y frutos (foto 38).

Control: el control de *P. corrugata* es similar al de las demás bacterias y se basa en una adecuada ventilación en el cultivo, buen manejo del riego y del drenaje, la eliminación de desechos de plantas infectadas y el uso de material vegetal sano. En estados iniciales, la enfermedad puede controlarse con la aplicación de algunos bactericidas y productos a base de cobre.

Pudrición bacterial del tallo

Erwinia carotovora pv. *carotovora* (Fam: Enterobacteriaceae)

Agente causal y síntomas: la pudrición bacterial del tallo es causada por *Erwinia carotovora*. Se presenta en varios cultivos, incluyendo el de tomate bajo invernadero. Esta

bacteria es causante de pudriciones blandas en una amplia variedad de plantas hortícolas y ornamentales. La enfermedad se inicia con un marchitamiento de la planta en el momento en que los primeros frutos comienzan a ser cosechados. Las plantas afectadas presentan tallos ahuecados, que eventualmente se vuelven húmedos y viscosos. Los frutos con pequeñas heridas son los más propensos a la infección caracterizada por una pudrición acuosa y blanda, con un olor putrefacto, que cubre todo el fruto.

Al igual que los otros patógenos foliares, esta bacteria sobrevive en restos vegetales, en el suelo, y en herramientas y maquinaria contaminada. La bacteria se dispersa por el agua (en el riego), el viento, herramientas y por insectos. Ésta penetra a la planta a través de heridas, donde libera enzimas que degradan y maceran los tejidos de la planta; por esto, una vez infecta a la planta es difícil su control.

Control: los síntomas específicos son la pudrición del tallo y frutos. Los primeros focos de infección dentro del cultivo son, relativamente, fáciles de detectar. Debido a que su control es difícil, se deben tomar medidas preventivas como el uso de semilla sana o desinfectada y evitar altas humedades relativas. Como la enfermedad entra en la planta por heridas, es importante evitar cualquier tipo de daño mecánico en la planta, así como reducir la presencia de insectos que ayudan a dispersar la enfermedad.

Enfermedades por nematodos

Los nemátodos fitoparásitos son organismos microscópicos que abundan en todos los suelos del mundo. El cultivo del tomate es huésped de varios géneros de nematodos, siendo el de mayor importancia *Meloidogyne*, conocido como el nematodo de los nódulos radiculares debido a las deformaciones (nudosidades o agallas) causadas en las raíces de las plantas (foto 39). En cultivos de tomate de clima frío, se encuentra reportada la especie *M. hapla*, mientras que en climas más cálidos se reportan las especies *M. incognita* y *M. javanica*. Las larvas en estado juvenil (J2) penetran a las raíces, produciendo cambios en la estructura de las células de la planta, creando sitios de alimentación llamados "células gigantes", las cuales inducen la formación de agallas o nódulos. Dependiendo de la especie, el nematodo forma nódulos pequeños como el caso de *M. hapla*, mientras que la especie *M. javanica* forma agallas más

grandes. *M. incognita* forma pequeñas agallas en cadenas, como una especie de camándula.

Los síntomas aéreos ocasionados por nematodos no son muy específicos y fácilmente se confunden con deficiencias nutricionales o hídricas. La deformación de las raíces y su daño funcional se traduce en el atraso del crecimiento y marchitez general de la planta. Así mismo, los ataques de nematodos predisponen a las plantas a la infección por otras enfermedades, ya sea por las heridas que ocasionan o por que hacen más susceptibles las plantas, frente al ataque de otros patógenos.

Existen otros géneros de nematodos que afectan al tomate y aunque no son tan comunes pueden causar daños importantes en las plantas, como es el caso de *Pratylenchus*, un nematodo barrenador, endoparásito, que cumple su ciclo dentro de las raíces, causando lesiones severas en el área cortical de las mismas. Y el género *Helicotylenchus*, que en altas poblaciones causa lesiones en raíces. El diagnóstico de estos fitoparásitos es más difícil, debido a que las lesiones son muy pequeñas y no se aprecian a simple vista. Por lo general, cuando las plantas presentan síntomas aéreos (atraso, clorosis y marchitez), las poblaciones generalmente han alcanzado niveles de umbral de daño, por esto la importancia de hacer monitoreos preventivos.

El género *Trichodorus* afecta el ápice de las raíces causando raíces achatadas; además, se encuentra reportado como vector de virus en solanáceas, pero en Colombia no hay reportes al respecto.

Control: existen varias formas de control de nematodos, entre las cuales están las prácticas culturales como la rotación de cultivos, aunque en el caso de la especie *M. hapla*, especie de climas fríos, por ser polífaga, es de difícil control, aun por rotación de cultivos. El manejo de nematodos además depende de la densidad poblacional, la cual se debe establecer mediante monitoreos preventivos para su identificación y cuantificación en laboratorio. Cuando las poblaciones son bajas, se puede hacer control biológico con productos a base de extractos vegetales como el Sincosin, que al cambiar los radicales libres en raíces y generar más raíces, hace que la planta se defienda del ataque. Así mismo, en suelo hace que los nematodos pierdan su capacidad de movimiento, reproducción y penetración a la raíz.

Actualmente, para su control se utiliza el hongo *Paecilomyces lilacinus*, reportado como parásito de *Meloidogyne* y el cual tiene la capacidad de afectar huevos y hembras en desarrollo. Khan et al (2006) reportan que la aplicación de *P. lilacinus* reduce hasta en un 62% las agallas y en un 94% los juveniles J2 de *M. javanica* en tomate, cuando se compara con los testigos no tratados. Para tener éxito en el control con *Paecilomyces*, se requiere esperar que se cumpla cierto período de establecimiento, además se debe hacer una aplicación periódica para obtener un buen control del nematodo.

Otros hongos como *Dactylella* sp. y *Artrobotrys* sp. han sido reportados como controladores de este género de nematodos, pero su uso en la actualidad aún no se ha desarrollado.

El control químico de nemátodos es difícil y costoso; sin embargo, es la única solución cuando el suelo se encuentra altamente infestado.

Enfermedades por virus

En Colombia, se estima que existen varios tipos de virus que están afectando cultivos de tomate bajo invernadero, ocasionalmente causando altas pérdidas económicas. Sin embargo, los virus del tomate han recibido muy poca atención científica a nivel nacional. Además, los procesos de identificación de virus en Colombia todavía no están bien desarrollados. Como las estrategias de manejo de virus son muy específicas, es importante confirmar la identidad del virus presente en el cultivo. La severidad e incidencia varía según las relaciones existentes entre el virus y raza, la planta huésped (especie, variedad), el vector, la edad de la planta y el ambiente. Las condiciones de estrés predisponen a la planta para que se desarrolle o se intensifique la enfermedad. Bajo condiciones favorables, los virus pueden causar la muerte de las plantas, causando importantes impactos en la producción de tomate bajo invernadero.

Los síntomas de los virus son muy diversos. Incluso, los síntomas provocados por un mismo virus (o raza) pueden ser diferentes y cambiar según las condiciones, variedad, etc. También, los síntomas pueden confundirse con aquellos causados por enfermedades, plagas o desórdenes fisiológicos. Los síntomas de los virus se pueden producir en to-

dos los tejidos de la planta. En las hojas podemos observar mosaicos, –manchas o zonas de color verde claro/amari- llo–, manchas con círculos concéntricos, coloración morada, bronceado y necrosis. Otros síntomas en las hojas son la deformación –como la formación de folíolos puntiagu- dos–, la desaparición de la lámina foliar –sólo se forman las nervaduras–, el enrollamiento de las hojas, el acucharado –los bordes de los folíolos se curvan hacia arriba, formando una cuchara– y la reducción del tamaño de la hoja. En los tallos, los síntomas que se presentan son cambios de color –amarillamiento, plateado, bronceado color morado– y estrías y/o manchas necróticas. En las flores, los virus pue- den causar la necrosis o su caída. En los frutos pueden ob- servarse síntomas como mosaicos, reducción del tamaño, necrosis subepidérmica, manchas redondas, manchas con círculos concéntricos o deformaciones.

Una vez se presentan virus en un cultivo, no es fácil su con- trol ya que no existen productos que los controlen. Sin embargo, hay múltiples estrategias para evitar el estableci- miento de virus y su posterior transmisión o proliferación en cultivos de tomate bajo invernadero. Se recomiendan prácticas culturales como limpiar el invernadero de resi- duos de cultivo, erradicar malezas dentro y fuera del in- vernadero, y eliminar plantas infestadas. Además, deben limpiarse y desinfectarse herramientas y manos. También, es importante iniciar nuevos cultivos con plantas libres de virus y con el uso de material resistente.

Una importante manera de evitar problemas con virus es mediante el control de su transmisión. Para identificar el modo de transmisión es fundamental llegar a una identi- ficación acertada del virus. Si la transmisión es por insectos, hay que controlar las poblaciones de éstos. Si la trans- misión es mecánica, hay que evitar la manipulación de plantas sanas después de haber tocado plantas enfermas, y sumergir los implementos de trabajo en leche o en un desinfectante cuando se cambia de una planta a otra. Si la transmisión pasa al suelo, habrá que desinfectar el suelo con vapor. Si pasa a través de la semilla, solamente debe sembrarse semilla certificada o aplicar una desinfección a la semilla o aplicar un tratamiento de calor (70 °C durante 2 a 4 días). La rotación con cultivos no susceptibles tiene cierto potencial, aunque la mayoría de los virus de tomate también afecta otros cultivos de Solanáceas como el pi- mentón, la berenjena, el lulo y la uchuva. Por último, evitar

de fumar en un cultivo de tomate puede prevenir la transmisión de virus del mosaico de tabaco.

El virus del mosaico del tabaco (TMV) y el virus del mosaico del tomate (TOMV)

Estos dos virus están estrechamente relacionados y pertenecen al género de los *Tobamovirus*. Su genoma consta de una cadena simple de RNA y han sido ampliamente estudiados dada su importancia económica a nivel mundial. El virus del mosaico del tabaco afecta principalmente a tabaco y a la mayoría de Solanáceas. El virus del mosaico del tomate es específico de tomate y puede causar considerables daños en cultivos de tomate bajo invernadero. Los síntomas principales son la formación de un mosaico verde oscuro-claro o amarillento de las hojas superiores y a lo largo de las nervaduras secundarias. También pueden presentarse deformaciones, curvatura o acampanado de las hojas.

La transmisión de estos virus ocurre principalmente por semillas y de forma mecánica, por contacto de manos y por herramientas usadas en las podas. El virus del tabaco puede transmitirse manualmente por las manos del operador que fuma cigarrillos. Igualmente, estos virus mantenerse latentes en restos vegetales, suelo, en la ropa, en herramientas de labranza y en las infraestructuras de los invernaderos. Actualmente, la mayoría de las variedades de tomate son resistentes a estos virus y su presencia en los cultivos se ha reducido sustancialmente.

El virus del mosaico del pepino (cmv)

Este virus inicialmente fue detectado en plantas de pepino en Perú y actualmente se encuentra distribuido ampliamente a nivel mundial. Afecta una amplia variedad de hortalizas como pepino cohombro, tomate, melón, pimentón, espinaca y otros cultivos como cebada, banano y crucíferas. En general, las plantas infectadas se quedan pequeñas, en las hojas se puede presentar un moteado de color verde y amarillo hasta clorosis y necrosis. El síntoma más típico es el estrechamiento de los folíolos hasta la desaparición por completo de la lámina foliar, quedando solamente las nervaduras. El virus se transmite por medio de insectos vectores como áfidos, a través de herramientas contaminadas, las manos o ropa del agricultor y por contacto directo en-

tre plantas. Deben tomarse varias medidas de sanidad para prevenir la propagación del virus en el invernadero.

El virus del bronceado del tomate (TSWV)

El virus del bronceado del tomate (TSWV) es uno de los patógenos con mayor importancia mundial. Perteneciente al género *Tospovirus*, el único género de la familia *Bunyaviridae* que infecta a plantas. La gran magnitud de los daños que provoca es debida a su amplia distribución en las principales zonas hortícolas del área templada y subtropical. Afecta una gran cantidad de plantas (más de 550 especies pertenecientes a más de 70 familias botánicas). Entre las especies susceptibles al virus del bronceado, además del tomate, se encuentran otros cultivos de importancia como lechuga, pimiento, berenjenas, judías, alcachofas, habas, apio, papaya y plantas ornamentales, así mismo, algunas malezas pueden servir como hospederos del mismo.

En la Sabana de Bogotá este virus afecta principalmente cultivos de ornamentales y algunas hortalizas como el tomate. En éste, la infección inicialmente se presenta por un cambio de color de las hojas hacia el morado y por una reducción y deformación de los folíolos (foto 40). A medida que avanza la enfermedad, el follaje toma un color bronceado, con manchas cloróticas, formando además un moteado en las hojas. En los frutos maduros se presentan zonas redondas de color amarillo o manchas con círculos concéntricos. Los principales vectores de este virus son los trips y en particular la especie *Frankliniella occidentalis*, aunque también se reportan *Trips tabaci* y *T. Palmi*. Las prácticas dirigidas al control de estos insectos son muy eficientes en prevenir la presencia del virus en los cultivos. De igual manera, una eliminación meticulosa de malezas dentro y fuera del invernadero puede ayudar a reducir la incidencia este virus.

El virus de la cuchara del tomate (TYLCV)

TYLCV es un virus importante en cultivos de frijol y pimentón, y puede constituirse como un problema grave en cultivos de tomate bajo invernadero. Sus síntomas son el color intenso amarillo de la zona apical de la planta, reducción del crecimiento de la planta y la formación de hojas pequeñas en forma de cuchara. Una vez infectado el cultivo, puede diseminarse rápidamente causando pérdidas gran-

des. Es transmitido por *Bemisia tabaci*, por lo cual un manejo eficiente de la mosca blanca es crucial para evitar una diseminación rápida de ese virus en el cultivo. También se recomienda la pronta destrucción de cultivos una vez terminado su producción, la eliminación de malezas, principalmente aquellas que son hospederos de mosca blanca, así como el uso de material vegetal sano.

Manejo de patógenos vegetales en aguas de riego

Casi toda la diseminación de patógenos de plantas, aun enfermedades de poca importancia económica, es llevada a cabo de forma pasiva por el aire, los insectos y, en menor proporción, por el agua, los animales y el ser humano. Algunos patógenos como nematodos, hongos y bacterias pueden diseminarse a cortas distancias a un hospedero cercano (Agrios, 2005).

El agua actúa como diseminador de patógenos en varias formas: 1) las bacterias, nematodos y hongos presentes en el suelo son diseminados por la lluvia o aguas de irrigación que se mueven de una superficie a otra a través del suelo; 2) todas las bacterias y esporas de hongos producen exudados líquidos y dependen de la lluvia o la irrigación para su diseminación; 3) la lluvia o gotas de irrigación capturan esporas de hongos o bacterias del aire para ser trasladados a plantas susceptibles. En el transporte de patógenos a largas distancias, la diseminación por agua es más eficiente para patógenos de suelo (Agrios, 2005).

Una de las principales preocupaciones en cultivos de tomate bajo invernadero con respeto a enfermedades es la transmisión de patógenos por aguas de riego. Esa problemática es más grave en sistemas de producción cerrada, donde se recircula la solución nutritiva. Aunque el no uso de prácticas de recirculación de aguas y la exclusiva dependencia de aguas limpias pueden ser las opciones más fáciles, la actual crisis de disponibilidad de aguas inocuas, aptas para consumo humano, ha promovido la investigación a nivel internacional acerca del tema de reciclaje de aguas y las prácticas de desinfección y/o eliminación de ciertos patógenos vegetales en ellas. En Colombia, la producción de tomate bajo invernadero se encuentra basada principalmente en sistemas abiertos donde no existe recirculación de aguas, lo cual indudablemente disminuye

el riesgo de contaminación. Al mismo tiempo, la creciente conciencia de agricultores acerca de la contaminación de ciertos recursos naturales con sus actividades ha generado interés en esas prácticas.

En cultivos de tomate bajo invernadero, hay varios patógenos que son transmitidos por aguas de riego, por ejemplo: *Phytophthora* spp., causante de goma en solanáceas y *Pythium* spp., causante de pudrición de plántulas en semilleros. Otros hongos como *Fusarium oxysporum* y *Colletotrichum* igualmente pueden transmitirse por aguas, así mismo, bacterias como *Erwinia* spp., causante de la pudrición bacteriana del tallo, *Xanthomonas* spp., causante de la mancha bacteriana, *Corynebacterium* spp. y *Ralstonia solanacearum*, causantes del marchitamiento bacteriano, han sido encontrados en aguas de riego. También, se reportan varias especies de nematodos y por lo menos 10 virus diferentes en estas aguas, entre ellos el virus del mosaico de tomate.

Al notar un patrón específico de infección del cultivo, puede considerarse la presencia de ciertos patógenos transmitidos por aguas de riego, por ejemplo, cuando un alto número de plantas llegan a ser infectadas y exhiben sus síntomas al mismo tiempo, es muy probable que la enfermedad esté relacionada con patógenos de aguas de riego; también, si al inicio de la epidemia la distribución de plantas infectadas se nota altamente agregada y asociada con ciertas corrientes de agua de riego. Para determinar si una enfermedad está asociada con aguas de riego, se podría regar plantas sanas con aguas contaminadas y registrar el inicio de ciertos síntomas, o alternativamente enviar muestras del agua al laboratorio para análisis.

