

CAPÍTULO 5 III

MANEJO AGRONÓMICO

Jorge Eliecer Jaramillo Noreña¹
Germán David Sánchez León²
Viviana Patricia Rodríguez³
Miguel Ángel Zapata Cuartas⁴
Miryam Guzmán Arroyave⁵
Paula Andrea Aguilar Aguilar⁶

Para todas las labores que involucren manejo del cultivo es recomendable la asesoría de un asistente técnico profesional que complemente y adecúe las recomendaciones dadas en este manual, teniendo en cuenta los análisis respectivos (análisis de suelo, de aguas, foliares, etc.), las condiciones del cultivo y el manejo climático del invernadero.

► SEMILLEROS

Manejo y preparación de semilleros

En la producción de hortalizas la tendencia es adquirir las plántulas a productores especializados en propagación, cuyo costo es muy similar al que incurriría el productor normal al producir sus propios semilleros (ya que igual tendría que adecuar una infraestructura para ello) y además evita las pérdidas ocasionadas por un desconocimiento en el manejo y preparación de semilleros. En el caso de producir sus propias plántulas, es importante recordar que el semillero es el lugar de inicio de la vida productiva y reproductiva de una planta;

1. Ingeniero Agrónomo. MSc. Entomología. Investigador y coordinador Red Hortalizas CORPOICA C.I. La Selva. jejaramillo@corpoica.org.co

2. Ingeniero Agrónomo. Investigador CORPOICA C.I. Tibaitatá. gsanchez@corpoica.org.co

3. Ingeniera Agropecuaria. Profesional Asistente CORPOICA C.I. La Selva. vipar03@yahoo.es

4. Tecnólogo Agropecuaria. Auxiliar Técnico CORPOICA C.I. La Selva. miguelzapatac@gmail.com

5. Tecnóloga Agropecuaria. Auxiliar Técnico CORPOICA C.I. La Selva. mguzman@corpoica.org.co

6. Ingeniera Agropecuaria. Profesional Asistente CORPOICA C.I. La Selva. pagui18@gmail.com



este se debe hacer en recipientes (bandejas, vasos) debidamente adecuados para depositar las semillas y poder brindarles las condiciones óptimas de luz, temperatura, fertilidad y humedad, buscando obtener la mejor emergencia durante sus primeros estados de desarrollo hasta el trasplante al campo (Palacios 1992; Jaramillo *et al.*, 2006).

La producción de plántulas es un procedimiento de vital importancia para lograr el éxito en el cultivo, ya que el futuro de la planta, su crecimiento y producción de frutos son afectados por la calidad de la plántula que se lleve a campo (Zeidan, 2005).

Con el fin de asegurar una mejor germinación y pureza del semillero, se recomienda utilizar semilla certificada. Cuando se hace uso de semillas comerciales, es necesario conocer a través de su ficha técnica datos sobre la calidad en términos del nombre del híbrido o variedad, la pureza y el número de lote de donde provienen; las semillas tratadas son un componente de manejo de plagas y enfermedades que aportan en relación con la disminución de la cantidad de insumos utilizados en el sistema. Los productores preferiblemente deberán aplicar criterios de selección de semillas partiendo de pruebas de materiales (variedades o híbridos) realizadas en la zona o en centros de investigación.

Para seleccionar las semillas hay que tener en cuenta aspectos como clima, resistencias y características requeridas en la demanda del producto en poscosecha, entre otros (Parrado y Ubaque, 2004).

Como en los semilleros viven plantas jóvenes, cuyos tejidos tiernos efectúan una gran actividad fotosintética y son muy sensibles a los cambios bruscos de temperatura y humedad, estos deben estar ubicados donde se les pueda brindar los máximos cuidados, ya que las plántulas crecen con rapidez y cualquier alteración de las condiciones ambientales puede incidir en su desarrollo. Por tanto, lo más conveniente es ubicarlos bajo una cobertura plástica o invernadero, donde se controlen los cambios de temperatura, humedad relativa, agua lluvia, insectos plaga, enfermedades y la entrada de animales; deben estar además cerca a fuentes de agua, debido a que las semillas y plántulas requieren riegos cortos pero frecuentes, realizados preferiblemente por aspersión (Jaramillo *et al.*, 2006).

La zona de los semilleros debe ser iluminada y libre de sombras, evitando que esté cerca o debajo de árboles que impidan la entrada de la luz y que ocasionen daños por descargas fuertes de agua (Bruzón, 2000). Así mismo, los se-



milleros deben estar protegidos de vientos fuertes que puedan perjudicar las plántulas tumbándolas, torciéndolas o hiriéndolas con el polvo y arenilla que estos transportan (Figura 5.1). El viento excesivamente seco puede redundar en daños importantes por intensificar la transpiración hasta el extremo de producir deshidratación, quemaduras o marchitez.



Figura 5.1. Semillero bajo invernadero

Es necesario que los semilleros de producción comercial intensiva se ubiquen de oriente a occidente para que las plántulas reciban la máxima iluminación solar y no sean afectadas por los cambios bruscos de temperatura que se producen entre el día y la noche.

