

EDITORES
HUGO ESCOBAR
REBECCA LEE



Manual de
Producción de
Tomate
Bajo Invernadero

EDITORES
HUGO ESCOBAR
REBECCA LEE

Manual de Producción de Tomate Bajo Invernadero



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO



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'M319º

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

© 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

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.





Generalidades del cultivo

1

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 anthesis (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

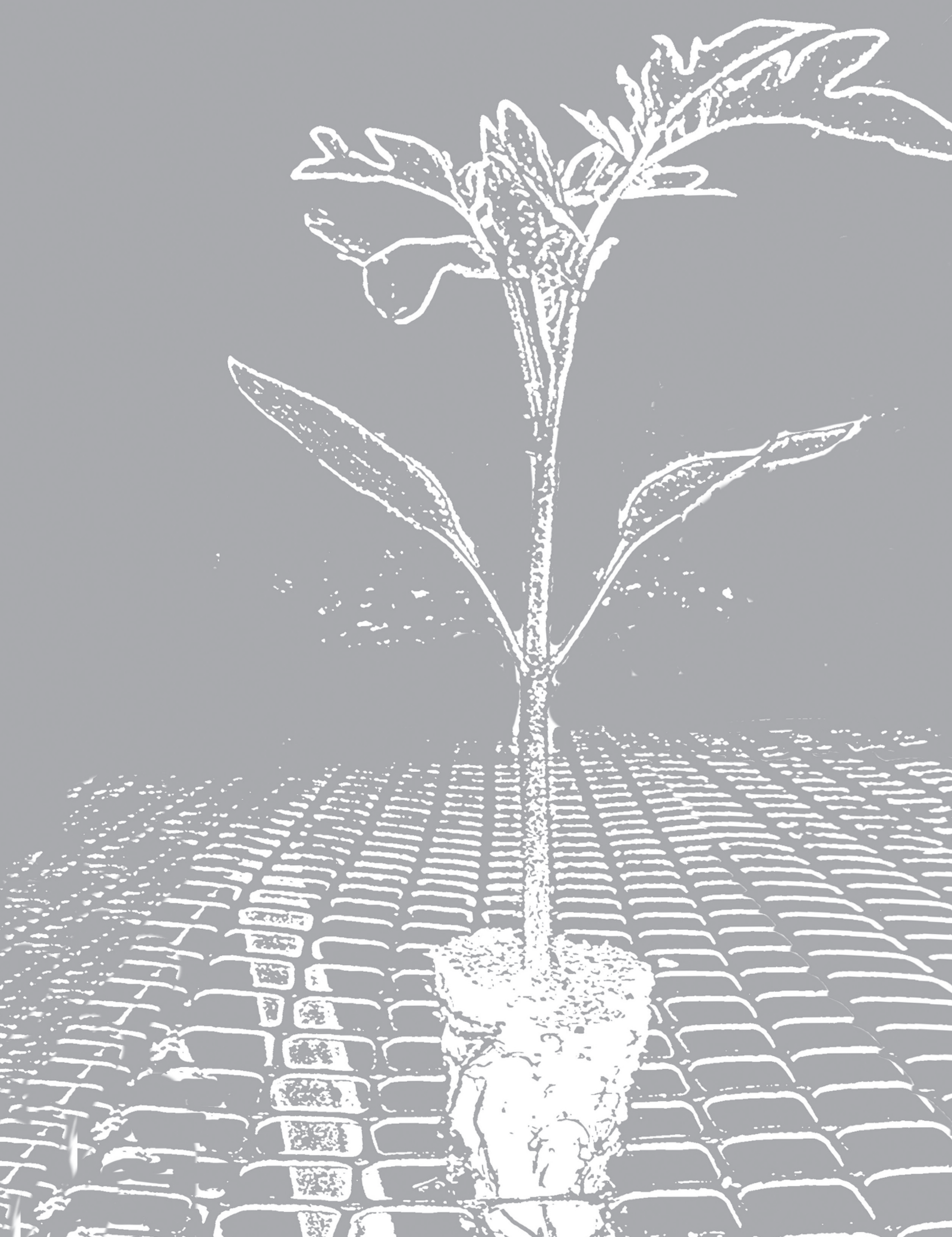
En términos sencillos, la fisiología es la forma como la planta de tomate funciona como respuesta a los factores ambientales y de manejo del cultivo. Por ejemplo, cuando se cultiva el tomate en invernadero el funcionamiento (crecimiento, formación de racimos florales, desarrollo de frutos, entre otros) 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 desórdenes 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 desatapar 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 plantales y semilleros. En *Plantales, semilleros, viveros*. Barcelona: Ediciones de horticultura.
- BERJÓN, M.A., P. NOGUERA, V. NOGUERA y L. SEGURA. 1999. «Los sustratos para el semillero hortícola». En *Plantales, 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 *Plantales, 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.





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 bajera 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. VENCIL 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. VENCIL, 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.



El Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales (CIAA) de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano fue creado en 1991 con la misión principal de estrechar la brecha existente en Colombia entre la generación, la transferencia y la adopción de tecnología hortofrutícola. Para el logro de este objetivo, el CIAA implementa modelos de gestión tecnológica en los que se incorporan los más recientes avances de la producción hortofrutícola, cuyos resultados se ponen al servicio de productores y empresarios a través de modelos de desarrollo productivo.

En la actualidad, el CIAA es un centro reconocido por sus aportes en el desarrollo e implementación de modelos agroproductivos intensivos y sostenibles en agricultura bajo cubierta; esquemas de producción y comercialización que innovaron la forma de presentar y vender productos hortícolas en los mercados nacionales (a través de la marca registrada EUROFRESH); y por la prestación de servicios tecnológicos confiables y oportunos para el subsector productivo y académico (plantulación de especies hortícolas, laboratorios de suelos, aguas, entomología y fitopatología y asesoría y capacitación).

El accionar del CIAA evidencia que este centro es una estrategia eficiente en innovación tecnológica, extensión y prestación de servicios, que lo convierten en un modelo de centro de desarrollo tecnológico. En la actualidad, el CIAA está fortaleciendo su equipo humano e infraestructura física con el objeto de consolidar los procesos de investigación e innovación y de esta forma seguir contribuyendo con la sostenibilidad económica y ambiental de la producción hortofrutícola de Colombia.