Se recomienda hacer pruebas de laboratorio antes de diseñar cualquier estrategia de manejo de la enfermedad, las cuales pueden hacerse dependiendo del patógeno con el agua de riego, ciertos filtros específicos o plantas indicadoras (plantas sanas establecidas en focos de la enfermedad). En general, durante la primera visita al laboratorio de diagnóstico, se recomendará el tipo de muestreo apropiado para cada patógeno. Al conocer el tipo de patógeno, y su nivel de presencia en el agua de riego, se puede avanzar hacia la definición de una estrategia adecuada de manejo. Esa estrategia dependerá de las siguientes condiciones: 1) calidad, pH, contenido mineral y turbidez del agua; 2) can-

tividad de agua a tratar; 3) susceptibilidad del agua a cambios; 4) nivel de población a que se debe reducir del patógeno; 5) susceptibilidad del cultivo; 6) prácticas culturales; 7) recursos económicos del agricultor y limitantes de tiempo. Dependiendo de esas condiciones, pueden considerarse varios tratamientos de manejo, para lo cual se sugie-

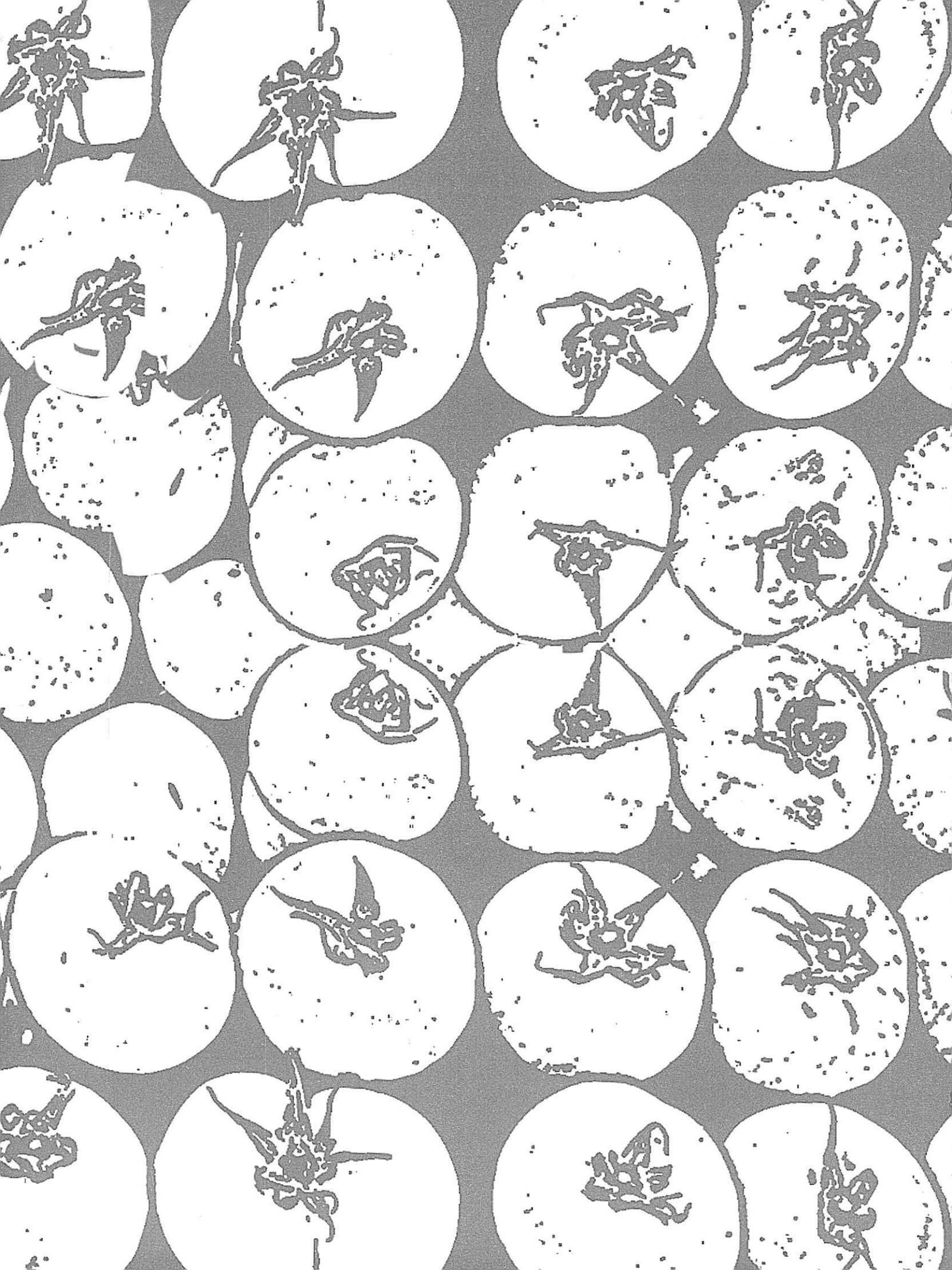
re que el productor acuda a un laboratorio especializado. Sin embargo, los mayores esfuerzos deben enfocarse en estrategias como la prevención, las prácticas de sanidad, los métodos para evitar la presencia de patógenos de la solución nutritiva y tácticas para proteger las plantas cultivadas.

Bibliografía

- ANÓNIMO, 2008. *Sheet 310 – whitefly*. www.appliedbio-nomics.com/technical-manual/310-whiteflies.pdf, revisado el 9 de abril 2008.
- AGRIOS, G.N. 2005. *Plant Pathology*. Florida: Elsevier Academic Press. Department of Plant Pathology, University of Florida.
- BUSTILLO, A.E. y B.A. GUTIÉRREZ. 1984. «Las plagas del tomate y su control». *Manual de hortalizas del ICA*. Bogotá, pp. 95-119.
- CABRERA, A., A.E. EIRAS, G. GRIES, R. GRIES, N. URDANETA, B. MIRAS, C. BADJI & K. JAFFE. 2001. «Sex pheromone of tomato fruit borer *Neoleucinodes elegantalis*». *Journal of Chemical Ecology* 10, 2097-2107.
- ELLIS, M.B. 1971. *Dematiaceous-Hyphomycetes*. Kew-Surrey-England: Commonwealth Mycological Institute.
- ESCOBAR, A., F. CANTOR & J. CURE. 2004. «Contribución al conocimiento de *Apanteles* sp. (Hymenoptera: Braconidae)». En *Resúmenes XXXI Congreso Sociedad Colombiana de Entomología*, julio 28-30, Bogotá.
- FERNÁNDEZ, S. & J.A. SALAS. 1985. «Estudios sobre la biología del perforador del fruto del tomate *Neoleucinodes elegantalis* Gene (Lepidoptera: Pyraustidae)». *Agronomía Tropical* 35, 77-82.
- FUENTES, L.S. 2000. «Ciclo de vida de *Amitus fuscipennis* McGown y *Nebeker*, parasitoide de *Trialeurodes vaporariorum* a 15, 20, 25 y 30 °C en tomate». Tesis de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá.
- GABOR, B. & W. WIEBE. 1997. *Tomato Diseases*. Seminis Vegetable Seeds. Saticoy (California).
- GARCÍA, G.J. & A. LÓPEZ-ÁVILA. 1998. «Biología y hábitos alimenticios de *Delphastus pusillus* (Coleoptera: Coccinellidae) depredador de moscas blancas». *Revista Colombiana de Entomología*, 24 (3-4): 95-102.
- GIUSTOLIN, T.A. & VENDRAMIMI. 1996. «Biología de *Scrobipalpus absoluta* (Meyrick), em folhas de tomateiro, em laboratorio». *Ecosistema* 21: 11-15.
- GUARÍN, J.H. & P. PARRA. 1999. «La presencia de *Thrips palmi* Karny en el oriente antioqueño, un reto para la implementación del manejo integrado de cultivos». Resúmenes XXVI Congreso SOCOLEN. Bogotá.
- HAAQUE, M.M. & A. HAWAI. 2003. «Effect of temperatura on development and reproduction of the tomato russet mite, *Aculops lycopersici* (Masse) (Acari: Eriophyidae)». *Applied Entomology and Zoology* 38, 97-101.

- HERNÁNDEZ D.M. & L.A. MARTÍNEZ. 2007. "Desarrollo de un plan de muestreo indirecto para la detección de *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae) en cultivos comerciales de tomate bajo invernadero". Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.
- HONG, C.X. AND G.W. MOORMAN, 2005. «Plant pathogens in irrigation water: challenges and opportunities». *Critical reviews*, in *Plant Science* 24, 189-208.
- HORST, R.K. 1979. *Westcott's Plant Disease Handbook*. Boston: Kluwer.
- JONES, J.B., J.P. JONES, R.E. STALL & T.A. ZITTER. 1991. *Compendium of Tomato Diseases*. St. Paul (Minnesota): APS Press.
- JORDA, C. 1995. «Virosis y micoplasmosis del cultivo del tomate». En Nuez F. (ed.). *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundiprensa.
- KHAN, A; K. L. WILLIAMS, AND H.K. NEVALAINEN. 2006. *Control of Plant-parasitic Nematodes by Paecilomyces lilacinus and Monacrosporium lysipagum in Pot Trials*. Sydney: Macquarie University Biotechnology Institute, Macquarie University,
- LACASA, P.A. & G.J. CONTRERAS. 1995. «Las plagas». En Nuez F. (ed.). *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundiprensa.
- LOBO, A.M. & J. JARAMILLO. 1984. «El cultivo del tomate». En *Manual de hortalizas del ICA*. Bogotá.
- LUBLINKHOF, J. & D.E. FOSTER. 1977. «Development and reproductive capacity of *Frankliniella occidentalis* (Thysanoptera: Thripidae) reared at three temperatures». *J. Kans. Ent. Soc.* 50 (3): 313-316.
- LUQUE, E. 1999. *Curso de control biológico*. Bogotá: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia.
- MALAIS, M. & W.J. RAVENSBERG. 1992. *Knowing and recognizing. The biology of glasshouse pests and their enemies*. Holanda: Koppert Biological Systems, Berkel & Rodenrijs.
- MESSIANEN, C.M., D. BLANCARD, F. ROUXEL & R. LAFON. 1995. *Enfermedades de las hortalizas*. Madrid: Mundiprensa.
- MUÑOZ, E., A. SERRANO, J. PULIDO & J. CRUZ. 1991. «Ciclo de vida, hábitos y enemigos naturales de *Neoleucinodes elegantalis* (Gene, 1854) (Lepidoptera: Pyralidae), pasador del fruto del lulo *Solanum quitoense* Lam. en el Valle del Cauca». *Acta Agronoacutémica* 41, 99-104.
- NAVARRO, R. & J. JARAMILLO. 1984. «Enfermedades del tomate y su control». En *Manual de hortalizas del ICA*. Bogotá. Pp.69-93.
- PARRELLA, M.P. 1983. «Intraspecific competition among larvae of *Liriomyza trifolii* (Diptera: Agromyzidae): effects on colony production». *Environ. Entomol.* 12: 1412-1414.
- PÉREZ CONSUEGRA, N. 2004. *Manejo ecológico de plagas*. La Habana: Centro de Estudios de Desarrollo Agrario y Rural, CEDAR, Universidad Agraria de la Habana-Cuba.
- PICANDO, M.C., L. BACCI, A.L.B. CRESPO, M.M.M. MIRANDA & J.C. MARTINS. 2007. «Effect of integrated pest management practices on tomato production and conservation of natural enemies». *Agricultural and Forest Entomology* 9, 327-335.
- POVOLNY, D. 1975. «On three neotropical species of Gnorimoschemini (Lepidoptera, Gelechiidae) mining Solanaceae». *Acta Universitatis Agriculturae* (Brno), Facultas Agronomica. 23 (2): 379-393.
- PRETTY, J.N. 2005. *The pesticide detox: towards a more sustainable agriculture*. London: Earthscan Publications.
- RODRÍGUEZ, R., J.A. TABARES, & J.A. MEDINA. 1997. *Cultivo moderno del tomate*. Madrid: Mundiprensa.
- TELLO, J. C. & J. DEL MORAL. 1995. «Enfermedades no víricas del tomate». En Nuez F. (ed.). *El cultivo del tomate*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. Pp.524-563.
- TRÓCHEZ, G.A., A.E. DÍAZ & F. GARCÍA. 1999. «Recuperación de *Copidosoma* sp. (Hymenoptera: Encyrtidae), parasitoide

- de huevos de *Neoleucinodes elegantalis* (Lepidoptera: Pyralidae) en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*). *Revista Colombiana de Entomología* 25, (3-4): 179-183.
- VAN LENTEREN, J.C. 1995. «Integrated Pest Management in Protected Crops». En: Dent, David (ed.). *Integrated Pest Management*. London: Chapman & Hall. Pp.311-344.
- VAN ROERMOND, H.J.W. & J.C. VAN LENTEREN. 1992. «Life-history parameters of the greenhouse whitefly as function of host plant and temperature». *Wageningen Agricultural University Papers* 92.3: 1-102
- VAN ROERMOND, H.J.W. 1995. "Understanding biological control of greenhouse whitefly with the parasitoid *Encarsia formosa*. From individual behaviour to population dynamics". Ph.D. thesis. Dept. of Entomology, Wageningen Agricultural University. Wageningen (Netherlands).
- ZENNER DE POLANÍA, I. 1995. «Aspectos biológicos y económicos de *Melanogromyza socolena* (Diptera: Agromyzidae), una nueva plaga del tomate de huerta». *Revista Colombiana de Entomología* 21 (1): 9-14.



Cosecha y poscosecha

8

Sandra Pulido y Mario González

La fase final del proceso productivo corresponde a la cosecha y poscosecha del fruto maduro. Esta fase incluye la recolección y las acciones posteriores tales como limpieza, clasificación, empaque, almacenamiento y transporte del producto al mercado. Los frutos cosechados son el resultado de la interacción clima-planta, así como de las diversas prácticas precosecha desarrolladas durante el ciclo de producción, las cuales incluyen la selección del material vegetal, podas, fertilización y manejo de enfermedades. Por tanto, las características generales de firmeza, color y tamaño de los frutos recolectados no pueden ser mejoradas en esta fase; sin embargo, las prácticas inadecuadas durante la cosecha y poscosecha sí pueden afectar la calidad final del producto.

Los criterios de calidad e índices de madurez están determinados por las exigencias del mercado. Los atributos externos de color y firmeza del fruto, los cuales pueden ser percibidos por la vista y el tacto, determinan la elección inicial por el consumidor. Sin embargo, éstos no garantizan la calidad sensorial o de consumo, la cual es definida por el sabor, textura y aroma del fruto (Riquelme, 1995).

Condiciones que determinan la calidad del fruto

Factores climáticos

El manejo del clima dentro del invernadero es un factor determinante de la cantidad y calidad del fruto cosechado. El cuajado del fruto está determinado por la formación del grano de polen, la polinización y la fecundación. La producción y formación del polen puede disminuir por deficiencias en la nutrición y por temperaturas extremas, fuera del rango de 10 a 35 °C. La polinización consiste en la transferencia del polen desde los estambres hasta el estigma o parte receptiva de las flores, en donde germina el polen y se produce la fecundación del óvulo para la formación de las semillas y frutos. En tomate, para que haya germinación de los granos de polen éstos deben adherirse al estigma, proceso favorecido cuando la humedad relativa se encuentra por encima del 70% y la temperatura está en el rango de 17 a 24 °C (Chamarro, 1995).

Los principales problemas en el cuajado del fruto son causados por la falta de polinización, lo que se traduce en caída de flores y formación de frutos partenocárpicos (frutos sin semillas). En la producción de tomate bajo invernadero, la producción de frutos sin semillas compromete drásticamente la productividad del cultivo, teniendo en cuenta que los frutos partenocárpicos presentan malformaciones, tienen un peso fresco menor que los frutos con semillas y su peso final está directamente relacionado con el número de semillas formadas.

Este problema puede atenuarse utilizando técnicas de vibración de las flores que favorezcan la polinización. Cuellar *et al.* (2001), en un invernadero tradicional de la Sabana de Bogotá, evaluó, sobre la calidad y tasa de desarrollo del fruto de tomate, dos prácticas de polinización: el uso de vibrador eléctrico o "abejorro mecánico" y la vibración de la planta mediante golpes a los alambres del tutorado. Los resultados indicaron que el uso del vibrador eléctrico incrementó la producción por planta en un 34%, traducido en un aumento en el peso fresco y seco, el diámetro y el número de semillas por fruto.

Finalmente, una vez cuajado el fruto la velocidad de desarrollo de éste es fuertemente afectada por la temperatura.

La temperatura también influye en la velocidad de respiración y síntesis de almidón y por ende en la velocidad de importación de asimilados dentro del fruto. A temperaturas inferiores a 12 °C, la exportación de asimilados de las hojas se reduce considerablemente (Chamarro, 1995).

Prácticas de manejo del cultivo

La nutrición durante el desarrollo del fruto es un factor determinante de su composición y vida poscosecha. El potasio es el mineral más abundante y el que tiene mayor influencia en la calidad del fruto. Junto con los nitratos, constituyen el 93% de los minerales del tomate. La pudrición apical es uno de los desórdenes fisiológicos más frecuentes y está relacionado con deficiencias de calcio en el fruto, debido a la baja translocación de este mineral de las hojas a los frutos. Este desorden es favorecido además por el rápido crecimiento del fruto en temperaturas elevadas y por fertilización excesiva con nitrógeno (Clover, 1991).

El manejo y control de plagas y enfermedades durante el cultivo es determinante de la calidad y cantidad de frutos cosechados, teniendo en cuenta que el estrés producido por el ataque de plagas y enfermedades afecta el potencial productivo de la planta. Así mismo, las lesiones causadas directamente en el fruto reducen el rendimiento comercial del cultivo y por ende su rentabilidad.

Finalmente, la poda es una práctica que beneficia la producción y calidad de los frutos. Por medio de ésta se eliminan frutos enfermos, deformes y se crea un balance fuente vertedero. En este sentido, se recomienda definir claramente el tamaño de fruto requerido por el mercado, teniendo en cuenta que a menor número de frutos por racimo mayor será el tamaño del fruto. Adicionalmente, se debe seguir las recomendaciones de poda descritas en la ficha técnica del cultivar seleccionado.

Cosecha

La cosecha de los frutos debe hacerse cuando éstos logran su madurez comercial, la cual se define como el punto en el cual el fruto ha alcanzado el grado de desarrollo suficiente para su comercialización. La calidad de los frutos depende de su destino final; se debe tener en cuenta que las

prioridades son distintas para cada actor de la cadena. Para los agricultores prima obtener un alto rendimiento, frutos bien formados y buena vida poscosecha; para los comercializadores es importante la vida poscosecha, color, forma y sanidad, mientras que la apariencia, consistencia y características organolépticas del fruto son determinantes en la elección del consumidor final.