Teniendo en cuenta el alto costo de la semilla de hortalizas (y en especial la semilla híbrida de tomate), cuyos materiales de alta calidad son hoy exigidos por el consumidor y son los que siembra el productor, el método más utilizado para obtener plántulas sanas y vigorosas es a través de germinación de la semilla en bandejas plásticas en confinamiento. En el mercado de bandejas para semilleros existe una amplia gama de recipientes para la producción de plántulas. En la actualidad las más utilizadas son las de polipropileno, en las cuales su tamaño y número de celdas varía de acuerdo con el fabricante.

Para la producción de plántulas de tomate se recomiendan bandejas de 53, 128 y 200 alvéolos, con un volumen por celda de 37, 28 y 18 cm³. Las bandejas de 53 orificios permiten un mayor desarrollo radicular y del follaje; sin embargo, incrementan los costos por plántula, por requerir mayores cantidades de sustra-



to por celda (Figura 5.2). La selección del tipo de bandeja a utilizar dependerá del tamaño final deseado de la plántula, del costo de la bandeja y del tipo y costo del sustrato (Jaramillo, 2001; Jaramillo *et al.*, 2006).



Figura 5.2. Bandejas para semilleros de 53 orificios

Ventajas de la siembra de semilleros en bandejas de confinamiento

- **Ahorro de semillas:** en un semillero tradicional se requiere utilizar por lo menos un 30% más de semilla de la que se va a sembrar en campo, con el propósito de obviar las pérdidas causadas por mala germinación y calidad de las plántulas.
- **Mejor planificación de siembras:** conociendo la cantidad exacta de semillas a sembrar y de plántulas a trasplantar se permite una mayor planificación de las siembras en campo.
- **Desarrollo uniforme:** debido a que la densidad de siembra es constante, se obtiene un desarrollo uniforme de la plántula para su siembra en el campo. Generalmente cada plántula recibe la misma cantidad de sustrato, agua, luz y nutrientes, y su raíz solamente puede crecer en el alvéolo que le correspondió.
- **Calidad de plántulas:** cada planta puede alcanzar un excelente desarrollo de raíces principales y secundarias, ya que cada una tiene su propio espacio de crecimiento sin necesidad de estar compitiendo con las demás (Figura 5.3).





Figura 5.3. Plántulas de tomate en semillero

- **Desarrollo radicular dirigido:** en el caso de las bandejas de 53 alvéolos, las cinco (5) venas verticales en cada cono permiten un excelente desarrollo radicular con bastantes raicillas secundarias sin espirulamiento. Las raíces al chocar con las venas del cono se dirigen hacia abajo siguiendo paralelamente la vena hasta el final del cono o tubete; este comportamiento de la raíz evita que la plántula se ahorque entre sus raíces. A su vez, esta raíz con desarrollo vertical sujeta y ancla muy bien la plántula al trasplantarse a campo (Figura 5.4).

- **Poda natural y control de malezas:** al colocar los semilleros sobre una cama de alambres se evita que los conos toquen el suelo y frenen el crecimiento de la plántula entrando en una especie de hibernación, lo que permite tener una poda natural, excelente drenaje y no se requiere del control de malezas. De esta manera, se tiene disponibilidad permanente del material de siembra y se incrementa la vida útil de las plántulas, las cuales pueden permanecer almacenadas en los semilleros por un periodo prolongado hasta el momento indicado



Figura 5.4. Plántula de tomate con un correcto desarrollo de raíces



del trasplante. Las plántulas producidas son de tallos más gruesos y fuertes; hojas frondosas, de mayor tamaño y por ende menos propensas al ataque de enfermedades y plagas.

- **Ahorro de área de vivero:** la utilización de bandejas permite utilizar menos el área de vivero, reduciendo los costos de riego debido a que se dejan organizar más fácilmente en los surcos y con la ventaja de tener más plántulas/m².
- **Ahorro de sustrato:** la cantidad de sustrato necesario para el llenado de bandejas es muy inferior comparado con el requerido en los semilleros tradicionales; igualmente, la cantidad de sustratos a desinfectar es menor. El llenado es fácil y rápido por su diseño compacto y rígido.
- **Fácil remoción:** por su diseño en cono es muy fácil de extraer la plántula en el campo al momento del trasplante o siembra final, evitando la destrucción de raíces, lo que disminuye el porcentaje de mortalidad de plantas en el campo.
- **Higiénicos y esterilizables:** las bandejas pueden y deben ser desinfectadas con una solución diluida de hipoclorito de sodio al 5% para evitar el contagio de hongos y bacterias.
- **Aumento en la rotación del cultivo y de áreas en campo:** teniendo en cuenta la calidad y excelente desarrollo de las plántulas, así como la no destrucción de raíces, al momento del trasplante la plántula se desarrolla más rápidamente en campo debido a que no tiene que entrar a sustituir sus raíces perdidas, lo que acelera su crecimiento y disminuye su ciclo vegetativo en campo. Esto se ve reflejado en una mayor utilidad y productividad del cultivo, además de ahorro de energía y nutrientes del mismo (Jaramillo, 2001).

Tipos de sustratos

En condiciones protegidas, los semilleros se pueden hacer con suelo, sustratos orgánicos, sustratos artificiales o con una mezcla apropiada de estos. Siempre se debe lograr un sustrato con características físicas, químicas y biológicas adecuadas, que faciliten la germinación (Avidan, 2004).

Teniendo en cuenta que el tamaño de las semillas de tomate es reducido, las cualidades del sustrato son definitivas para garantizar un adecuado contacto entre este y las semillas, y por lo tanto, una adecuada absorción de agua y nutrientes. Cuando el suelo a utilizar en la producción de plántulas presenta con-



diciones inadecuadas como deficiencias de nutrientes, mal drenaje, poca retención de humedad, textura poco favorable para el desarrollo y funcionamiento de las raíces o presencia de plagas o enfermedades, es frecuente reemplazarlo por sustratos de origen diverso, que en alguna o en todas las fases de un cultivo permiten superar condiciones limitantes y acercar el sistema radicular de la planta completa a una situación óptima para satisfacer sus requerimientos hídricos y nutricionales (Jaramillo, 2001).

Los sustratos son materiales orgánicos o inorgánicos usados como soporte en semilleros o en cultivos; pueden ser de origen industrial, mineral o agropecuario y generalmente se emplean en mezclas buscando reemplazar el suelo para evitar los problemas físicos, químicos y/o biológicos (sanitarios) que este pueda presentar en la germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas. Pueden estar compuestos por elementos naturales o modificados por reacciones físicas y químicas; también pueden ser totalmente inertes o tener actividad química (Avidan, 2004). El pH del suelo o sustrato debe estar entre 5,5 y 6,8 (valores superiores o inferiores a estos disminuyen la disponibilidad de algunos nutrientes y afectan la actividad de microorganismos importantes en el suelo como las micorrizas y las bacterias noduladoras). Un suelo ácido puede corregirse agregando cal, y su cantidad varía dependiendo del análisis químico. Para suelos alcalinos se emplea el yeso o azufre, y la adición abundante de materia orgánica. Es recomendable que el contenido de materia orgánica esté por encima del 3% (Jaramillo, 2001).

Características de los sustratos

Químicamente el sustrato debe contener una fertilidad apropiada y disponible, teniendo especial atención en los contenidos excesivos de sales y las sustancias tóxicas como herbicidas o residuos vegetales con alelopatías. Cuando se utilizan inertes o inactivos como la turba, se debe nutrir a través del fertirriego o mezclando nutrientes orgánicos o inorgánicos a la mezcla (Jaramillo, 2001).

No hay un sustrato ideal que cubra absolutamente las exigencias de las plántulas, pero se pueden diseñar mezclas artificiales que incluyan materiales abundantes de bajo costo, fácil consecución y de buena calidad.

Propiedades físicas. Las propiedades físicas constituyen el conjunto de características que describen el comportamiento del sustrato en relación con su porosidad, que ha de determinar las fracciones sólida, líquida y gaseosa del mismo y por tanto las cantidades de agua y aire de las que va a disponer la planta. Por con-



siguiente, de dichas características dependen tanto la alimentación de la planta como la respiración radicular y todos los procesos afectados por ellas. Para la definición y determinación de estas propiedades es extremadamente importante establecer métodos normalizados, sin ellos es muy difícil cuantificar la calidad de los sustratos y prever tanto sus aplicaciones como su comportamiento.

Una vez que el sustrato ha sido ocupado por las raíces dentro de un contenedor, no es posible modificar sus propiedades físicas si el medio es inadecuado para la vida de los órganos subterráneos de la planta. Este es un asunto importante que solo se resuelve a priori tomando la elección acertada (Martínez, 2001). Las siguientes son las propiedades físicas más importantes que debe tener un sustrato:

- Elevada capacidad de retención de agua. Mantener un volumen de agua fácilmente disponible mayor al 20% después de saturar el sustrato y drenarlo.
- Suficiente suministro de aire. Porosidad entendida como el volumen total del medio no ocupado por partículas sólidas superior al 85%.
- Distribución del tamaño de las partículas que posibilite las dos condiciones precedentes. Granulometría de 0,25 a 2,5 mm de índice de grosor, entendido como el porcentaje de partículas con diámetro superior a 1 mm (30 - 45%).
- Baja densidad aparente, sólido + espacio poroso, inferior a 0,2 gr/cc. Densidad Real: solo material sólido 1,4 a 2 gr/cc (tiene que ser un material liviano con alto porcentaje de espacio poroso (>80%) y un volumen de aire a capacidad de campo mayor al 20%).
- Elevada porosidad.
- Contar con un buen drenaje y capacidad de infiltración.
- Estructura estable que impida la contracción o hinchazón (Franco, 2001).