Los atributos externos del tomate que pueden ser percibidos por la vista y el tacto son los que generalmente determinan el punto de cosecha. Para el color se han desarrollado diferentes escalas o "cartas" de color, para realizar clasificaciones subjetivas del estado de maduración. Esta escala define la maduración según seis estados, desde tomate verde a tomate rojo.

El otro índice de madurez es la firmeza o consistencia, que es percibida por el tacto entre los dedos; éste se clasifica en cinco estados, que van desde muy duro hasta muy blando, pasando por duro, firme y blando (tabla 14).

La madurez del fruto se reconoce por que la parte inferior de éste comienza a mostrar una coloración anaranjada, mientras que el resto permanece verde. En los frutos de tomate larga vida, la maduración es más uniforme y los cambios de color se producen al mismo tiempo en toda la superficie del fruto. Un método para aprender a reconocer la madurez del fruto es hacerle un corte transversal con un cuchillo bien afilado. Si al hacer el corte las semillas son atravesadas por el cuchillo, significa que éste aún no está maduro. Si, por el contrario, las semillas no son cortadas, significa que el fruto ya está maduro, pues la pulpa se vuelve gelatinosa y hace que la semilla se desplace al paso del cuchillo. Si al realizar esta prueba encuentra que el fruto ya ha alcanzado su madurez fisiológica, se debe observar muy bien su aspecto exterior para aprender a reconocer cuándo un fruto está o no maduro.

El fruto del tomate es climatérico, es decir, sigue madurando una vez ha sido cosechado. Cuando el fruto madura en la planta puede tener mejor aroma y sabor que los que ma-

Tabla 14. Escala de clasificación para la firmeza de frutos de tomate

Clase	Resistencia a la compresión con los dedos	Características del corte
Muy duro	El fruto no cede ante una presión importante	No hay pérdida de jugo al realizar el corte
Duro	El fruto cede sólo un poco ante una presión	No hay pérdida de jugo al realizar el corte
Firme	El fruto cede un poco ante una presión moderada	Se desprenden algunas gotas de jugo al realizar el corte
Blando	El fruto cede fácilmente ante una ligera presión	Se desprende una pequeña cantidad de jugo y/o semillas al realizar el corte
Muy blando	El fruto cede muy fácilmente con una ligera presión	Se pierde una gran cantidad de jugo y de semillas al realizar el corte

duran fuera de ésta. Sin embargo, la comercialización de los frutos completamente maduros no es común, debido a los riesgos de pérdidas por deterioro físico. Es importante cosechar los frutos en el momento oportuno. Si éstos se cose-

chan fisiológicamente inmaduros no alcanzan una calidad aceptable de consumo. Si, por el contrario, se cosechan en estado avanzado de madurez fisiológica, tendrán una corta vida luego de cosechados (Zambrano *et al.*, 1995).

El fruto del tomate tiene un bajo poder calórico, debido a su escaso contenido de materia seca y grasa 6,5% y 0,15%, respectivamente. Los frutos de tomate son ricos en carotenoides, compuestos responsables del color del fruto. En el tomate maduro, el licopeno es el carotenoide que presenta mayor concentración, con 83%, seguido de β -caroteno, con un 5%. La importancia del licopeno radica en que posee propiedades antioxidantes, protege a las células humanas del estrés oxidativo –uno de los principales responsables de las enfermedades cardiovasculares, cáncer y envejecimiento–.

Los contenidos de licopeno aumentan en el fruto a medida que aumenta el grado de madurez. Zambrano *et al.* (1995) compararon frutos madurados sobre la planta con frutos madurados fuera de ésta, en cinco estados de madurez. Los resultados mostraron que la síntesis de licopeno aumentó progresivamente durante el transcurso de la maduración. No se observaron diferencias significativas en los frutos madurados en la planta y fuera de la planta en cada estado de madurez; sin embargo, los frutos cosechados en estados de mayor madurez desarrollaron más licopeno que los cosechados menos maduros.

Prácticas de cosecha

La cosecha debe hacerse por lo menos día de por medio, si el área es pequeña, pero si el área de cultivo es grande y las condiciones climáticas son favorables (alta luminosidad y temperatura), la cosecha debe realizarse todos los días.

Se recomienda hacer recolección de frutos en la mañana, porque a esta hora tienen mayor peso y mejor calidad. Se debe hacer con gran cuidado, evitando producirle daños a los frutos que, incluso sin ser apreciables visualmente, constituyen el origen de grandes pérdidas que se manifestarán posteriormente como infección por microorganismos con desarrollo de podredumbres e incrementos en la actividad respiratoria y en la emisión de etileno, que provocarán la aceleración en el proceso de maduración y un aumento en la pérdida de agua.

El fruto tiene dos puntos de abscisión naturales: uno entre el cáliz y el fruto, y el otro en medio del pedúnculo que une el fruto con el tallo principal. La cosecha de frutos debe ha-

cerse preferiblemente en forma manual y de manera que los frutos conserven el cáliz, lo cual les da una mejor presentación en poscosecha.

Para la cosecha es recomendable utilizar cajas o cestas que contengan algún material espumoso en el fondo y en las paredes para prevenir daños en los frutos, y no deben colocarse más de dos capas de frutos por caja.

Poscosecha

La comercialización del tomate exige gran número de operaciones para hacer llegar los frutos desde su recolección hasta la mesa del consumidor. Todo este proceso implica un importante valor agregado y exige una correcta realización de las operaciones para mantener la calidad inicial al nivel más elevado posible, así como una adecuada coordinación e integración de las diferentes etapas. Una vez cosechados, los frutos deben ser cuidados tanto o mejor que cuando están en la planta.

En la figura 7 puede verse el esquema de las operaciones poscosecha para el tomate.

Preselección y calibrado

Esta es una labor que puede comenzar directamente en el invernadero. El primer paso es descartar los frutos que no cumplen con los requerimientos para ser comercializados, como frutos deformes, rajados, agrietados, con daños mecánicos, con desórdenes en el color de maduración y otras causas de rechazo. Posteriormente y con la disponibilidad de varias canastillas de cosecha, se deben ir agrupando por tamaño (calibre) y por grados de maduración.

Una vez trasladados a la sala de poscosecha se ejecutarán las labores de limpieza de los frutos y una selección más rigurosa según los requerimientos comerciales.

Limpieza de los frutos

Para obtener una adecuada higiene en los frutos y una buena presentación para su comercialización, es necesario eliminar la suciedad y las materias extrañas de la epidermis de los tomates. Esta suciedad tiene orígenes muy diversos: tierra, polvo, residuos de agroquímicos, hojas y microorga-

nismos. Su eliminación puede efectuarse mediante cepillado suave, lavado o la combinación de ambos.

Para las operaciones de limpieza en seco, es indispensable seleccionar correctamente el tipo de cepillo; se recomiendan los de pelo de caballo o los de fibra sintética, siempre y cuando su rigidez sea la adecuada, de modo que se pueda eliminar la suciedad sin causarle daños físicos al fruto. La presión ejercida por el operario debe ser la justa para dejar completamente limpio el tomate, pero sin causarle ningún deterioro.

El cepillado se puede complementar con la acción de soplado con máquina de aire frío, con presiones que no le causen daños al fruto. Aunque el cepillado en seco elimina una muy buena cantidad de residuos y casi ninguna de la cera superficial, cuando existen frutos con residuos muy adheridos, los agricultores prefieren hacer la limpieza con agua.

La limpieza de los tomates mediante lavado se realiza por medio de duchas, ojalá de agua pulverizada, y debe complementarse con el cepillado y un secado final. Es conveniente el uso de agua clorada para evitar la proliferación de microorganismos.

Posteriormente, es necesario eliminar el agua de lavado que permanece sobre los frutos, operación que se efectúa

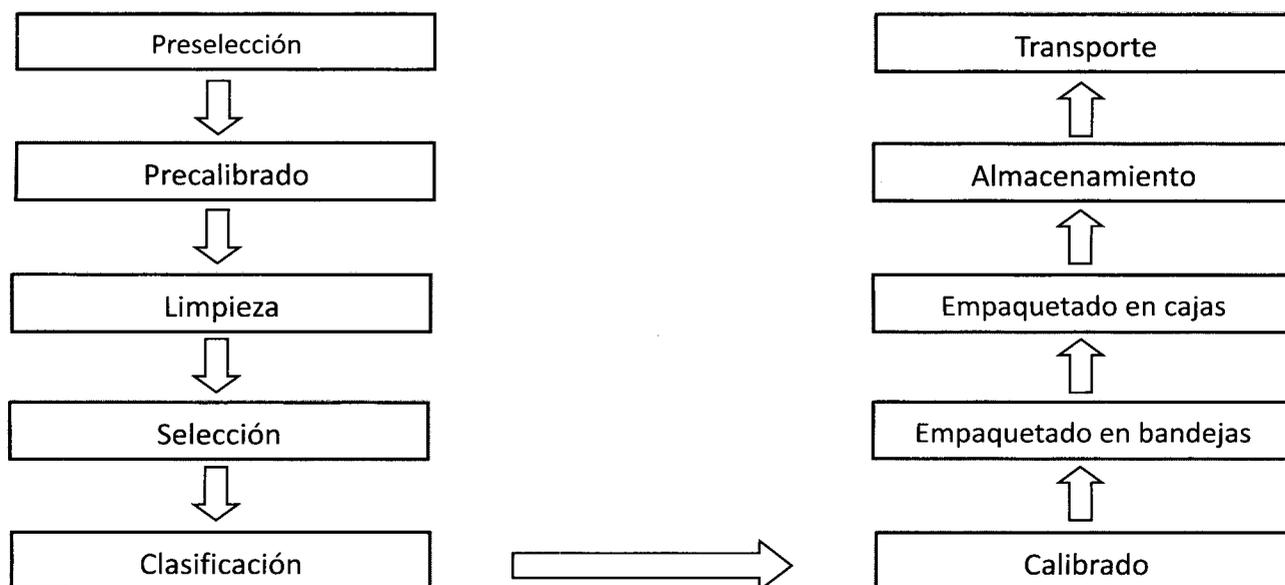
en dos etapas: primero, el tomate debe ser secado con toallas o paños absorbentes que eliminen la mayor parte de la humedad exterior del fruto. Como los tomates no quedan suficientemente secos para el empaquetado, es necesario colocarlos bajo una corriente de aire generada por ventiladores a temperatura ambiente. La acción combinada de arrastre de aire y evaporación permite el correcto secado de los frutos para su conservación y evita la proliferación de microorganismos una vez empacados en bandejas o en cajas.

Selección

Para comercializar los tomates de acuerdo con las normas de calidad exigidas, es necesario realizar las operaciones de selección y clasificación. Éstas se realizan de forma manual, utilizando una de estas posibilidades: 1) Inspección de cada fruto, separándolo en las canastillas asignadas según calidad y tamaño. 2) Selección reducida, separando una o dos calidades que se encuentran en menor proporción en la canastilla de recolección, dejando el resto dentro de la canastilla. En este sistema se eliminan los frutos deformes o los que superan cierto grado de madurez, los cuales son destinados a mercados secundarios.

En la operación de selección, los rendimientos se alcanzan en función de la homogeneidad y de la calidad de los frutos a seleccionar, pero se estima como un rendimiento adecuado $200 \text{ kg} \cdot \text{persona}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Figura 7. Esquema de operaciones poscosecha del tomate

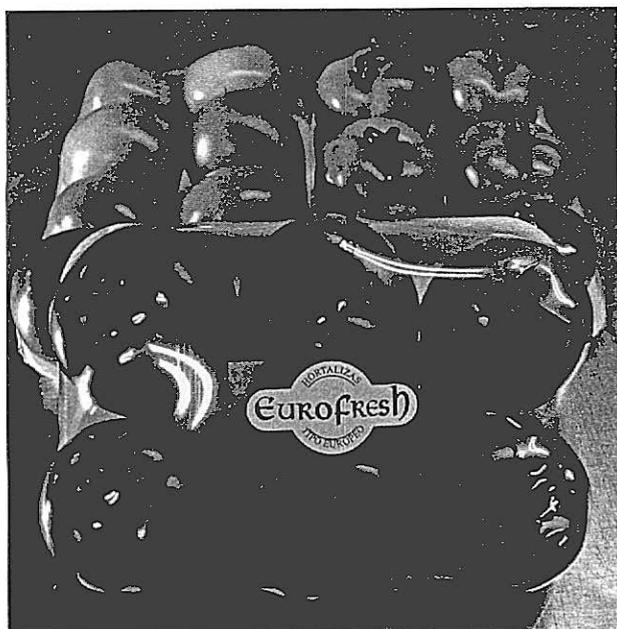


Clasificación en función de tamaño y color

Para la separación en función del tamaño, se utilizan calibreadores denominados "pasa/ no pasa", que no son más que tabletas con orificios de diámetros iguales a los parámetros fijados en las normas de calidad.

Empaquetado en bandejas

Cuando los frutos son de tamaños y calidades homogéneas pueden empacarse en bandejas de icopor con recubrimiento de película de PVC (foto 41).



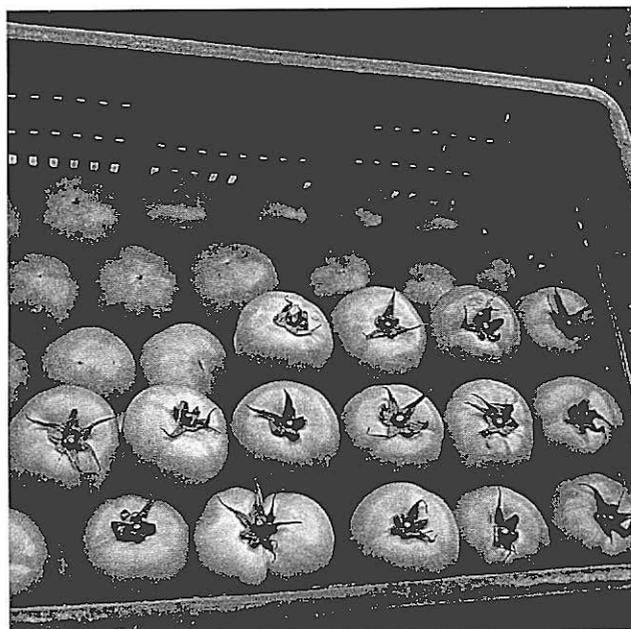
Almacenamiento

La temperatura de conservación depende del estado de madurez. La temperatura para el almacenamiento de frutos verdes debe estar entre 13 y 20 °C; para tomates pintones, entre 12 y 14 °C, con una humedad del 85%; y para tomates maduros, entre 7 y 10 °C. Ramirez *et al.* (2004) estudiaron los efectos de diferentes temperaturas en el contenido de etileno, ácido-1-aminocilopropano-1-carboxí-

Empaque en canastillas

El tomate debe empacarse en canastillas plásticas con dimensiones de 500 mm x 330 mm x 150 mm y capacidad para 9 kg, y canastillas plásticas de 600 mm x 400 mm x 190 mm con capacidad para 13 kg.

La colocación de los frutos dentro de cada canastilla depende del calibre del fruto, teniendo en cuenta que en el primer nivel debe estar ubicado el pedúnculo hacia abajo y en el segundo nivel hacia arriba. Se recomienda colocar primero en el fondo de la canastilla un material protector como cartón o una lámina de espuma (foto 42).



lico (ACC), poligalacturonasa (PG) y las variables de peso, firmeza, sólidos solubles, almidón de frutos almacenados a temperatura ambiente (27 °C) y a 7 y 9 °C. Los frutos sometidos a temperatura de 7 °C mostraron mayor peso y firmeza; a temperatura ambiente, los frutos presentaron mayor contenido de grados Brix y menor de almidón. La producción de etileno, ACC y PG fue menor en los frutos tratados a temperatura de 7 y 9 °C; su vida de anaquel se prolongó en comparación con los que se conservaron a temperatu-

ra ambiente. Se concluyó que las temperaturas de 7 y 9 °C provocaron menor contenido de etileno, ACC y PG, lo cual prolongó por más días la vida de los frutos de tomate.

Transporte

Durante el transporte se trasladan, de forma rápida, los tomates ya acondicionados hasta los centros de distribución y los mercados de consumo, evitando el deterioro de su calidad. Existen diferentes sistemas de transporte: terrestre, aéreo y marítimo. Estos dos últimos no son comunes en nuestro país.

El transporte por carretera ofrece la ventaja de la flexibilidad, con servicio puerta a puerta, y en caso del transporte refrigerado, el mantenimiento de las condiciones de almacenamiento. Tiene como desventaja que depende en gran medida del estado de las carreteras, además de la gran influencia que tienen las condiciones meteorológicas. Si el transporte se hace en camiones carpados, se recomienda la utilización de carpas de color blanco, y en lo posible efectuar el transporte en horas de la noche, en especial cuando se transita por zonas templadas y calientes.

Tres de los factores clave para tener en cuenta en el transporte del tomate hacia los centros de consumo son: 1) reducir los daños mecánicos al mínimo; 2) mantener una temperatura adecuada que no sea inferior a 8 °C ni superior a 16 °C, y 3) asegurar la compatibilidad con los productos cargados en el mismo camión.

Antes de iniciar la operación de cargue en el vehículo, se recomienda realizar una completa limpieza, desinfección y desodorización, para evitar daños y pérdidas de calidad en los tomates. Se debe utilizar un sistema que asegure la estabilidad de los arrumes durante todo el trayecto, para evitar el volcamiento de las canastillas.

Los daños mecánicos producidos por las vibraciones durante el transporte por carretera pueden llegar a ser más importantes que los impactos causados por una mala manipulación. En este sentido, es muy importante una buena selección del tipo de suspensión utilizada en el vehículo.