Propiedades químicas. Se distinguen dos tipos de materiales: los químicamente activos, en los que tienen lugar intercambios de minerales entre el sustrato y la solución (los sustratos que llevan componentes orgánicos en los que las sustancias húmicas tienden a retener cationes de la solución) y los materiales inertes desde el punto de vista de su actividad química, lo que significa que los intercambios de materia entre las fases sólida y líquida deben ser nulos o muy reducidos; la inactividad química del sustrato garantiza que la solución nutriente no sea alterada por el mismo en su equilibrio iónico, razón por la que estos materiales son empleados para el cultivo hidropónico (Martínez, 2001).



Las siguientes son las propiedades químicas más importantes que debe tener un sustrato:

- Baja o suficiente capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de la fertilización que se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente. Cuando no se aplica fertirrigación de forma constante es importante que sea >20 meq/100 gr.
- Suficiente nivel de nutrientes asimilables, a no ser que se desee contar con un sustrato inerte.
- Baja salinidad. Conductibilidad eléctrica de 0,15 y 0,5 dS/m.
- Elevada capacidad tampón: retener o soltar protones.
- pH ligeramente ácido: 5,3 - 6,5. pH < 5 : deficiencias de N, K, y Ca. pH > 6 : desciende la asimilabilidad de Fe, P, Mn, B, Zn y Cu.
- Mínima velocidad de descomposición y la posibilidad de reutilización (en cultivos).
- Relación carbono / nitrógeno indica el grado de madurez y estabilidad 20 - 40.

Otras propiedades son:

- Libres de semillas de malas hierbas, nematodos, hongos, otros patógenos, insectos y sustancias fitotóxicas.
- Reproducibilidad y disponibilidad del material en el mercado.
- Bajo costo del precio del material y de la preparación.
- Fácil de desinfectar y estable frente a los procesos de desinfección.
- Resistencia a cambios extremos físicos, químicos y ambientales (Franco, 2001).

Propiedades mecánicas. El material debe mantener su estructura estable a lo largo del cultivo sin degradarse, pero al mismo tiempo es preferible que no sea arestado y pueda lesionar las raíces. Un material excesivamente frágil puede fragmentarse en partículas finas que reducirán la porosidad y la capacidad de aireación, sobre todo en las capas del fondo del contenedor; esto limitará la supervivencia de las raíces en las zonas afectadas, disminuyendo el volumen aprovechable de sustrato (Martínez, 2001).

La posibilidad de aprovechar como sustrato hortícola la diversidad de materiales disponibles en nuestro entorno está supeditada a un buen conocimiento de sus propiedades, ya que a partir de esto es posible saber el tipo de preparación que requiere previo a su uso, sus aplicaciones y las técnicas de manejo pertinentes.



Es necesario también tener en cuenta el contenido de nutrientes y algunas características químicas del sustrato que puedan afectar el buen desarrollo de las plántulas, por lo que el análisis fisicoquímico del suelo o sustrato es una herramienta valiosa para conocer su composición.

En semilleros bajo invernadero que no utilizan sustratos artificiales para mejorar las condiciones físicas del suelo, especialmente la porosidad, se recomienda hacer una mezcla cuya proporción dependa de las características del terreno y del nivel de fertilidad de este. En general, se recomienda la mezcla con 4:2:1 –cuatro partes de tierra, dos partes de materia orgánica y una parte de arena–; esta mezcla puede utilizarse tanto para semilleros a campo abierto a ras de piso, como para la producción de plántulas en confinamiento.

Si con esta mezcla se presenta compactación, mala aireación y no se permite el drenaje del agua, es necesario aumentar la proporción de arena. Otra mezcla que puede utilizarse es 35% de humus de lombriz y 65% de cascarilla de arroz (Jaramillo *et al.*, 2006). No obstante, la característica más importante de un sustrato de plántulas, además que sea rico en materia orgánica, es que debe proporcionar mayor aireación, ser liviano y que no cause compactación en la bandeja (Shany, 2007).

Por otra parte, para favorecer un adecuado desarrollo de raíces se recomienda la aplicación de un fertilizante rico en fósforo tipo roca fosfórica (Fosforita Huila) o superfosfato triple, los cuales deben incorporarse homogéneamente a la mezcla antes de iniciar el proceso de desinfección del suelo por el método de la solarización, garantizando de esta manera un adecuado nivel de fertilidad durante el proceso de enraizamiento (Jaramillo *et al.*, 2006).

Los sustratos más utilizados son:

Sustratos orgánicos

- **Compost**

Son residuos orgánicos de estructura fina y descompuesta, como excrementos de animales, residuos de plantas, etc. (Figura 5.5). Físicamente aumentan la aireación y el contenido de humedad, y químicamente absorben los nutrientes evitando su lavado (nitrógeno y potasio) y liberando lentamente la solución en forma de nutrientes. Deben contener entre 35% y 50% de materia orgánica con relación al peso volumétrico, y se emplean en mezcla con sustratos inactivos o inorgánicos como la turba, la perlita, la fibra de coco o la cascarilla de arroz.





Figura 5.5. Compostaje de residuos de cultivo

El compost adicionado a la turba proporciona una mayor aireación y reduce la retención de agua de la misma; así mismo, se ha comprobado que tiene efectos supresores a través de los organismos antagonistas que se desarrollan en él. Las altas temperaturas que se alcanzan durante el proceso del compostaje eliminan la mayor parte de las malas hierbas y otros microorganismos dañinos.