Enfermedades en poscosecha

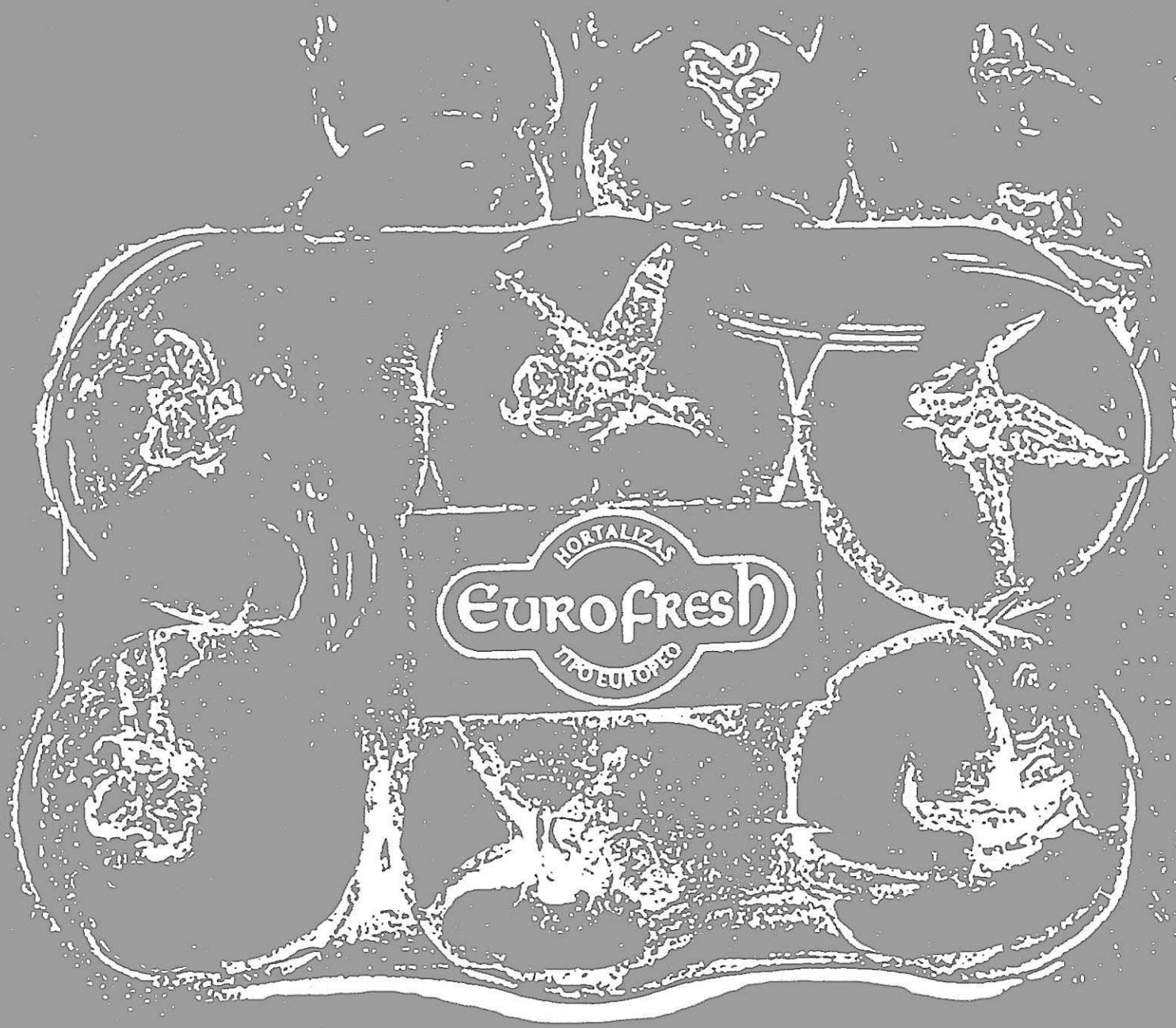
Existen dos factores muy importantes en la predisposición a enfermedades en poscosecha: el daño por frío y las grietas en la superficie del fruto.

Los frutos de tomate sufren daños cuando son expuestos a temperaturas muy bajas. El daño por frío es directamente proporcional al número de horas de continuidad o discontinuidad de la exposición de los frutos a temperaturas bajas. Después de sufrir daños por frío, los frutos pueden ser atacados por muchos hongos patogénicos, tales como *Penicillium* sp.

El segundo factor está asociado con las grietas del fruto en la cutícula. Muchos patógenos débiles colonizan los tejidos expuestos, en los cuales crecen rápidamente.

Bibliografía

- CHAMARRO, J. 1995. «Anatomía y fisiología de la planta». En Nuez, F. (Ed.) *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundiprensa.
- CLOVER, A. 1991. «A new theory on calcium transport». *Grower*, 8-11.
- CUELLAR, J., A. COOMAN, & H. ARJONA., 2002. «Incremento de la productividad del cultivo de tomate bajo invernadero mejorando la polinización». *Agronomía Colombiana*, 18, 7-13.
- RAMÍREZ, H., I. ENCINA, A. BENAVIDES, V. ROBLEDO, J. HERNÁNDEZ Y S. ALONSO. 2004. «Influencia de la temperatura sobre procesos fisiológicos en poscosecha de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.)». *Revista Agraria-Nueva Epoca*. 1(3), 33-37
- RIQUELME, F. 1995. «Postcosecha del tomate para consumo fresco». En: Nuez, F. (Ed.) *El cultivo del tomate*. Madrid: Mundiprensa.
- ZAMBRANO, J., J. MOYEJA, L. PACHECO. 1995. «Efecto del estado de madurez del fruto en la composición y calidad de frutos de tomate». *Agronomía Tropical* 46(1), 61-72.



HORTALIZAS
Eurofresh
TIPO EUROPEO

Comercialización

9

Luis Enrique Flórez y Mario González

El éxito de toda iniciativa productiva está sujeto a la aceptación del mercado. Este proceso se da en la medida en que las necesidades sean satisfechas gracias al beneficio que genera el producto o servicio ofrecido. Es importante tener en cuenta que para un bien o servicio pueden existir a partir de la demanda puntos específicos de diferenciación en cuanto a los componentes de satisfacción del producto, que permiten que haya la posibilidad de segmentar el mercado, de tal manera que puedan generarse, desde la producción del bien o servicio, estrategias específicas de diferenciación para cubrir las necesidades del segmento. En este sentido, no sólo se contempla el producto desde su concepción básica, sino también los diferentes atributos relacionados con el mismo, así como los aspectos relevantes en el mercadeo. En este capítulo se tratarán los aspectos básicos del mercadeo del tomate como son el producto, la distribución, el precio, la promoción, el valor agregado y un análisis de los elementos relevantes del entorno competitivo de la producción.

El producto

Para el caso de un producto como el tomate, la concepción básica debe ser "un producto apto para el consumo, con unas condiciones elementales de calidad (sabor, color, aroma, aspecto, e higiene)". En este sentido, vale la pena recalcar que estas condiciones básicas son

las mínimas que debe cumplir el producto para salir al mercado.

A partir de allí, con respecto al concepto de producto, hay que tener en cuenta que el mercado del tomate cuenta en la actualidad con demandas específicas en cuanto a variedades, tamaños y grados de madurez, dependiendo del uso final. Los principales usos para el tomate son: 1) La agroindustria, para el procesamiento y obtención de salsas, pastas, sopas y cremas, la cual demanda principalmente tomates milanos maduros. 2) El consumo en fresco, que demanda cantidades constantes de tomates de diferentes tamaños tipo milano larga vida, chontos y cherries adquiridos por supermercados o grandes superficies en estado pintón, es decir, con nivel de maduración entre 25 y 30% (1/4 de maduración). En el mercado actual del tomate, al igual que para las demás hortalizas, se ha desarrollado el consumo de tomates provenientes de producción limpia y ecológica, situación que ha incidido de manera importante en los sistemas de producción.

Tanto para la agroindustria como para el consumo en fresco rigen las normas de calidad del producto, las cuales se mencionan a continuación.

Normas de calidad del producto

Las siguientes normas se refieren a las variedades de tomate multiloculares del tipo larga vida, destinadas a ser entregadas al consumidor en estado fresco, excluyendo las usadas para transformación industrial.

Características mínimas de calidad

Todo fruto de tomate debe cumplir con los siguientes requisitos mínimos de calidad:

- Apariencia fresca.
- Sano: libre de daños causados por plagas y enfermedades.
- Libre de residuos de productos fitosanitarios.
- Seco: libre de humedad anormal.

- Libre de olores y sabores extraños.
- Haber iniciado la madurez fisiológica, pero conservando una firmeza tal que su manipulación y transporte no afecten su calidad.
- Con cáliz y pedúnculo. La longitud máxima del pedúnculo es de 3 mm.
- No presentar síntomas del desorden fisiológico conocido como "blotching" (áreas circulares amarillas cuando el fruto está maduro).

Factores de clasificación

Según los requerimientos del mercado, el tomate puede clasificarse de acuerdo con diferentes parámetros de carácter visual. A continuación se describen las principales categorías de clasificación de esta hortaliza.

Forma

Se tendrá en cuenta la forma y desarrollo de los tomates, de acuerdo con la variedad que se esté cosechando.

Daños

El porcentaje de daños hará que el producto se ubique en determinada categoría de calidad.

Tamaño

El tamaño del fruto puede expresarse como calibre, que hace referencia al diámetro transversal del fruto medido en su sección ecuatorial, expresado en milímetros (mm). Para el mercado nacional, los tomates se calibran según las siguientes escalas:

- Calibre # 1 (SG): frutos con diámetro superior a 82 mm.
- Calibre # 2 (G): frutos con diámetro comprendido entre 67 y 82 mm.
- Calibre # 3 (M): frutos con diámetro comprendido entre 57 y 67 mm.

- Calibre # 4 (MM): frutos con diámetro comprendido entre 47 y 57 mm.
- Calibre # 5 (P): frutos con diámetro comprendido entre 40 y 47 mm.

Color

La clasificación por color es un parámetro directamente relacionado con el estado de madurez del fruto. En la escala internacional, los frutos se clasifican según su coloración, desde completamente verde hasta completamente rojo (maduro).

Verde. El fruto habrá alcanzado su desarrollo y presentará una estrella blanquecina o amarillenta en el punto pistilar y una tonalidad amarillenta por lo menos en un 10% de su superficie.

Verde anaranjado. Frutos en los cuales su parte inferior ha comenzado a cambiar de color hacia tonalidades amarillas o anaranjadas en un 10 a un 30% de su superficie.

Naranja rosado. Frutos en los cuales se mezclan tonalidades verdes, amarillas y ligeramente rojas en toda su superficie, pero con una mayor proporción de coloraciones rojizas en el 30 al 60% de su superficie.

Rojo o maduro. El fruto debe presentar una tonalidad uniforme que puede variar entre rojizo y rojo vivo en más del 60% de su superficie.

Clasificación por categorías de calidad

Categoría extra

El tomate extra debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Cumplir con todos los requisitos mínimos de calidad.
- Tener pulpa firme.
- Poseer las características típicas de la variedad.
- Presentar homogeneidad en la superficie del fruto en cuanto a su color, aunque se acepta una ligera desigualdad.

- Tener cicatrices en la parte distal del fruto (parte inferior).
- No incluir frutos de color verde.
- Tener un máximo de 10% de frutos de categoría I dentro de una misma unidad de empaque.
- No presentar grietas de ningún tipo.
- No incluir frutos de categoría II.

Categoría I

- Deben cumplir con los requisitos mínimos de calidad.
- Deben tener pulpa firme.
- Se aceptan cicatrices no mayores a tres centímetros de longitud.
- Se aceptan grietas cicatrizadas no mayores a un centímetro de longitud.
- La cicatriz de la parte distal del fruto no debe tener un área mayor a un 1 cm².
- Se aceptan frutos de todos los colores.
- Se aceptan ligeros defectos de forma y desarrollo.
- Se acepta como máximo un 10% de frutos de categoría II dentro de una misma unidad de empaque.

Categoría II

- Deben cumplir con los requisitos mínimos de calidad.
- Se aceptan frutos con formas irregulares, pero no con deformidades.
- Tienen que ser firmes.
- Se aceptan cicatrices mayores a 3 cm de longitud.

- Se aceptan frutos con hombros verdes.
- Se aceptan grietas cicatrizadas con longitudes mayores a un centímetro.
- La cicatriz de la parte distal del fruto no puede tener un área mayor a tres 3 cm².
- Se aceptan frutos de todos los colores.
- No se acepta ningún fruto de calidad industrial.

La distribución

Hace referencia a la colocación de manera oportuna del producto en el mercado. Hay que tener en cuenta que en la mayoría de los productos hortícolas en general se dan fenómenos de estacionalidad en la producción que causan alteraciones en el mercado impactando directamente en los precios. Como existen ciertas inelasticidades de la oferta del producto en virtud de los elementos intrínsecos del proceso productivo, los precios vuelven a estabilizarse en la medida en que haya un balance adecuado oferta-demanda (UNAL–UESP, 2003). El tomate no está exento de este fenómeno y por tanto hay que programar la producción de tal manera que pueda garantizarse una producción continua para poder satisfacer la demanda, tanto a nivel agregado (macroeconómico) como a nivel de finca.

Esta programación de la producción que armonice los procesos oferta-demanda es un elemento clave para el éxito del proceso productivo. De otra parte, en este aspecto, los canales de comercialización cumplen una función vital, ya que permiten acercar de manera más eficiente a los productores con el mercado debido a que optimizan el número de contactos necesarios ya sea como mayoristas o minoristas.

En la actualidad existen diferentes tipos de canales de comercialización:

Productor - mercado especializado - consumidor

Este canal presenta unos aspectos interesantes para el productor dado que permite establecer relaciones a largo pla-

zo y a su vez cuenta con mejores expectativas de precio. No obstante lo anterior, puede no ser el canal más recomendado dadas las siguientes dificultades:

- Los volúmenes de producción requeridos son muy grandes y el pequeño o mediano productor no cuenta con las cantidades necesarias para cumplir con este requisito
- La frecuencia de entrega de producto es diaria por lo cual logísticamente el productor no cuenta con esta capacidad y se generan unos costos logísticos elevados

Productor - asociación de productores - grandes superficies, instituciones - consumidor

Este canal es el más adecuado para un productor pequeño o mediano dado que los costos de distribución se asumen de manera colectiva e igualmente se puede generar una oferta agregada mayor, que permite tener mejores posibilidades de negociación y distribución. El éxito de este modelo depende en buena medida del compromiso de los asociados, para que la asociación o cooperativa pueda adquirir unos compromisos comerciales y cumplir con ellos.

Productor - intermediario

Esta opción corresponde a la tradicional del mercado y no siempre es la más adecuada, debido a que tanto la venta del producto como los precios están sujetos a la oferta momentánea de producto en el mercado. Si bien es cierto que los intermediarios juegan un papel importante en los procesos de comercialización, su función puede estar alterada justamente por las condiciones de desventaja que puede tener el productor frente al intermediario en cuanto a la capacidad de negociación y manejo de la información.

El precio

Por tratarse de un producto en fresco, los precios del tomate están estrechamente sujetos a las variaciones en el mercado de las cantidades de producto ofrecidas. Así, para el caso del tomate se pueden apreciar variaciones importantes en los precios del producto en fresco, los cuales varían uniformemente para los diferentes tipos de

tomates existentes en el mercado. A continuación se presenta un histórico mensual de precios de tomates chonto y larga vida en Corabastos (Bogotá) para el período junio de 2006- junio de 2008 (CCI, 2008). En la figura 8 se aprecia la alta correlación existente entre la variación de precios para el tomate chonto comparado con el tomate milano en el mercado. En general, esta alta relación entre los precios de los tomates no sólo se da a nivel de la capital, sino también a nivel nacional. Gran parte de esto se atribuye a la fácil sustitución que puede haber entre un tipo de tomate y otro en la mesa, teniendo en cuenta que para el consumo en fresco se destina más del 97% de la producción nacional.

La promoción

Este aspecto va dirigido a los clientes potenciales que cuentan con la necesidad, disposición y recursos para adquirir el producto y se refiere netamente a la estrategia, herramientas y medios de comunicación empleados para llegar con la información necesaria sobre el o los productos y sus atributos. Desde el punto de vista de la producción primaria, hay desconocimiento de estas herramientas y por tanto los procesos de comunicación con los clientes son limitados, generando una baja optimización de los clientes

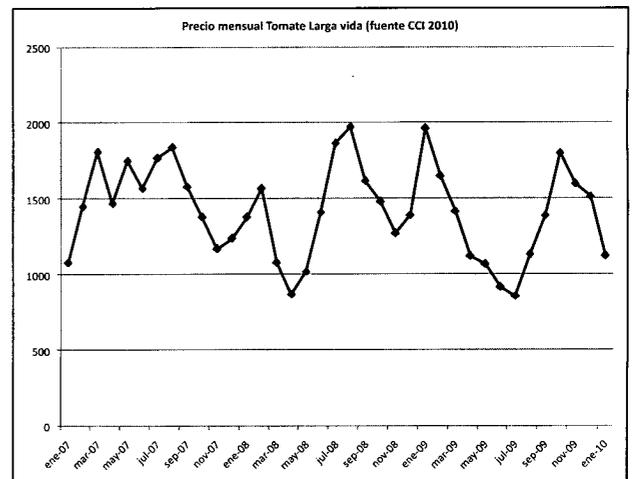
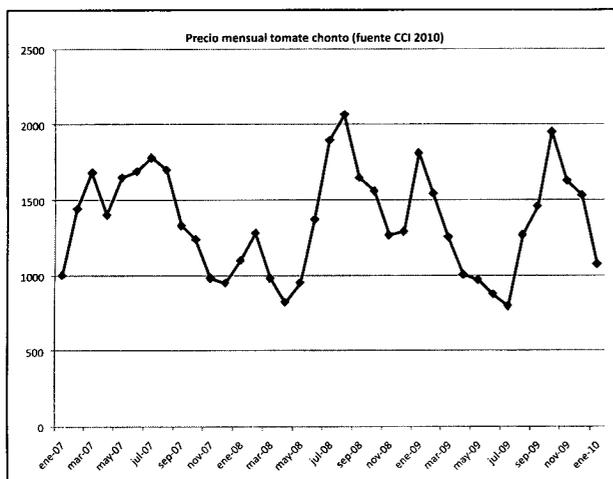
y o canales más idóneos para los productos producidos, baja información del entorno competitivo y de la situación del mercado que permitan no sólo llevar el producto al mejor demandante, sino también tomar decisiones adecuadas del mercadeo del mismo.