En el caso de la utilización de un compost como sustrato se puede utilizar como base la siguiente mezcla:

Compost	68,00 %
Gallinaza compostada	14,00 %
Arena	17,53 %
Cal dolomítica	0,09 %
Fosforita Huila	0,19 %
Superfosfato triple	0,19 %
Total	100,00 %

Aunque no hay un sustrato ideal que cubra absolutamente las exigencias de las plántulas, pueden diseñarse mezclas artificiales que incluyan materiales abundantes de bajo costo, fácil consecución y buena calidad. Para lograrlo se deben considerar las cualidades de los diferentes sustratos:

- **Humus**

Resulta de los excrementos de lombrices (*Eisenia foetida*) después de digerir residuos vegetales o excrementos animales fermentados, luego se seca y se pasa a través de un tamiz para obtener una buena textura. Sirve de fertilizante y reemplaza el compost, al tiempo que ofrece muy buenas características químicas.



- **Cascarilla de arroz**

Sustrato orgánico de baja descomposición por su alto contenido de sílice que aumenta la tolerancia de las plantas contra insectos y organismos patógenos. Se debe usar en mezcla y hasta en un 30%. Favorece el buen drenaje y la aireación, presenta baja retención de la humedad y baja capilaridad. Para evitar el “enmalezamiento” del semillero es necesario hacer germinar previamente las semillas de arroz y otras plantas que siempre contiene mediante el humedecimiento; igualmente, se requiere realizar pruebas previas de germinación de semillas para verificar que no haya presencia de residuos de herbicidas en ella (Palacios, 1992).

- **Fibra de coco**

Sustrato bajo en su contenido de nitrógeno y alto en potasio; contiene cerca de 2 ppm de boro y debe llevarse hasta 0,2 ppm para utilizarlo en hortalizas, que son muy sensibles al exceso de boro, lo que exige lavado previo (Avidan, 2004). Adecuándolo es una buena alternativa para países como el nuestro, donde abunda esta planta (especialmente en la costa Atlántica) y por los altos costos de los otros sustratos importados como la turba. Es el sustrato que más ha aumentado su uso en la producción de plántulas.

- **Aserrín**

Tiene un pH ácido y, dependiendo del tipo de árbol del cual provenga, puede ser tóxico para algunas plantas; por lo tanto, debe probarse antes de usarlo en cada especie hortícola.

- **Turba**

Las turbas son los sustratos orgánicos naturales de uso más generalizado en horticultura. Son resultado de la descomposición completa de árboles (especialmente del género *Sphagnum*) y se producen en países de las zonas templadas como Canadá, Alemania, Finlandia, Suiza, Irlanda y Rusia, entre otros, variando según su edad y su origen (Figura 5.6) (Palacios, 1992).

Se encuentran dos tipos de turbas: las poco descompuestas, que son materiales de reacción ácida, pobres en minerales (por estar muy lavadas, debido a su origen de zonas altas de precipitaciones abundantes) y que conservan parcialmente su estructura y un buen equilibrio entre agua y aire después del riego; y las turbas muy descompuestas, llamadas turbas negras, sin estructura, con frecuencia muy salinas y que presentan menor aireación que las anteriores, siendo apropiadas para mezclas con materiales que mejoren sus propiedades deficientes.





Figura 5.6. Bandejas llenas con turba

Las turbas ofrecen las mejores condiciones para la germinación y el enraizamiento en semilleros pero no aportan nutrientes, tienen alta capacidad de intercambio de cationes y de retención de humedad y un alto grado de porosidad; aunque son ácidas (pH entre 3,5 y 4,5), en el mercado se encuentran turbas con pH corregido (5,5 - 6,5) y un contenido de materia orgánica de 95%.

El conjunto de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (presencia de hormonas y sustancias húmicas) es la causa de su amplia difusión en el cultivo de plantas en sustrato. Su empleo se extiende tanto a la producción de plántulas en semilleros como al cultivo de plántulas en contenedores, y de la misma forma al cultivo sin suelo en general; sin embargo, su uso está siendo revaluado debido al impacto medioambiental que implica, ya que este es un material natural no renovable y es importado al país con un alto costo.

Sustratos minerales

- **Arena y grava**

La arena, de granulometría comprendida entre 0,2 y 2 mm, y la grava entre 2 y 20 mm, tienen composición y propiedades dependientes de su material de origen. Para su empleo en horticultura se recomienda atender a dos aspectos: su contenido de carbonato cálcico total no superior al 10% y su distribución granulométrica, debido al efecto de la misma sobre la disponibilidad de agua y aire. Desde este punto de vista, se recomienda emplear arena de grano entre 0,5 y 2 mm, que tiene buena porosidad aun cuando su retención hídrica es pequeña.



Las granulometrías inferiores a 0,5 mm son peligrosas por el riesgo de asfixia radicular que entrañan, y las superiores a 5 mm no retienen agua, lo que obliga a un rígido control o supervisión de la frecuencia del riego.