En la estrategia de comunicación es importante identificar los clientes de la empresa los cuales no van a ser necesariamente los consumidores del producto. Así, para un productor los clientes más relevantes de la empresa serán los mercados especializados, intermediarios, asociaciones hacia los cuales debe orientarse los esfuerzos en la búsqueda de contactos y la gestión comercial. Con éstos, en últimas y dependiendo de su actividad, se definirán las cantidades, frecuencia y estado del producto a entregar, así como las condiciones de pago.

El valor agregado

Se entiende por valor agregado todos aquellos atributos adicionales al producto en su concepto básico que contribuyen incrementar el grado de satisfacción del cliente o consumidor y que permiten obtener una posición especial en el mercado. En este sentido, el valor agregado puede estar no sólo en el producto, sino también en el servicio

Figura 8. Correlación de precios entre el tomate chonto y el tomate milano en el mercado colombiano.



Fuente: Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia, Medellín, 2005.

BIBLIOTECA ACROFONIA

alrededor del mismo. Son valores agregados los procesos de transformación que facilitan el consumo o preparación del producto, tales como las rodajas, ensaladas, encurtidos, el desarrollo de empaques de tipo unitario o acordes con las cantidades a adquirir por el consumidor, y los procesos de transformación orientados hacia la prolongación de la vida útil del producto en diferentes condiciones de almacenamiento, tales como atmósferas modificadas, IQF, congelados, entre otros. Estos procesos pueden ir asociados dependiendo de su compatibilidad y su enfoque de mercado e igualmente cada desarrollo puede requerir de unos recursos y capacidades específicas.

Son valores agregados en el servicio aquellos que específicamente pueden satisfacer la necesidad en torno al consumo del producto como son: frecuencias de entrega acordes con las necesidades específicas del cliente, manejo de la información alrededor del producto (fichas técnicas, recetas, modo de uso, disposición, almacenamiento), formas de pago, formas de entrega, lugares de entrega, entre otros.

El entorno competitivo de la producción del tomate en Colombia

Para la realización de este análisis se toma como base el modelo de las cinco fuerzas del mercado propuesto por Porter. En este sentido, se tiene en cuenta cada una de las fuerzas con sus respectivos intereses y mecanismos de presión sobre el empresario productor de tomate.

Clientes

Es importante distinguir entre clientes y consumidores. Los clientes del productor son aquellos que compran el producto pero no necesariamente van a ser los consumidores finales del mismo. Para el productor de tomate, los clientes serán principalmente los identificados en los diferentes canales existentes (comercializadores, mercado especializado o asociación de productores, según el caso). No obstante, para identificar el tamaño del mercado objetivo vale la pena mencionar que el tomate es un producto de la canasta básica familiar, el cual, según estadísticas, es el producto de mayor frecuencia de compra: 24% de la población lo

compra diariamente y 45% lo hace semanalmente (Revista *Dinero*, 2004). Tanto para el tomate como para los demás productos hortícolas los niveles de exigencia de los clientes así como las preferencias por el consumo han venido generando cambios importantes tanto en las variedades, colores, tamaños, etc., como en los aspectos relacionados con limpieza e inocuidad del producto. En este último, se identifica una fuerza importante del mercado hacia los productos certificados limpios u orgánicos en los cuales no haya presencia de residuos de plaguicidas, ni bacterias u otros agentes causantes de enfermedades.

Proveedores

En general, para el cultivo del tomate existe toda una gama de proveedores de las diferentes semillas e insumos, productos biológicos, plásticos, plántulas, servicios de laboratorios tales como análisis de suelos, aguas, etc. Esta gran variedad permite que haya una competencia entre éstos, la cual es favorable para el productor por accesibilidad, disponibilidad y precios. Día a día las compañías productoras de tales insumos han venido desarrollando e innovando en la búsqueda de competitividad frente a las otras compañías del sector, lo cual también favorece al productor.

Competidores

Para hablar del entorno competitivo de la producción de tomate en Colombia, se hace necesario hablar de las áreas en producción del país. Aunque se trata de un producto disperso por todo Colombia, cerca del 80% de la producción se concentra en los departamentos de Norte de Santander, Cundinamarca, Santander, Valle, Huila, Antioquia y Boyacá, donde tradicionalmente se han cultivado las variedades Chonto, Milano y tomate Río Grande (Asohofruco, 2003). Para el caso del tomate bajo cubierta, las áreas más importantes en producción están en el departamento de Boyacá con más de quinientas hectáreas en producción. En esta zona predomina la producción de tomates tipo milano de larga vida para abastecer principalmente el mercado bogotano. En los demás departamentos, principalmente en el Valle del Cauca, Santander y Norte de Santander, predomina la producción de tomate chonto a libre exposición.

Productos sustitutos y complementarios

Dada la importancia del tomate a nivel mundial y sus propiedades particulares, se ha encontrado que el tomate es sin lugar a dudas la hortaliza de mayor consumo en el mercado. No obstante, dada la amplia gama de usos de esta hortaliza, cuenta con una extensa variedad de productos

complementarios, entre los que se encuentran principalmente hortalizas como lechugas, cebollas, pimentones, pepinos, ajos, etc. Razón por la cual es común que dentro de un mismo portafolio productivo puedan encontrarse dichas hortalizas, contribuyendo a la diversificación, rotación e incluso minimizando el riesgo de la producción.

Bibliografía

CONVENIO DE COOPERACIÓN DOCENTE E INVESTIGATIVA UNIDAD EJECUTIVA DE SERVICIOS PÚBLICOS – UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA "PLAZAS DE MERCADO". 2003. "Investigación de mercados para la formulación de una política pública de recuperación y manejo de las 18 plazas de mercado a cargo del Distrito".

CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL. 2000. *Frutas y hortalizas. Calidad en mercados mayoristas*. Bogotá.

KOTLER PHILIP Y L. GARY. 1990. *Toma de decisiones en mercadotecnia*. New York: Harper and Row Publishers.

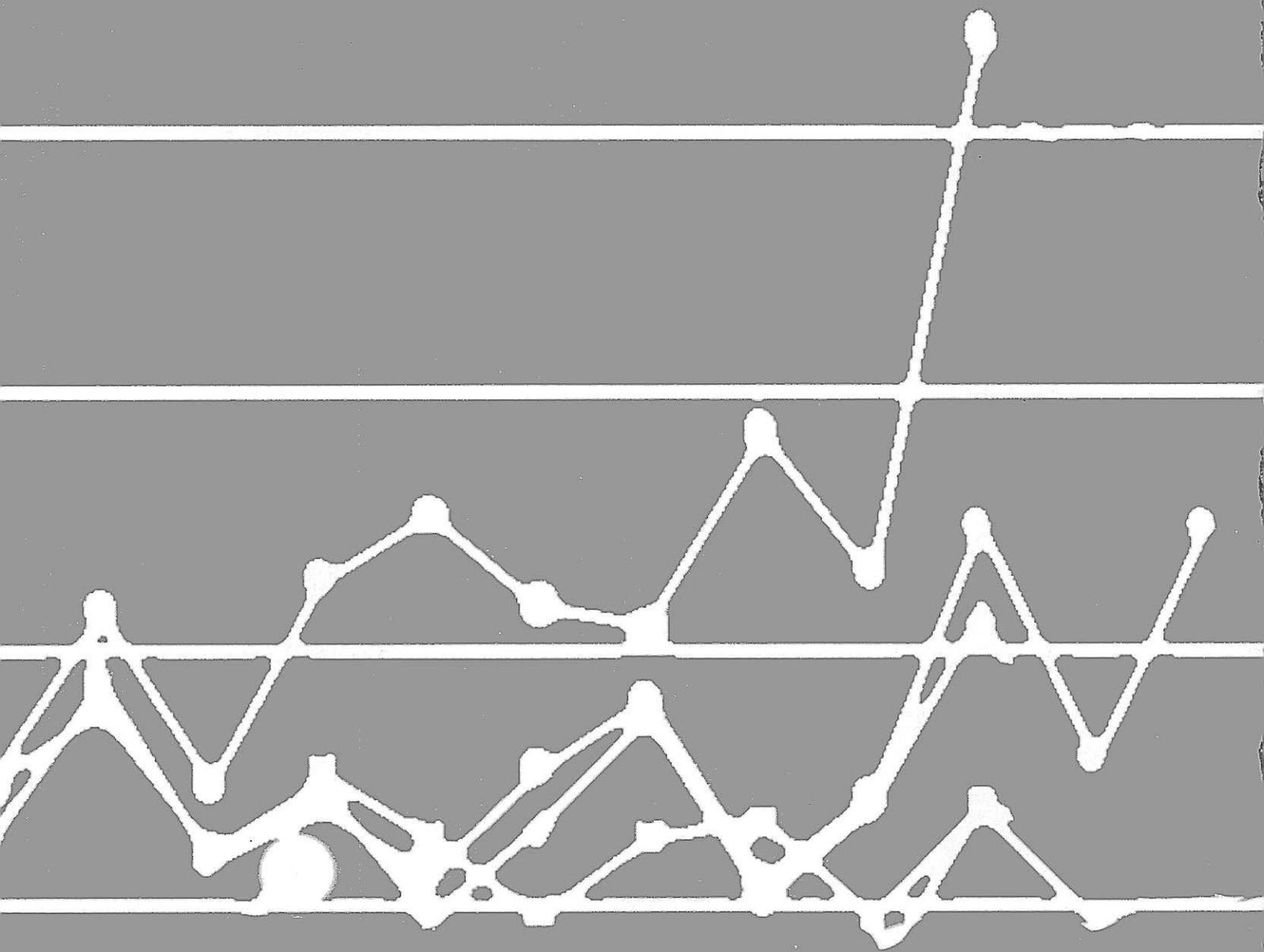
PORTER, M. 1980. *Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. New York: The Free Press, Simon & Shuster Inc.

Páginas web:

Corporación Colombia Internacional: cci.org.co

Agronet, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural: agronet.gov.co

Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano: www.utadeo.edu.co



Análisis económico **10**

Hugo Escobar

El análisis económico es uno de los aspectos más importantes a considerar cuando se empieza un proyecto productivo, puesto que permite determinar los niveles de inversión en que se debe incurrir, los costos de funcionamiento, los ingresos y la rentabilidad del proyecto. La producción agrícola, como cualquier otro proyecto, no escapa a la necesidad de realizar previamente un estudio económico para analizar su viabilidad económica. Esto frecuentemente representa una dificultad para la mayoría de los productores agrícolas porque no conocen o manejan suficientemente las herramientas de análisis que les ayuden a estimar sus costos de producción y la rentabilidad de su inversión.

El propósito de este capítulo es promover en los productores el hábito de analizar permanentemente los costos de producción para sus proyectos, lo cual hoy en día se facilita enormemente con el uso de los computadores que permiten diseñar estudios de costos dinámicos a partir de variables como el área del cultivo, la densidad de siembra, la productividad esperada y los costos de venta del producto,

y hacer complejas simulaciones del resultado final cuando estas variables se modifican. Para ello, se describirán los principales elementos de la estructura de costos para la producción de tomate bajo invernadero y se desarrollará una guía para que los productores puedan registrar los costos de producción, ya sea de forma manual o mediante el uso de una hoja de cálculo electrónica.

Elementos de la estructura de costos de producción

El costo de un bien, servicio o actividad se define como el valor razonable de todos los recursos requeridos para su elaboración o adquisición. Dichos recursos se clasifican en elementos o componentes del costo (Aguirre, 2004).

De acuerdo con los modelos convencionales, el análisis económico de un proyecto productivo de carácter agrícola puede hacerse siguiendo los modelos convencionales para estimar costos de producción, costos de comercialización e ingresos de un proyecto productivo, en el cual se distinguen las siguientes clases de recursos y actividades.

Inversiones

La inversión se define como el valor total inicial de recursos productivos cuya vida útil es superior a un año. En las evaluaciones de proyectos de corto plazo, este valor total es llevado a costo anual para el análisis de resultado económico.

Las inversiones, una vez realizadas, entran en un proceso de devaluación, por lo cual deben ser amortizadas de acuerdo con la vida útil de cada componente de la inversión, de tal forma que pueda obtenerse el valor acumulado anual por efecto de depreciación de inversiones. Este valor de depreciaciones se constituye en un costo permanente, que debe ser adicionado a los costos fijos de producción.

Costos de producción

Al igual que en todo proceso de producción agrícola, los costos de producción están repartidos en costos fijos y en costos variables.

Costos fijos

El costo fijo es el costo de aquellos recursos cuyo uso no incide directamente en el volumen de producción obtenido. Están representados por aquellos costos en los que, una vez se inicia el proceso de producción, se incurre de forma permanente, independientemente del nivel de producción.

Costos variables

Un costo variable es el costo de los recursos cuyo uso se modifica de acuerdo a variaciones del volumen de producción, ya sean bienes o servicios. Es decir, si el nivel de actividad decrece, dichos costos decrecen, mientras que si el nivel de actividad aumenta, también lo hacen los costos. Un caso típico de costo variable son los fertilizantes, puesto que la fertilización está estrechamente relacionada con la productividad final del cultivo.

Todos aquellos costos que no son considerados variables, son fijos. Esta distinción es esencial para ser usada en las herramientas de decisiones basadas en costos.

Ingresos

El ingreso económico de un proyecto agrícola es una combinación de varios factores dentro de los cuales el principal es la productividad del cultivo, seguido por la distribución porcentual de los diferentes grados de clasificación del producto y, por supuesto, por el precio de venta para cada categoría de clasificación. Es decir, que es necesario lograr mayores volúmenes de producción para aquellos grados de clasificación que son mejor pagados por el mercado.

Otro mecanismo para obtener mayores ingresos es mediante la búsqueda de un valor agregado para el producto. Esto puede lograrse mediante la comercialización del producto en unidades de empaque; por ejemplo, bandejas en donde el producto se encuentra perfectamente homogeneizado en cuanto a calidad, color y tamaño.

Los precios unitarios de venta para cada categoría dependen en parte de la oferta y la demanda del producto en el mercado, pero también de la capacidad del productor

para lograr precios altos y estables principalmente a través de cadenas de supermercados.

Evaluación financiera

El análisis financiero se hace a partir de indicadores específicos que sirven para determinar la viabilidad económica del proyecto. Los indicadores usualmente más utilizados son el valor actualizado neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y la relación beneficio-costos (B/C).

El VAN es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en actualizar al momento presente, mediante una tasa de interés, todos los flujos de caja (gastos e ingresos) que se generarán con el proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto. El VAN se utiliza para estimar si la inversión es mejor que invertir en algo seguro, sin riesgo específico, como por ejemplo colocar el dinero en un banco a una tasa de interés determinada.

Si el VAN es mayor a cero (0), la inversión produciría ganancias y por tanto el proyecto puede aceptarse. Si el VAN es menor que cero (0), la inversión produciría pérdidas, y por ende el proyecto debería rechazarse. Si el VAN es igual que cero (0), la inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas.

La TIR es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para comparar la factibilidad de diferentes opciones de inversión. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida. Está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. Es decir, es la tasa con la cual se iguala el valor actualizado de los gastos con el valor futuro de los ingresos previstos.

La TIR se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello, la TIR calculada para el proyecto se compara con una tasa mínima de rentabilidad para una inversión de bajo riesgo, como por ejemplo un Certificado de Depósito a Término Fijo –CDT–. Si la tasa de rendimiento del proyecto, expresada por la TIR, supera a la tasa mínima de rentabilidad, se acepta la inversión; en caso contrario, se rechaza.

La relación B/C es el cociente de los ingresos (beneficios) recibidos actualizados y los costos totales (inversión, producción, impuestos, entre otros) actualizados a la fecha. Este cociente expresa el ingreso recibido por cada unidad monetaria invertida. Si la relación B/C es > 1 , el proyecto resulta viable.

Guía para el manejo de costos de producción en tomate

Los proyectos de producción agrícola deben manejarse como proyectos de inversión a mediano plazo. En el análisis económico de la producción de tomate bajo invernadero, se recomienda desarrollar un sistema organizado para el registro y análisis de los costos de inversión y de producción. Es aconsejable definir las especificaciones técnicas del proyecto como la base sobre la cual se elabora la estructura de costos.

Especificaciones técnicas

El primer paso para el correcto análisis económico es definir las especificaciones técnicas del proyecto en donde se consideran aspectos como el área del cultivo, densidad de siembra, duración total del ciclo productivo, semanas de producción, producción esperada por planta o por unidad de área, entre otros aspectos.

En la tabla 15 se presenta como ejemplo las especificaciones técnicas para un proyecto de producción de tomate en un área de 2.000 m².

Inversiones

El cultivo de tomate bajo invernadero requiere de altas inversiones que permitan garantizar las condiciones técnicas necesarias para un adecuado desarrollo del cultivo. En la tabla 16 se presentan las principales inversiones necesarias para la producción tecnificada del cultivo de tomate bajo invernadero. Una vez se comienza con la construcción y adecuación del invernadero, se debe simultáneamente contratar o comenzar la fase de producción de las plántulas para realizar el trasplante en el menor tiempo posible, después de tener listo el invernadero.

Tabla 15. Especificaciones técnicas para la producción de 2.000 m² de tomate bajo invernadero

Area del invernadero (m ²)	2.000	Corresponde al área total del invernadero
Densidad de siembra (plantas/m ²)	2,8	Es el número de plantas por metro cuadrado
Duración total del ciclo (semanas)	34	Corresponde a la duración total del ciclo de cultivo en semanas
Semanas de cosecha	20	Es el número de semanas durante las cuales es posible cosechar el producto
Plantas por ciclo	5.600	Se estima multiplicando el área del invernadero por la densidad de siembra.
Producción por planta (kg)	6,5	Es el supuesto de producción de tomate esperada por cada planta, para efectos de calcular los ingresos por venta del producto.
Producción total por ciclo (kg)	36.400	Se estima multiplicando el número de plantas por ciclo, por la producción por planta

Tabla 16. Principales inversiones para la producción de tomate bajo invernadero

Activo	Inversión total	Tiempo de amortización (años)	Amortización por ciclo	Costo de inversión por kg producido
Invernadero (estructura)		4 - 8		
Plástico		2 - 3		
Tutorado		4		
Bomba de riego		10		
Sistema de riego		5		
Canastas		3 - 6		
Adecuación de terreno		1		
Infraestructura administrativa		20		
Otras inversiones				
TOTAL INVERSIONES				

La tabla anterior debe utilizarse para que el productor en la segunda columna coloque los costos totales de cada componente de la inversión. Los tiempos de amortización para cada ítem son sugeridos y pueden variar según varios factores como el tipo de inversión, los materiales de construcción, el manejo y mantenimiento e incluso las condiciones ambientales.

El costo de amortización generalmente se calcula para períodos anuales, dividiendo el valor de la inversión por el tiempo de vida expresado en años. Sin embargo, en cultivos de tomate también puede expresarse para ciclos de producción. En este caso, debe dividirse el costo de la inversión en el número de ciclos de cultivo que es posible realizar durante la vida útil de la inversión.

Obsérvese que para calcular correctamente la amortización de las inversiones se recomienda separar la estructura del invernadero de la cubierta plástica, pues cada una tiene tiempos de amortización diferentes. En conjunto, la infraestructura de invernadero y la cubierta plástica que debe ser cambiada cada dos años representan las mayores inversiones, llegando a representar hasta un 13% de los costos totales de producción.

El costo de la inversión por cada kilogramo de tomate producido se calcula dividiendo el costo total de amortización por año o por ciclo de cultivo por la producción potencial estimada en las especificaciones técnicas.

Costos de producción

Según su facilidad para establecer el efecto directo que un gasto tiene en la productividad del cultivo, los costos de producción suelen separarse en costos fijos y costos variables.

Costos fijos

Aunque en la mayoría de los casos es fácil identificar si un gasto corresponde a un costo fijo o a un costo variable, en algunos casos esto genera confusión para el productor. Un caso típico es la mano de obra. Cuando la vinculación laboral es formal mediante un contrato de trabajo y prestaciones laborales, se considera como un gasto fijo, pues el productor incurre en una erogación fija independientemente del nivel de producción. Por el contrario, en

la modalidad de contratación mediante jornales, la mano de obra se puede considerar como un costo variable. Se estima que la mano de obra y la depreciación de las inversiones se constituyen en más del 70 % de los costos fijos para la producción de tomate bajo invernadero. En la tabla 17 se presentan los principales costos fijos para la producción de tomate bajo invernadero.

Téngase en cuenta que la depreciación de las inversiones debe manejarse como un costo fijo y por tanto debe incluirse en los costos fijos. Igualmente, en caso de que el productor esté respondiendo por un crédito bancario, el costo periódico de los gastos financieros debe llevarse a los costos fijos.

Costos variables

En la producción de tomate bajo invernadero, si la actividad decrece, se utilizan menos insumos por lo que su uso decrece. Cuando la actividad crece, son usados más insumos y por tanto el gasto aumenta. El material de propagación (semilla o plántula), los empaques, los fertilizantes y el transporte se constituyen en los principales costos variables para la producción de tomate bajo invernadero.

En la tabla 18 se describen los principales costos variables para la producción de tomate bajo invernadero.

Consolidación de costos de producción

Los costos de producción para un ciclo de cultivo están compuestos por la sumatoria de los costos fijos, los costos variables y los costos de amortización correspondientes a la depreciación de las inversiones.

La tabla 19 muestra cómo consolidar los costos de producción totales y por kg para un ciclo de cultivo de tomate bajo invernadero.

Ingresos

En tomate, el precio de venta está estrechamente relacionado con el tamaño (calibre) del fruto. Por lo general, cada mercado establece las categorías de clasificación y los precios de compra del producto. Por tanto, un correcto esti-

Tabla 17. Principales costos fijos para la producción de tomate bajo invernadero

Descripción	Costo por ciclo	Costo fijo por kg producido
Mano de obra		
Supervisor		
Obreros		
Factor prestacional		
Arriendo tierra		
Preparación suelo		
Energía y combustibles		
Impuesto predial		
Asesoría técnica		
Gastos administrativos		
Depreciación de inversiones		
Gastos financieros		
Gastos de mantenimiento (4%)		
Otros costos fijos		
TOTAL COSTOS FIJOS		

Tabla 18. Principales costos variables para la producción de tomate bajo invernadero

Descripción	Costo por ciclo	Costo variable por kg producido
Plántulas		
Transportes		
Empaques		
Fertilizantes		
Agroquímicos		
Acolchados plásticos		
Análisis de laboratorio		
Otros costos variables		
TOTAL COSTOS VARIABLES		

Tabla 19. Costos totales de producción para un ciclo de tomate en invernadero

Descripción	Costo total por ciclo (\$)	Costo total por kg producido (\$)
Amortización de inversiones		
Costos fijos		
Costos Variables		
TOTAL COSTOS		

mativo de ingresos por concepto de comercialización del producto se basa en determinar el porcentaje de la producción que corresponde a cada una de las categorías de clasificación del mismo.

Como guía para la estimación de ingresos, en la tabla 20 se presentan las categorías de clasificación del producto según normas internacionales, el porcentaje de producción para cada grado de clasificación, la producción total en kg, el precio estimado de comercialización y el ingreso por ciclo de cultivo para cada categoría de clasificación.

Para cada categoría de clasificación, la producción total se calcula multiplicando el potencial total de producción (estimado en las especificaciones técnicas) por el porcentaje esperado o cosechado en cada categoría.

El ingreso por ciclo en cada categoría de clasificación se estima multiplicando la producción total en kg por el precio de comercialización de cada categoría. El ingreso promedio por kg se obtiene al dividir el total de ingresos por

la producción potencial total, una vez descontado el porcentaje correspondiente a las pérdidas.

Evaluación financiera

Una vez estimadas las inversiones, los costos y los ingresos, se recomienda hacer un análisis financiero mediante indicadores que determinan la viabilidad del proyecto.

En la tabla 21 se presenta en forma resumida el balance del estudio económico de la producción de tomate bajo invernadero y los indicadores financieros que se utilizan para evaluar la factibilidad económica de la producción de tomate.

El cultivo de tomate bajo invernadero permite alcanzar altas rentabilidades, siempre y cuando se apoye en el uso oportuno de la tecnología y la asesoría técnica permanente para lograr no solamente altas producciones, sino también elevados porcentajes para los mejores grados de clasificación del tomate que son los mejor pagados por el mercado.

Tabla 20. Cálculo de ingresos en la producción de tomate en invernadero

Categoría	Calibre (mm)	Porcentaje cosechado	Producción total (kg)	Precio kg (\$)	Ingreso por ciclo (\$)	Ingreso promedio por kg (\$)
Calibre SG	>82					
Calibre G	72 - 81					
Calibre M	62 - 71					
Calibre MM	53 - 61					
Calibre P	46 - 52					
Pérdidas						
Total Ingresos		100 %				

Tabla 21. Balance del estudio económico de la producción de tomate en invernadero

	Total por ciclo	Total por kg producido
Inversión		
Gastos		
Costo fijo		
Costo variable		
Costo financiero		
Impuestos		
Ingresos		
Venta de productos		
Ingresos – Gastos (I – G)		
TIR		
Relación B/C		

Bibliografía

AGUIRRE, F. 2004. Sistema de costeo. «La asignación del costo total a productos y servicios». *Colección Estudios de Contaduría*. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

ESCOBAR, H., R. DE VIS Y A. COOMAN. 2000. «Análisis económico». En Escobar, H. y Lee, R. (eds.), *Producción de lechuga lisa bajo invernadero. Cuadernos del Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales*. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

ESCOBAR, H. 2003. *Análisis de costos para hortalizas ecológicas*. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.



11

Buenas prácticas agrícolas

Hugo Escobar

Qué son buenas prácticas agrícolas

En la medida en que aumentan las posibilidades de exportación de un producto hortícola o los requerimientos del mercado interno, también comienzan a surgir exigencias por parte de los mercados y consumidores que recibirán el producto.

Es creciente la preocupación de los consumidores por la inocuidad de los productos agrícolas. Esto ha ido forzando a los comercializadores a ejercer controles a sus proveedores sobre la calidad de los productos que ofrecen. Fruto de esos requerimientos han surgido diferentes guías o recomendaciones conocidas como Buenas Prácticas Agrícolas o BPA que deben ser adoptadas por los productores y que buscan brindar garantías para que todo producto vegetal para consumo en fresco no genere ningún tipo de riesgo para el consumidor. El concepto de buenas prácticas agrícolas surgió en Europa a mediados de la década de 1990 y han sido adoptadas por la mayoría de países en el mundo. De hecho, el protocolo de BPA más conocido es el protocolo EUREPGAP (Euro-Retailer Produce Working Group, por sus siglas en inglés) que nació en 1997 y luego de varias actualizaciones cambió su nombre a GLOBALGAP en 2007.

En síntesis, por BPA se entiende el conjunto de principios, normas, recomendaciones técnicas o cualquier otra acción encaminadas a reducir los riesgos de contaminación química, biológica o física involucrados en la producción primaria, la cosecha, el acopio, el procesamiento y el transporte de un producto agrícola para consumo en fresco, como frutas, hortalizas y hierbas, con el fin de ofrecer al consumidor productos de alta calidad e inocuidad, producidos con un mínimo impacto ambiental y respetando la salud, la higiene y el bienestar de los trabajadores.

Hasta ahora, la aplicación de este concepto sólo se ha hecho por la necesidad derivada de las exigencias impuestas por compradores de distintos países europeos, pero lo ideal sería que se realizara como una actividad permanente, ajustada a las condiciones sociales y culturales de cada país y manteniendo los estándares de calidad e inocuidad en los productos frescos que provienen de la agricultura.

Para Colombia, la primer norma técnica de BPA es la norma NTC 5400 de 2005, denominada “Buenas Prácticas Agrícolas para frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas”.

Estructura de las guías y protocolos BPA

Aunque para cada país y cada producto se están desarrollando permanentemente guías, normas o protocolos de BPA, en general todos ellos conservan una estructura similar.

Los principales elementos de una guía o norma BPA son los siguientes:

Aspectos técnicos

Evaluación de riesgos para la producción

Las nuevas versiones de los protocolos hacen cada vez más énfasis en que el productor debe realizar evaluaciones de riesgos para los procesos más susceptibles que puedan comprometer la inocuidad del producto. Por ejemplo, el uso de insumos para el control fitosanitario puede incrementar el residuo de un plaguicida en el producto cosechado —durante su recolección puede haber contamina-

ción biológica (virus, bacterias, etc.) por carencia de medidas de higiene del trabajador—, y en la clasificación y almacenamiento puede haber contaminación por la presencia de animales silvestres o domésticos en la zona de acopio. Aunque no es difícil su elaboración, los productores desconocen las metodologías para realizar estos análisis de riesgos y los consecuentes planes de acción correctivos. Se aconseja que el productor conjuntamente con la asistencia de un técnico elabore un formato con todas las etapas de manejo del cultivo, desde la preparación del terreno y la siembra hasta la comercialización del producto, con el fin de documentar cualquier posible riesgo de tipo físico, químico o biológico que pueda ocurrir en cada etapa productiva.

El material de propagación

La elección del material de propagación representa un papel importante en el proceso de producción. El uso de variedades correctas ayuda a reducir la cantidad de aplicaciones de fertilizantes y productos fitosanitarios. La elección del material de propagación es una condición previa para obtener un buen cultivo y un producto de calidad. Por ejemplo, si el productor adquiere el material de propagación a través de un vivero debe exigir al proveedor un certificado de calidad. Si el material es obtenido por el productor en la misma finca, debe haber evidencia de que se ha seguido un estricto control sobre la producción, lo cual se verifica con registros de monitoreo de plagas y enfermedades, registro de aplicación de productos fitosanitarios, análisis de laboratorio, etc.

El agua y el riego

El componente agua es fundamental en los protocolos de buenas prácticas agrícolas por ser el principal vehículo de contaminación para el producto y por ser un recurso cada vez menos disponible. Por ejemplo, se ha relacionado al agua como principal fuente de contaminación de la bacteria *Escherichia coli* 0157:H7, que puede ocasionar diarrea grave y dolores abdominales. También se han presentado brotes de otras bacterias como *Salmonella*, *Giardia* y *Cyclospora* en frutas y vegetales frescos, por uso de agua contaminada en el cultivo. Por otra parte, los productores deben estimar las cantidades de agua necesarias para el cultivo, asegurándose que hay disponibilidad para todo el

ciclo de cultivo. También se recomienda que el productor obtenga el agua de fuentes sostenibles y renovables.

El manejo de abonos y sustratos

Esta parte de la norma se ocupa de regular el uso y almacenamiento de fertilizantes orgánicos e inorgánicos. El uso de fertilizantes debe basarse en los requerimientos del cultivo y los contenidos de nutrientes en el suelo o sustrato, de tal manera que se realice una correcta aplicación a fin de evitar la pérdida y contaminación. Para ello, la recomendación de fertilizantes debe hacerse con base en los resultados de un análisis químico de suelo y solamente la puede hacer una persona con formación y competencia técnica como un técnico agrícola o un agrónomo.

Protección de cultivos y manejo seguro de productos fitosanitarios

Es el aspecto de mayor importancia en todos los protocolos BPA. Se ocupa del manejo seguro de plaguicidas promoviendo el manejo integrado de plagas mediante diferentes estrategias de control como las prácticas culturales, el control biológico y el uso correcto de agroquímicos. Entre las recomendaciones para el manejo seguro de agroquímicos están su almacenamiento en un sitio cerrado pero con buena ventilación, de estructura sólida y piso de un material no absorbente, en donde el acceso esté restringido únicamente a personas que han recibido capacitación en manejo seguro de plaguicidas. Las personas que los manipulan o aplican deben usar equipo de protección personal que incluye guantes, careta con filtro, gafas y overol que cubra todo el cuerpo.

De igual forma, la recomendación de productos fitosanitarios solamente puede hacerla una persona con formación y competencia técnica que acredite su idoneidad para hacerlo. Toda aplicación de productos fitosanitarios debe quedar registrada en un formato o cuaderno de campo y debe incluir como mínimo la siguiente información: fecha de aplicación, lote y cultivo, problema fitosanitario que se controló, nombre comercial, ingrediente activo y dosis de los productos utilizados para el control, cantidad de agua utilizada, nombre del operario(s) encargado(s) de la aplicación, máquina con la cual se hizo la aplicación y nombre y firma de la persona que hizo la recomendación.

Cosecha y poscosecha

Las frutas y hortalizas se deterioran con facilidad, especialmente a causa de la manipulación y las condiciones de almacenamiento. Durante la cosecha y poscosecha de frutas y hortalizas puede presentarse contaminación del producto principalmente por falta de higiene de las personas que lo manipulan, pero también debido al contacto del producto con herramientas de corte, canastillas de empaque, mesas de clasificación, etc. Por tanto, se recomienda que los productores elaboren un formato para evaluar los posibles riesgos de contaminación del producto durante la cosecha y poscosecha y que, según los resultados, elaboren un plan de acción preventivo y/o correctivo.

Aspectos sociales, medioambientales y capacitación

Salud, seguridad y bienestar laboral

Esta sección se ocupa de todas las acciones que se deben tomar para garantizar las condiciones mínimas de salud, seguridad y bienestar laboral de los trabajadores.

Las personas son la clave para una gestión eficiente y segura de la producción. El personal del establecimiento, el personal subcontratado, como también los propios productores, deben abogar por la calidad del producto y la protección del medioambiente. La educación y formación de estas personas ayudará en el progreso hacia la sostenibilidad y contribuirá al crecimiento del capital social. El objetivo de esta sección es asegurar que haya una práctica segura en el lugar de trabajo, y que todos los trabajadores comprendan y tengan la competencia necesaria para realizar sus tareas, que cuenten con equipamiento adecuado para trabajar de forma segura; y que en caso de accidentes puedan ser asistidos en tiempo y forma oportuna (GLOBALGAP, 2007).

Higiene

Las normas de higiene son fundamentales para el cumplimiento de cualquier norma BPA, puesto que la carencia de adecuadas medidas de higiene se constituye en uno de los mayores riesgos para la inocuidad del produc-

to, especialmente los de tipo microbiológico. Las principales medidas de higiene deben estar orientadas hacia las personas que manipulan el producto, siendo necesarias intensas y reiterativas jornadas de capacitación. Igualmente, es indispensable contar con las instalaciones adecuadas (servicios sanitarios) para poder seguir las recomendaciones de higiene. Un punto crítico que se suele encontrar en las fincas es la carencia de procedimientos establecidos para la higiene y desinfección de los equipos e instalaciones.

Manejo medioambiental

El productor debe tener una preocupación permanente sobre el impacto de su sistema de producción en el medio ambiente. Por tanto, se recomienda elaborar un plan de gestión y conservación del medioambiente que considere el impacto de sus actividades y en función de ello se elaboren planes de acción para evitar daños y deterioro de los hábitats y de ser posible incrementar la biodiversidad en el área de influencia de la explotación. Esto puede hacerse mediante un inventario de plantas y animales adquiriendo el compromiso de respetar e incrementar las áreas de conservación de la biodiversidad.

Capacitación

La capacitación requerida en normas BPA tiene varios niveles de acuerdo a las responsabilidades del personal dentro del proceso. El mayor énfasis en la capacitación se debe dar a las personas que tienen mayor contacto con el producto, tanto en producción como en manipulación del mismo. Las principales necesidades de capacitación y de las cuales se carece en muchas de las fincas son en manejo seguro de plaguicidas, en salud y primeros auxilios, en normas de higiene personal y en procedimientos a seguir en casos de emergencia. El productor debe mantener registros de la capacitación recibida por cada uno de los trabajadores de la finca.