Las arenas y arcillas que no contienen carbonato cálcico tienen una Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) inferior a 5 meq/100 g, pero es conveniente someterlas a un lavado ácido antes del cultivo para eliminar contenidos minerales que pueden liberarse lentamente de modo incontrolado. Las que sí contienen carbonato cálcico poseen reacción química y es preferible desecharlas.

Entre las ventajas más importantes de las arenas y gravas se encuentran su bajo costo, su estabilidad estructural, facilidad de limpieza y de tratamiento desinfectante, y la inactividad química en el caso de materiales no calcáreos; entre sus inconvenientes están su alta densidad (que dificulta su manejo) y su baja retención de agua.

- **Rocas volcánicas**

Según su origen tienen características diversas. Conviene distinguir algunos grupos que han sido más estudiados en aplicación hortícola y que difieren en sus propiedades más importantes, como lo son las zeolitas y las puzolanas, aun cuando todos los grupos son ricos en minerales. Las zeolitas son silicatos hidratados, cristalinos, con alta porosidad abierta; debido a esto su capacidad para absorber agua, nutrientes y aire es muy elevada. Las puzolanas, en cambio, tienen una alta porosidad gruesa y cerrada al exterior (hasta el 10%), por lo que su capacidad de retención de agua y nutrientes es muy baja, con alta aireación. En un material de 2 a 5 mm de partículas, la microporosidad apta para la retención hídrica es del 10% y la capacidad de aireación (AFP) mayor del 50%, o puede descender a menos del 20% en el caso de partículas más finas.

La porosidad total de las zeolitas de 2 a 5 mm es de alrededor del 64% frente a un 55% a 70% en las puzolanas, pero el reparto de esta porosidad es del 36% de microporos de alta retención de agua y solo el 28% de capacidad de aireación. Las capacidades de contenedor respectivas son del 47% en las zeolitas y del 19% en la puzolana. Una parte importante del agua, un 30%, es retenida por las zeolitas a una tensión excesiva para ser aprovechada por las plantas. Esta fracción de agua se almacena en los poros más pequeños y también es atrapada higroscópicamente. Se considera, por ende, que las puzolanas son materiales químicamente inertes, en tanto que las zeolitas tienen actividad química para los cationes de cambio. Ambos sustratos son interesantes para el cultivo, aunque requieren aplicaciones y, sobre todo, manejo diferente.



Regulación de las condiciones físicas (Agua/Aire)

El manejo del riego en el sustrato debe dirigirse a conseguir suficiente capacidad de aire para la respiración radicular y un volumen adecuado de solución nutriente retenida a baja tensión. En sustratos de granulometría muy fina esto puede ser difícil, siendo necesario reducir la frecuencia de riegos, que en los casos de elevado déficit de saturación ambiente dará lugar a desajustes en la disponibilidad de agua por la planta. También la granulometría fina dificultará el lavado de sales en los casos en que este sea necesario, bien por el empleo de agua de alta salinidad o bien por errores de manejo del riego.

En el empleo de sustratos de elevada porosidad total y alta capacidad de aireación el problema que se plantea es cómo conseguir una disponibilidad suficiente de agua en todo momento, sin grandes pérdidas por drenaje en el caso de sistemas abiertos. Dada la importancia de conseguir un reparto homogéneo del agua y los nutrientes en todo el volumen del sustrato, se recomienda como práctica habitual el riego en exceso, que por un lado asegura que la solución llegue a todas partes compensando irregularidades del riego y por otro, desplaza restos de solución anterior, cuyo equilibrio iónico ha sido modificado por la absorción selectiva de las plantas.

Regulación de condiciones químicas

Los sustratos de turba y fibra de coco son los que más se utilizan para la producción de hortalizas, y su presentación comercial viene para ser usados directamente. Algunos sustratos requieren un ajuste inicial de sus propiedades químicas para poder ser utilizados. Es frecuente que el pH del material inicialmente no sea el conveniente, lo que ocurre, por ejemplo, con la lana de roca y la perlita, que tienen pH excesivos y deben ser saturados con una solución ácida de pH 5 a 5,5 la cual se deja actuar por unas horas antes de abrir orificios de drenaje previos a la plantación.

El reparto de los nutrientes en el sustrato está condicionado por la colocación de los emisores de riego y por el manejo del mismo, acorde con la tasa de transpiración del cultivo y la absorción mineral. Una dosificación del agua adecuada a la capacidad de retención del sustrato con el exceso requerido debe permitir una distribución homogénea de nutrientes en el volumen del sustrato. Si la dosificación del riego es deficiente, probablemente se da lugar a gradientes verticales de Conductividad Eléctrica (CE) con valores más elevados hacia la base del contenedor, lo que puede disminuir el volumen disponible para las raíces (Martínez, 2001).



Manejo de semilleros

La producción de plántulas sanas y vigorosas depende básicamente de una adecuada desinfección del sustrato utilizado para los semilleros, pues tanto la semilla como la plántula pueden ser atacadas por hongos, bacterias, nematodos, insectos y malezas, y así mismo esto puede afectar sus procesos de germinación, crecimiento y desarrollo, causando, en la mayoría de las veces, graves pérdidas económicas.