Aspectos logísticos y administrativos

La implementación de algunos puntos de una norma BPA requiere también el apoyo logístico de la empresa proporcionando los medios y recursos que sean requeridos.

Trazabilidad

El rastreo o trazabilidad es la capacidad de averiguar la procedencia (productores, empacadores, entre otros) de productos alimentarios, incluyendo los productos frescos. La identificación del origen o procedencia del producto agrícola es fundamental para la protección de los consumidores y por tanto debe hacer parte de las políticas de calidad de la empresa. Aunque la sola identificación de la procedencia no puede por sí sola impedir el riesgo de contaminación microbiana, sí puede servir de complemento a las buenas prácticas agrícolas y administrativas que existen para evitar problemas de este tipo ya que pueden ayudar a identificar y corregir la fuente de peligro.

El diseño del sistema de trazabilidad comienza por la identificación de las parcelas y/o lotes de cultivo, de tal manera que a través de registros permanentes se puedan documentar todas las actividades relacionadas con la producción del cultivo generando códigos de identificación numérico para los productos agrícolas y el personal operativo con la finalidad de determinar las condiciones de manejo del producto desde su producción hasta la entrega al cliente final. Esta información debe almacenarse por un período de tiempo hasta de dos años y estar disponible para consulta en caso de que se requiera hacer seguimiento al manejo del producto en cualquier etapa de la cadena producción-comercialización.

Señalización

La señalización es una herramienta para identificar adecuadamente todas las áreas de cultivo e instalaciones relacionadas con la producción y manipulación del producto. Uno de sus objetivos es brindar información sobre las áreas o instalaciones de la finca, alertar sobre situaciones peligrosas, dar recomendaciones a los operarios sobre normas de higiene, informar sobre los procedimientos a seguir en caso de emergencia, etc. En general, la falta de señalización adecuada es una característica general de las fincas, pero su implementación es sencilla y de bajo costo.

Documentación y registros

Cuando se implementa cualquier norma de gestión de calidad como las BPA se requiere mantener evidencia, por lo

general escrita, de que los procedimientos necesarios para el cumplimiento de la norma se están ejecutando. La falta de disciplina para registrar todas las actividades relacionadas con el cultivo es una carencia muy común entre los productores. La mayor barrera es la falta de instructivos internos que describan los procedimientos y los responsables de llevarlos a cabo y también la falta de un sistema de registros o formatos en donde se pueda documentar el cumplimiento de los puntos de control. Se carece también de un sistema ordenado para almacenar la información generada.

Infraestructura y equipos

El criterio de cumplimiento de algunos puntos de control implica que en la finca se deben hacer algunas adecuaciones de infraestructura necesarias para el cumplimiento de algunos puntos. Los principales ajustes son la adecuación de bodegas que cumplan con los requisitos para el almacenamiento de fertilizantes y plaguicidas; de instalaciones sanitarias con retrete y lavamanos y disponibilidad de agua limpia, y el acondicionamiento de un sitio para la manipulación segura del producto cosechado.

Cómo implementar BPA en la producción de tomate bajo invernadero

La implementación de un protocolo de buenas prácticas agrícolas es un reto que requiere de un plan de acción estratégico basado en numerosas actividades simultáneas y debidamente articuladas. Los principales componentes de un plan de implementación de buenas prácticas agrícolas son:

1. Conocer e informarse sobre guías, normas o protocolos BPA y los esquemas de certificación

Hasta hace unos pocos años era todavía escasa la información a la que los productores podían acceder con respecto a las normas BPA y aplicación. Actualmente, cada vez es más fácil el acceso a la información y son frecuentes los seminarios de capacitación que sobre el tema ofrecen en el país empresas e instituciones del sector público y privado. La mayoría de la información regulatoria y procedimental para la implementación y certificación de las diferentes

normas y protocolos BPA se encuentran disponibles en internet. Por ejemplo, la norma GLOBALGAP puede consultarse en la página web www.globalgap.org.

2. Conocer específicamente la norma a implementar

De acuerdo con el mercado donde se pretende comercializar el producto, se debe seleccionar la norma de buenas prácticas agrícolas que cumpla con las exigencias de dicho mercado. El productor está obligado a conocer detalladamente como funciona la norma y el esquema de certificación.

En general, una norma BPA está compuesta por tres tipos de documentos. La regulación general que explica el ámbito de la norma, la norma propiamente dicha que en el protocolo GLOBALGAP se denomina "Puntos de control y criterios de cumplimiento" y la lista de verificación que se usa durante las auditorias para verificar el cumplimiento de cada punto de la norma.

El cuerpo principal de la norma (Puntos de control y criterios de cumplimiento) esta dividido en secciones o categorías que como se mencionó anteriormente cubren principalmente aspectos técnicos del sistema como por ejemplo la evaluación de riesgos para la producción, el manejo del material de propagación, el manejo del agua y el riego, el manejo de los fertilizantes y sustratos de siembra, el manejo seguro de productos fitosanitarios y la recolección y poscosecha del producto. Sin embargo, las normas BPA también se ocupan de aspectos sociales, medioambientales y de capacitación cómo la salud, la seguridad y el bienestar de los trabajadores, el manejo del medio ambiente y la higiene y también de aspectos logísticos y administrativos como la trazabilidad, la señalización y el mantenimiento de registros.

A su vez cada sección o categoría de una norma BPA está conformada por ítems comúnmente denominados "puntos de control" que indican el resultado al que se quiere llegar por ejemplo ¿Se mantienen registros de las actividades de capacitación de los trabajadores?, los cuales usualmente van acompañados de su respectivo "criterio de cumplimiento" por ejemplo "Existen registros de las actividades de capacitación que incluyen los temas tratados, el nom-

bre del ponente, la fecha y los participantes. Se debe poder comprobar la asistencia a la actividad de capacitación". Los criterios de cumplimiento sirven para indicar en qué momento se considera que el punto de control se cumple satisfactoriamente.

3. Implementar la norma en la finca o zona de producción

El cumplimiento de cada punto de control de la norma puede requerirle al productor una o varias acciones para su cumplimiento. Por ejemplo para el punto de control ¿cuenta la explotación con instrucciones documentadas relativas a higiene? Se necesita escribir un protocolo sobre cuales son las instrucciones de higiene estipuladas para la zona de producción, diseñar un formato para registrar las actividades de higiene, adecuar alguna infraestructura (servicios sanitarios) para que se puedan adoptar las medidas de higiene, hacer un análisis de laboratorio (ejemplo calidad del agua), adquirir o hacer mantenimiento de un equipo o herramienta, colocar señales indicativas en algún sitio, establecer actividades de capacitación en temas específicos de higiene, etc.

4. Certificarse

Por lo general, cada norma está sujeta a un esquema de certificación por parte de un organismo acreditado para ello. El productor debe documentarse plenamente sobre el funcionamiento del esquema de certificación para la norma seleccionada. Los costos de certificación son aquellos asociados al reconocimiento por parte de un organismo externo de los procedimientos adoptados en la finca para el cumplimiento de la norma.

Los costos de implementación del protocolo son indudablemente el principal factor que consideran los productores al momento de iniciar el proceso de certificación. Los costos que generalmente deben asumir los productores pueden separarse en dos categorías:

Costos de implementación

Consultoría: es un costo opcional porque en algunos casos el personal de la finca tiene el conocimiento suficien-

te para interpretar la norma y aplicarla. En caso de requerir consultoría el productor puede dirigirse a entidades de capacitación técnica como el SENA, a instituciones de investigación agropecuaria como CORPOICA y el Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales de la UJTL, a Centros de Desarrollo Tecnológico, al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a ASOHOFRUCOL y a otros gremios de la producción.

Infraestructura: el cumplimiento de algunos puntos de control puede requerir la construcción o adecuación de algún tipo infraestructura. Las adecuaciones más comunes son los servicios sanitarios (baño, lavamanos y ducha), los cuartos para el almacenamiento seguro de fertilizantes y pesticidas, y un sitio para el almacenamiento del producto cosechado. Con el fin de disminuir costos se recomienda que la inversión en infraestructura sea la apropiada para cumplir con los requerimientos de la norma pero sin sobredimensionarse en el tamaño ni en los acabados.

Equipos y utensilios: se refiere a elementos necesarios para el cumplimiento de algunos puntos de la norma como son las bombas de fumigación, equipos de riego y equipos de protección personal, balanzas y probetas para pesar y medir fertilizantes y productos fitosanitarios, entre otros.

Capacitación: a lo largo de proceso de implementación se requiere que el personal involucrado esté debidamente capacitado en el nivel que le corresponda.

Señalización: la mayoría de las señales requeridas se pueden elaborar en la misma finca con materiales económicos.

Análisis de laboratorio: aunque son varios los tipos de análisis requeridos (agua, suelos, residuos de pesticidas, etc.), estos deben hacerse al menos una vez al año.

Mantenimiento de equipos e infraestructura: son los costos relacionados con el mantenimiento técnico de equipos como maquinaria para aplicación de pesticidas y fertilizantes.

Costos de certificación

Los costos de certificación son aquellos asociados al reconocimiento por parte de un organismo externo de los procedimientos adoptados en la finca para el cumplimen-

to de la norma. Estos costos están representados básicamente por la inscripción ante un Organismo Certificador debidamente registrado y reconocido por el comité regulador de la norma y por los honorarios de la visita de auditoria para certificación y obtención del certificado. En las páginas web de los protocolos BPA como por ejemplo GLOBALGAP se puede encontrar un listado de los Organismos Certificadores de la norma en donde el productor puede establecer contacto directo con el más cercano a su sitio de producción y obtener una cotización sobre costos de certificación.

Recomendaciones generales para implementar una norma BPA

Para los productores que requieren aplicar una norma de buenas prácticas agrícolas en sus unidades productivas se formulan las siguientes recomendaciones.

- Asumir un compromiso decidido no solamente para la implementación de la norma sino para su funcionamiento permanente.
- Hacer un buen diagnóstico que permita interpretar adecuadamente las necesidades y la asignación de tareas al grupo de trabajo. Todas las tareas son priori-

tarias pero se deben comenzar primero las que más tiempo requieran para su aplicación como por ejemplo la adecuación de infraestructura, la evaluación de riesgos y el diseño de planes de acción correctivos y las actividades de capacitación entre otras.

- Asumir la implementación de las BPA como una actividad complementaria al manejo del sistema productivo y procurar que cada punto de control se cumpla de la manera más sencilla posible.
- Conformar un equipo de trabajo con un responsable de las buenas prácticas agrícolas en la finca.
- Establecer un cronograma de actividades y hacer seguimiento continuo.
- Disponer de una estructura administrativa básica que facilite la logística y los recursos físicos y financieros necesarios para la aplicación y funcionamiento de la norma.
- Vincularse con otros productores que también estén en proceso de implementar la norma para compartir experiencias y hacer actividades conjuntas como capacitación, manual de procedimientos, diseño de formatos de registro, etc.

Bibliografía

- ANGULO, R.; A. COOMAN Y H. ESCOBAR. 2006. «Buenas prácticas agrícolas». En *Lulo: el cultivo*. Bogotá: Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- ICONTEC. 2005. *Buenas prácticas agrícolas para frutas, hierbas aromáticas culinarias y hortalizas frescas*. Norma Técnica Colombiana NTC 5400. Bogotá: Icontec.
- ESCOBAR, H. 2005. *Experiencias en la implementación de buenas prácticas agrícolas en hierbas aromáticas en la*

Sabana de Bogotá. Memorias Hierbas aromáticas culinarias para exportación en fresco. Curso de extensión. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

GLOBAL GAP. 2007. «Puntos de control y criterios de cumplimiento. Aseguramiento integrado de fincas». *Módulo base para todo tipo de explotación agropecuaria*. Vol. 3. www.globalgap.org.

UBAQUE, H.; C.A. PARRADO. 2004. *Buenas prácticas agrícolas en sistemas de Producción de tomate bajo invernadero*. Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Anexos

Anexo 1

Listado de algunos híbridos de tomate indeterminado disponibles para cultivo bajo invernadero

Variedad	Tipo de fruto	Peso del fruto (g)	Resistencias*	Productor
Daniela	Achatado	120-180	F1, F2 y TMV.	Hazera Seeds
Syta	Redondo	250	ToMv, V, F1 y F2, TSWV	
Astona	Globoso, achatado	180-200	TMV, V, F1, F2, Fr, N, y tolerancia a blotchy	Nunhems Vegetables Seeds
Gloria	Globoso, achatado	180-200	TMV, F1 y F2	Nunhems Vegetables Seeds
Vitoria	Globoso y multilocular	270	F2, TMV y N.	Rogers - Syngenta
Charleston	Globoso y multilocular	230	V, F1, F2, TMV y N	Rogers - Syngenta
Sheila	Redondo	200-240	V, F1, F2, Fr, y TMV	Sakata Seed
Jennifer		200-250	V, F1, F2, ToMV, N	Sakata Seed
Alboran	Globoso y multilocular	160 -230	Verticillium, F1 y F2, C5, Fr, y ToMv	Rijk Zwaan
Bervely		170-190	ToMV, TSWV, V, F1, Fr, N, C y S	Rijk Zwaan
Trofeo 1123	Achatado	180-200	V, f1, f2, ToMv, N	Zeraim Gedera
Bonarda		180-200	V, F-1, F-2, ToMV, N y FCRR	Zeraim Gedera
Bravona		160-170	ToMV: F1, F2, Fr, TSWV	Western Seeds
Sofia	Redondos, semiachatados	230-250	V, F1, F2, N, ToMv	Seminis Vegetables Seeds
Miramar	Globoso	150-180	V, F1, F2 y TMv	Seminis Vegetables Seeds

*TMV= virus del mosaico del tabaco

C2 = *Cladosporium fulvum*, razas A y B

C5 = *Cladosporium fulvum*, razas A, B, C, D, y E

V = *Verticillium*

F1 = *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici* razas 1

F2 = *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici* razas 2

Fr = *Fusarium oxysporum* f. *radicis lycopersici*

N = Nemátodos

ToMv= ToMV = virus del mosaico del tomate

S = *Stemphylium solani*

Tswv= virus del bonceado del tomate

Anexo 2

Productos recomendados para el control químico de plagas y enfermedades en tomate

Productos para el control de plagas

Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Dimetoato	Organofosforados	Contacto / sistémico	II	500 cm ³ /ha	-	-
Clorpirifos	Organofosforados	Contacto, inhalación, ingestión	III	1l/ha	-	21
Clothianidin	Nitroguanidinas	contacto / sistémico	III	250 g/ha	6 h	3
Thiocyclam hidrogenoxalato	Nitroguanidinas	Ingestión, contacto / sistémico	III	300 g/ha	-	3
Clorpirifos	Organofosforado	Contacto, inhalación, ingestión	III	1 l/ha	-	21
Thiametoxam	Neonicotinoides	Contacto e ingestión / sistémico	II	0,3 g/l	6 h	3
Malathion	Organofosforado	Contacto e ingestión	III	2 l/ha	8 DSC*	7
Carbofuran	Carbamatos	Ingestión, contacto / sistémico	I	1,8 l/ha	1 h	45
Imidacloprid	Cloronicoides	Ingestión / sistémico	III	0,6-0,8 l/ha	-	14
Pyriproxifen	IGR	Ingestión / traslaminar	II	0,5 l/ha		
Carbofuran	Carbamatos	Ingestión, contacto / sistémico	I	1,8 l/ha	-	-
Spiromesifen	Cetoenoles ciclicos	Ingestión	III	150 ml/200 l	4 h	3
Diafentiuron	Tioureas	Contacto	III	1,0 l/ha	23 h	6
Imidacloprid	Cloronicoides	Contacto e ingestión	III	0,8-1,0 l/ha	24 h	21
Imidacloprid	Cloronicoides	Contacto e ingestión	II	0,6-0,8 l/ha	21 h	3

BIBLIOTECA GENERAL DE LA UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

Minador (*Lyriomiza sp.*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Dimetoato	Organofosforados	Contacto / sistémico	II	500 cm ³ /ha	-	-
Diazinon	Organofosforados	Contacto, inhalación, ingestión	II	0,8 l/ha	-	3
Metamidofos	Organofosforados	Contacto e ingestión/ sistémico	II	50-150 cc/100l	3 h	14
Dimetotao	Organofosforados	Ingestión, contacto / sistémico	II	500 cc/ha	-	-
Abamectina	Abamectinas	Contacto, ingestión / traslaminar	II	500-1000 cc/ha	-	3

Pasador del fruto (*Neoleucinodes elegantalis*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Metamidofos	Organofosforados	Contacto e ingestión	I	50-150 cc/100l	-	21
Diazinon	Organofosforados	Contacto, inhalación, ingestión	II	0,8 l/ha	-	3
Clorpirifos	Organofosforados	Contacto, inhalación, ingestión	III	2 l/ha	-	21
Tiametoxam	Neonicotinoides	Contacto, ingestión / traslaminar	II	600-700 g/ha	-	3
Methoxifenozone	Diacilidrazinas	Ingestión	III	100 cc/200 l	2 h	4h
Lambdacialotrina	Piretroides	Contacto e ingestión	III	0,3 l/ ha	-	5
Lufenuron	Benzoilureas	Contacto	III	0,5 l/ha	-	7

Cogollero (*Tuta absoluta*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Abamectina	Abamectinas	Contacto, ingestión / traslaminar	III	500-1000 cc/ha	-	3
Benzamida	Benzamida	Contacto	IV	180-300 cm ³ /ha	-	10
Beta ciflutrina	Piretroides	Contacto e ingestión	III	0.5 L/ha	-	3
Clorpirifos	Organofosforados	Contacto, inhalación, ingestión	III	1L/ha	-	21
Teflubenzuron	Benzoilureas	Contacto	IV	3-5 cc/bomba 20 L	-	7
Thiocyclam hidrogenoxalato	Nitroguanidinas	Ingestión, contacto / sistémico	III	0,5 g/l	-	3
Fentoato	Organofosforados	Contacto e ingestión	III	2,0-3,0 l/ha	-	-
Lufenuron	Benzoilureas	Contacto	III	0,2-0,5 l/ha	-	7
Cartap	Limonoides	Contacto e ingestión	III	0,48-0,6 kg/ha	12 h	-
Permetrina	Piretroides	Contacto	III	300 cc/ha	-	-
Clorfenapir	pirroles	Contacto e ingestión	II	0,6 cc/L	-	-
Spinosad	Naturalite	Ingestión	III	100-300 cc/ha	-	-
Thiocyclam hidrogenoxalato	Nitroguanidinas	Contacto	III	0,5 g/l	-	21
Metamidofos	Organofosforados	Contacto e ingestión	II	50-150 cc/100L	3 h	14
Indoxacarb	Oxadiazinas	Ingestión	III	200-400 cm ³ /ha	-	15
Bacillus thuringiensis var. Kurstaki		Ingestión	IV	1.0 cc/L	2 h	0

Ácaros (*Aculops lycopersici*, *Tetranychus urticae*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Abamectina	Abamectinas	Contacto, ingestión / traslaminar	II	500-1000 cc/ha	-	3
Propargite	Organosulfuros	Contacto, ingestión, inhalación	III	0,75-1 l/ha	-	-

Áfidos (*Macrosiphum euphorbiae*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Dimetotao	Organofosforados	Ingestión, contacto / sistémico	II	1.0 cc/l	-	15-21
Thiametoxam	Neonicotinoides	Contacto e ingestión / sistémico	II	0,3 g/l	6 h	7

Capador de la flor (*Prodioplosis longifila*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Tiametoxam	Neonicotinoides	Contacto, ingestión / traslaminar	II	600-700 g/ha	-	3

Pulguilla (*Epitrix sp.*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Beta ciflutrina	Piretroides	Contacto e ingestión	III	0,3-0,5 l/ha	-	3

Trips

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Tiametoxam	Neonicotinoides	Contacto, ingestión / traslaminar	II	600-700 g/ha	-	3

Productos para el control de enfermedades

Tizón tardío (*Alternaria solani*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Azoxystrobin	Strobilurin	Preventivo, curativo, erradicante	IV	75-100 g/ha	Al secarse	2
Captan	Ftalamida	Preventivo, contacto	II	2,5 g/l	24	
Clorothalonil	-	Protectante, preventivo	II	1,2-5,0 l/ha	-	-
Cymoxanil	Acetamidas	Preventivo	III	2 kg/ha	24	
Cymoxanil+Mancozeb	Acetamidas+Ditiocarbamato	Sistémico, preventivo	III	2,5 g/l	-	-
Cymoxanil+Oxicloruro de cobre	Acetamidas	Sistémico, contacto, preventivo	III	2,5 kg/ha	24	15
Difenoconazol	-	Protectante, curativo	III	0,25-0,5 l/ha	-	7
Difenoconazole	Triazoles	Sistémico, preventivo	III	0,25-0,5 l/ha	24 h	7
Famoxadone+Cymoxanil	Acetamida	Sistémico, preventivo, curativo	III	501 g/ha	24	28
Hidróxido cúprico	-	Contacto, protectante	III	1,5-2,8 kg/ha	-	-
Hidróxido cúprico	-	Contacto, protectante	III	1,5-2,25 kg/ha	-	-
Hidróxido de cobre	Inorgánico	Protectante	III	2,5- 4,0 kg/ha	-	7 a 10
Iprodione	Hidantoinas	Protectante	III	1,0-1,5 cc/l	4	-
Iprodione	Hidantoinas	Protectante	III	0,8-1,0 l/ha	24	
Mancozeb	Ditiocarbamato	Preventivo, contacto	III	1,75-2,5 g/l	-	14
Mancozeb+Oxicloruro de cobre	Ditiocarbamato	Preventivo	III	2-3 Kg/ha	-	-
Oxicloruro de cobre	-	Preventivo	III	3-4,5 kg/ha	-	-
Propineb	Ditiocarbamatos	-	III	2-3 g/L	-	7
Tebuconazol	IBE	Sistémico, preventivo, curativo	III	0,8 l/ha	-	7

Mancha foliar (*Cercospora lycopersici*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Carbendazim	Benzimidazol	Sistémico	III	0,3-0,36 cc/l	-	-
Carbendazim	Benzimidazol	Preventivo y curativo	III	60-120 g/200l		

Moho gris (*Botrytis cinerea*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Captan	Ftalamida	Protectante	II	2,5 g/l	-	-
Mancozeb	Ditiocarbamato	Preventivo, contacto	III	5 g/l	24	5 a 14
Captan	Ftalamida	Preventivo, contacto	II	2,5 g/l	24	
Carbendazim	Benzimidazol	Preventivo y curativo	III	60-120 g/200l		

Moho de la hoja (*Cladosporium sp.*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Mancozeb	Ditiocarbamato	Preventivo, contacto	III	5 g/l	24	5 a 14

Antracnosis del tomate (*Colletrotrichum sp.*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Mancozeb	Ditiocarbamato	Preventivo, contacto	III	2,25 g/l	24	5 a 14
Captan	Ftalamida	Preventivo, contacto	II	2,5 g/l	24	
Oxicloruro de cobre	-	Preventivo	III	3-4,5 kg/ha	-	-
Carbendazim	Benzimidazol	Preventivo y curativo	III	60-120 g/200l		

Marchitez vascular y pudrición de la raíz (*Fusarium sp.*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Carbendazim	Benzimidazol	Preventivo y curativo	III	60 - 120 g/200L		

Tizón temprano "Gota" (*Phytophthora infestans*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Propineb	Ditiocarbamatos	-	III	2-3 g/l	-	7
Captan	Ftalamida	Preventivo, contacto	II	2,5 g/l	24	
Clorotalonil	Fungicidas aromáticos - Benceno sustituido	Preventivo, contacto	I	0,3-0,375 kg/200l		8 a 15
Cymoxanil	Acetamidas	Preventivo	III	2 kg/ha	24	
Cymoxanil+Mancozeb	Acetamidas+Ditiocarbamato	Sistémico, preventivo	III	2,5 g/l	-	-
Cymoxanil+Oxicloruro de cobre	Acetamidas	Sistémico, contacto, preventivo	III	2,5 kg/ha	24	15
Famoxadone+Cymoxanil	Acetamida	Sistémico, preventivo, curativo	III	500 g/ha	24	28
Fenamidone - Mancozeb	Ditiocarbamato	Preventivo, curativo, contacto	III	1,5-2 kg/ha	4	14
Fosetil Aluminio+Mancozeb	Fosfonado+Ditiocarbamato	Sistémico, protectante, contacto	III	4 kg/ha	-	-
Hidroxido de cobre	Inorganico	Protectante	III	2,5-4,0 kg/ha	-	7 a 10
Ion zinc+ Etilenbisditiocarbamato de manganeso	Complejo polimerico de Ditiocarbamato	protectante	III	1,0-1,5 l/200l	-	7 a 10
Mancozeb	Ditiocarbamatos	Preventivo, contacto	III	2,5 kg/ha	-	14
Oxicloruro de cobre	Cupricos	Protectante	III	7,5-15 g/l	-	-
PROPAMOCARB-HCl + FENAMIDONE	carbamato +Derivado de las imidazolinonas	Preventivo y curativo	II	1,5-2,0 l/ha	4	-
Propineb	Ditiocarbamatos	Preventivo y curativo	IV	2,4-3,0 kg/ha		5 a 7

Roya del tomate (*Puccinia pittieriana*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Oxicloruro de cobre	Cupricos	Preventivo	III	300-500 g/100 l	-	-

Viruela del tomate (*Septoria lycopersici*)

Ingrediente activo	Grupo químico	Modo de acción	C.T	Dosis	P.R (horas)	P.C (días)
Mancozeb	Ditiocarbamato	Contacto	III	2,25 g/l	-	14
Oxicloruro de cobre	-	Preventivo	III	3-4,5 kg/ha	-	-
Captan	Ftalamida	Preventivo, contacto	II	2,5 g/l	24	

*DSC: después del secado total del cultivo

C.T: categoría toxicológica

P.R: período de reentrada al cultivo

P.C: Período de carencia (intervalo entre la aplicación y la cosecha)

LMR: límite máximo de residuos

Categorías toxicológicas

Cat. Tox.	Descripción	Color etiqueta
I	Extremadamente tóxico	Rojo
II	Altamente tóxico	Amarillo
III	Medianamente tóxico	Azul
IV	Ligeramente tóxico	Verde

Anexo 3

Virus más importantes del tomate

Nombre inglés	Abreviatura	Nombre español	Grupo	Transmisión
Alfalfa Mosaic Virus	AMV	Virus del mosaico de la alfalfa	- (único)	Áfidos (14 especies) <i>Myzus persicae</i>
Beet Curly Top Virus (syn.: Curly Top Virus)	BCTV (syn.: CTV)	Virus del ápice rizado de la remolacha	Geminivirus	Cidadélidos
Cucumber Mosaic Virus y variante CARNA 5	CMV y CARNA5	Virus del mosaico del pepino y su variante CARNA 5	Cucumovirus	Áfidos (>60 especies) <i>Aphis Gossypii</i> , <i>Myzus persicae</i>
Potato Virus X	PVX	Virus X de la papa	Potexvirus	Mecánico
Potato Virus Y	PVY	Virus Y de la papa	Potyvirus	Mecánico; Áfidos <i>Myzus persicae</i> ; Ácaros <i>Tetranychus urticae</i>
Tobacco Etch Virus	TEV		Potyvirus	Áfidos (>10 especies) <i>Myzus persicae</i>
Tomato Bushy Stunt Virus	TBSV	Virus del achaparrado peludo del tomate	Tombusvirus	Suelo, agua de riego
Tomato Double Virus Streak	ToMV y PVX	Doble ataque de virus, ToMV y PVX		Mecánico
Tomato Golden Mosaic Virus	TGMV		Geminivirus	Mosca blanca <i>Bemisia tabaci</i>
Tomato Infectious Chlorosis	TICV			Mosca blanca <i>Trialeurodes vaporariorum</i>
Tomato Mosaic Virus (Tobacco Mosaic virus)	ToMV (TMV)	Virus del mosaico del tomate	Tobamovirus	Semilla, mecánico
Tomato Mottle Virus	ToMoV	Virus del moteado del tomate		Mosca blanca <i>Bemisia argentifolii</i>
Tomato Spotted Wilt Virus	TSWV	Virus del bronceado del tomate	Tospovirus	<i>Trips Trips tabaci</i> , <i>Frankliniella occidentalis</i>
Tomato Torrado Virus	YoTV	Virus "torrado" del tomate		
Tomato Yellow Leaf Curl Virus (Syn.: Tomato Leaf Curl)	TYLCV	Virus de hoja cuchara del tomate	Geminivirus	Mosca blanca <i>Bemisia tabaci</i>
Tomato Yellow Top Virus	TYTV	Virus del amarilleo del ápice tomate	Luteovirus	Áfidos <i>Myzus persicae</i> , <i>Macrosiphum euphorbiae</i>

Fuente: JORDA, 1995, JONES *et al.*, 1991 y GABOR & WIEBE, 1997

Fotografías



Plántula de tomate **1**



2 Trasplante en surcos dobles

Yemas axilares (chupones) **3**

4 Sistema de tutorado





Planta bien enrollada
en la parte superior **5**



6 Descolgado de las plantas

Acolchado en tomate **7**



8 Sistema de riego por cinta





Canales para el cultivo hidropónico **9**



10 Invernadero tradicional (énfasis en cumbrera)

Mosca blanca **11**



12 *Encarsia formosa*





Pupas de mosca blanca parasitadas por *Encarsia* **13**



14 Larvas de *Tuta absoluta*

Adultos de *Tuta absoluta* **15**



16 Trampas tipo delta





Aplicación de *Trichogramma* 17



18 Adulto de *Neoleucinodes*

Feromonas para control de *Neoleucinodes* 19



20 Afidos





Araña roja *Tetranychus* 21



22 Acaro del bronceado del tomate

Capador del tomate
(*Melanagromyza socolena*) 23

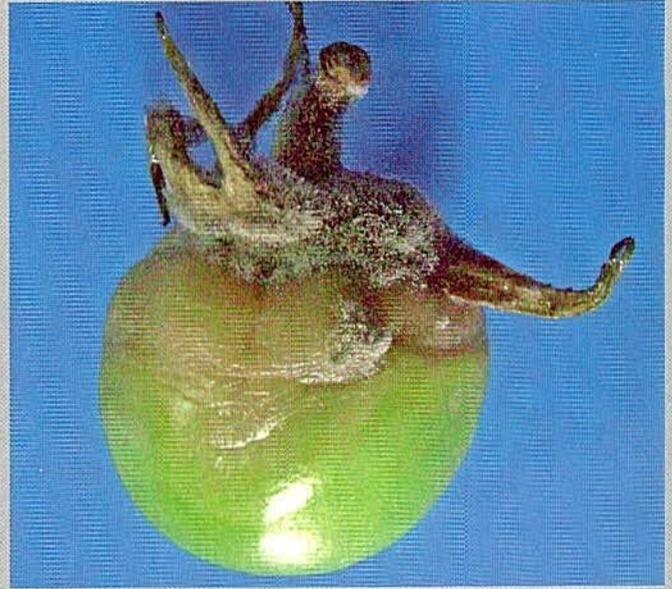


24 Daño en botones florales
por *Melanagromyza*





Goma (*Phytophthora infestans*) 25



26 Moho gris (*Botrytis cinerea*)

Mildeo polvoso 27



28 Marchitez (*Fusarium oxysporum*)





Alternaria solani 29

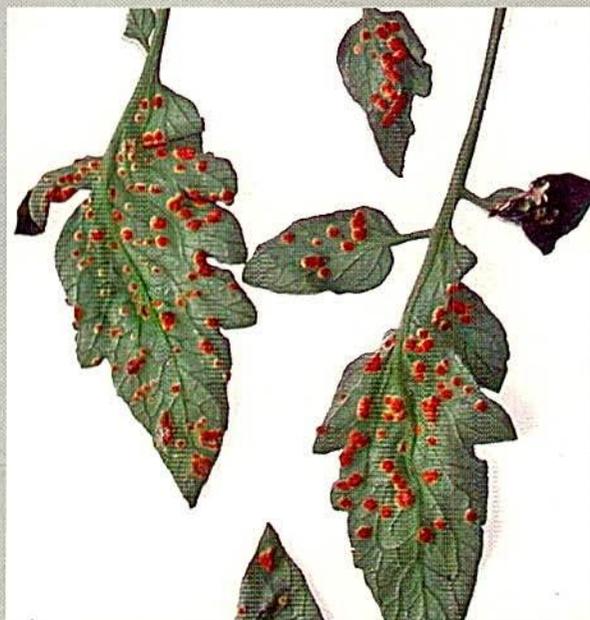


30 *Cladosporium (Fulvia fulva)*

Moho blanco
(Sclerotinia sclerotiorum) 31



32 **Roya del tomate**





Damping off **33**



34 Mancha foliar (*Stemphyllium*)

Marchitamiento bacterial (*Ralstonia solanacearum*) **35**

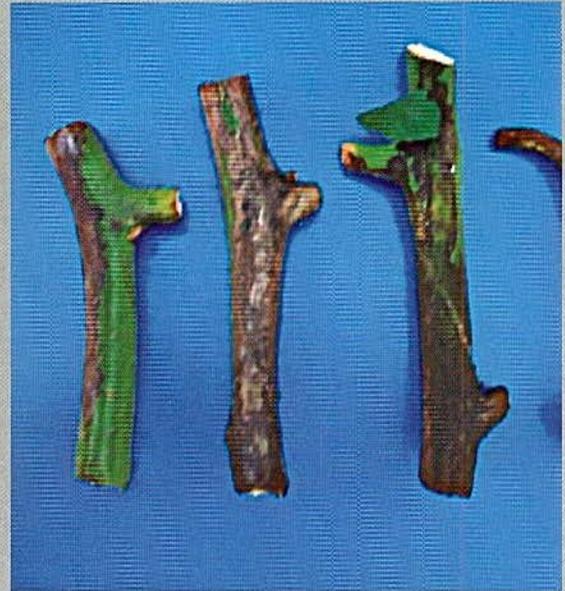


36 Mancha bacteriana (*Xanthomonas campestris*)



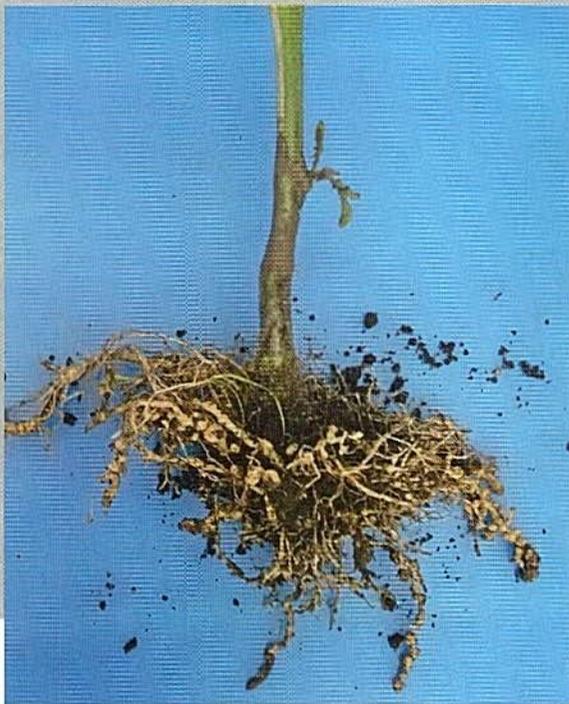


Peca bacteriana (37)
(Pseudomonas syringae)



38 Mancha necrótica del tallo
(Pseudomonas corrugata)

Nemátodos (39)
(Meloidogyne)



40 Virus del bronceado del
tomate





Acondicionamiento de la canasta para empaque



42 Tomate empacado
en bandeja