Tradicionalmente la desinfección de semilleros se ha basado en la utilización de productos químicos como Dazomet, Bromuro de metilo, Cloropicrina, Metilisotiocianato y Dicloropropano, los cuales son efectivos para el control de hongos, nematodos y bacterias; sin embargo, estos están prohibidos o restringidos en muchos países por su alta toxicidad para los seres humanos y animales, además de su efecto adverso con el medio ambiente. Cuando los productos químicos se incorporan al suelo pueden acarrear la eliminación de organismos benéficos que de una u otra forma coadyuvan a la nutrición de las plantas o a la regulación de las poblaciones de organismos perjudiciales. También pueden ocasionar resistencia en los fitopatógenos hacia productos químicos aplicados, además de acumulación en el suelo de sustancias tóxicas y de residuos perjudiciales en las plantas, con sus consecuencias sobre la salud de los consumidores.

En el caso de no usar turba o fibra de coco es recomendable la desinfección del sustrato. El método recomendado es la solarización húmeda, método físico que utiliza la energía calórica irradiada por el sol; para ello, se cubre el suelo o sustrato húmedo con coberturas plásticas, lo que hace que la temperatura aumente hasta el punto que controle organismos patógenos como hongos, bacterias, nematodos, malezas e insectos.

La humedad del sustrato juega un papel importante, puesto que en las horas de menor temperatura (durante la noche) se condensa el agua evaporada en el día produciendo un proceso de pasteurización continua durante todo el tiempo que dure el tratamiento. Estas fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche rompen fácilmente el ciclo biológico de los fitopatógenos presentes en el sustrato. La cobertura plástica del suelo debe estar bien sellada para impedir el escape de agua.

La construcción de una cama para la solarización del suelo se realiza de la siguiente manera: una vez hecha la mezcla de suelo (tierra, materia orgánica y



arena) o se tenga el sustrato, se realiza la nivelación del suelo y se construyen eras de 1,20 m de ancho con una altura máxima de 20 cm. Posteriormente, se humedece el suelo o sustrato a capacidad de campo y se cubre con un plástico transparente de 6 mm de espesor, procurando que quede lo más sellado posible. El tratamiento debe durar como mínimo 40 días en zonas de clima frío y 20 días en zonas de clima cálido (Figura 5.7).



Figura 5.7. Cama de solarización

Además de su efecto deletéreo sobre los hongos fitopatógenos, la solarización húmeda disminuye significativamente las poblaciones de malezas anuales y perennes indeseables en los cultivos. Es así como las malezas se pueden reducir por muerte directa de las semillas debilitadas por el calentamiento del suelo o por muerte de las semillas germinadas en el suelo húmedo cubierto.

Errores más frecuentes en el manejo de la solarización

- No proporcionar la humedad suficiente al suelo para hacer efectiva la solarización, antes ni durante dicho proceso (Figura 5.8).
- No cubrir adecuadamente el suelo para evitar la pérdida de humedad, lo que facilita la dispersión del calor disminuyendo la efectividad del tratamiento de solarización.
- No utilizar plástico en buenas condiciones (Figura 5.9) y cubrir la era con retazos; esta actividad hace que se pierda eficiencia en el proceso.





**Figuras 5.8 y 5.9. Errores en la solarización:
Plástico en mal estado y falta de humedad en el sustrato.**

Errores más comunes en el manejo de semilleros

- Inadecuada preparación de la mezcla del sustrato.
- Deficiente tratamiento de desinfección (solarización).
- Llenado desuniforme de bandejas.
- Siembra de la semilla muy superficial o profunda, afectando la germinación (la profundidad de siembra de una semilla hortícola debe ser una o dos veces su tamaño).
- No resemar a tiempo (en semilleros tradicionales).
- Aplicación de riego en exceso o en forma deficiente.
- No supervisar constantemente la sanidad de plántulas.
- Baja fertilidad del sustrato utilizado.
- No reducir la aplicación de riego dos o tres días antes del trasplante (endurecimiento) para disminuir el estrés a que son sometidas las plántulas después de su trasplante en campo.

Desinfección

Antes de llenar las bandejas se deben retirar los residuos de sustrato de la producción anterior golpeándolas suavemente con la mano y lavándolas con agua a presión. Para prevenir el contagio de las plántulas por hongos y bacterias es necesario desinfectar las bandejas sumergiéndolas en una solución de hipoclorito de sodio a razón de 5 a 10 ml/lt de agua y agitándolas por unos 30 segundos (Figura 5.10).



**Figura 5.10. Desinfección de bandejas
de semilleros**



Siembra

Se debe llenar con el sustrato el mayor número de bandejas al mismo tiempo para evitar diferencias de humedad. Si el llenado es manual, las bandejas se colocan sobre una estructura con el fin de facilitar la labor del operario para posteriormente llenarlas con la mezcla de sustrato, distribuyéndolo de manera uniforme en ellas (Figura 5.11). Es importante golpear suavemente la bandeja contra una superficie dura, buscando que no queden cámaras de aire dentro de los alvéolos sino que, por el contrario, el sustrato se distribuya uniformemente por todas las cavidades, pasando luego una regla de madera por encima para retirar los excesos de sustrato (se debe evitar llenar dichas bandejas con mucha anticipación a la siembra para evitar la compactación del sustrato por pérdida de humedad).

Para ubicar la semilla es necesario hacer en todo el centro del cono un orificio de 0,5 cm de diámetro y de 2 a 3 mm de profundidad (esto se logra colocando un marcador y ejerciendo una leve presión); después se coloca una semilla por sitio y se tapa con una capa fina del sustrato (Figura 5.12) pasando la regla de madera para retirar los sobrantes. En los sistemas más avanzados de siembra mecanizada el llenado se hace por medio de una máquina sembradora (Figura 5.13), en la que se realizan los procesos de desapilado de las bandejas, adición de sustrato a las bandejas, colocación de semillas en orificios practicados al sustrato, cobertura de la semilla con otro sustrato, riego de bandejas ya sembradas y apilado de bandejas en palets. Al momento de la siembra, todos los conos de las bandejas deben tener la misma uniformidad tanto en la mezcla del sustrato como en el nivel de llenado, nivel de fertilidad y contenido de humedad.



Figura 5.11. Proceso de llenado de bandeja para semilleros





Figura 5.12. Proceso de siembra en semilleros



Figura 5.13. Sembradora neumática

Coberturas

Una vez sembradas las semillas se recomienda cubrir las bandejas con tela polisombra (30% de sombra) (Figura 5.14), ya que esto tiene las siguientes ventajas:

- Protege las semillas del ataque de pájaros.
- Amortigua el golpe causado por el agua de lluvia o de riego.
- Protege las plantas del ataque de trozadores, al actuar como barrera física.
- La malla permite un incremento de la temperatura del suelo, acelera la germinación de las plántulas y favorece la uniformidad en el semillero.





Figura 5.14. Protección de semilleros con tela polisombra

Riego

En general, las raíces de las hortalizas son muy superficiales en los primeros estados de crecimiento, por lo que el suministro de agua debe ser continuo para conseguir un óptimo desarrollo de las plántulas. Posterior a la siembra, debe aplicarse agua para evitar deficiencias de humedad en el sustrato que afecten la germinación de las semillas, puesto que una semilla recién embebida requiere de humedad continua para su proceso de germinación. En regiones frescas es suficiente la aplicación de un riego en la mañana, mientras que en las regiones muy cálidas se hace necesario regar dos y hasta tres veces al día. La frecuencia de riego en el semillero se establece de acuerdo con el tipo de suelo o sustrato, tipo de semillero, especie sembrada y condiciones climáticas de cada región, teniendo en cuenta que un exceso de humedad en los semilleros puede favorecer el ataque de hongos del suelo que producen el llamado ‘mal de salcocho’ o ‘damping-off’.

En zonas de alta precipitación se recomienda la construcción bajo coberturas plásticas (invernadero o túneles de plástico), de tal manera que se pueda controlar el exceso de humedad. Aunque en todas las zonas exista o no alta precipitación, lo conveniente es tener los semilleros bajo condiciones protegidas.

El riego que se realiza a los semilleros debe hacerse en forma suave para evitar el daño a las plantas con la presión del agua; se aconseja para ello utilizar elementos que simulen gotas suaves como en forma de lluvia. Se recomienda utilizar una poma para la aplicación del riego (Figura 5.15).





Figura 5.15. Poma para realizar riego en semilleros

Germinación

Se requieren entre 3 a 6 días en promedio para que las semillas de tomate germinen plenamente. Fuera de la buena calidad de la semilla, la velocidad de germinación está influenciada por la temperatura óptima del suelo y la humedad del mismo, el cual debe estar a capacidad de campo. La temperatura óptima para la germinación está entre los 16 y 28 °C; temperaturas menores de 10 °C y superiores a 35 °C inhiben la germinación; a 15 °C se presenta una germinación del 75%; y a 35 °C germina un 70% de la semilla. Para una buena y uniforme germinación es importante contar con una cámara de germinación consistente en un cuarto oscuro que brinde una temperatura constante (entre 25 y 28 °C) y una humedad relativa del 85%, condiciones en las que van a estar las bandejas con



Figura 5.16. Germinación uniforme de plántulas en semillero



las semillas durante los primeros 2 o 3 días después de la siembra (Figura 5.16). Respecto al porcentaje de germinación de las semillas, es importante tener en cuenta la longevidad de estas, la cual depende de las condiciones de conservación que se les proporcionen y las características propias de la especie.

Factores que inhiben la germinación

Factores endógenos

- Madurez de la semilla.
- Estados de latencia.
- Presencia de hormonas inhibidoras.
- Humedad de la semilla.
- Testas impermeables o duras.

Factores exógenos

- Temperatura.
- Humedad.
- Luz.

Claves para obtener una buena germinación

- Mantener el semillero en temperatura entre los 25 y 27 °C durante el proceso de germinación.
- Conservar la humedad del suelo constante.
- Mantener una adecuada iluminación.
- Proteger de vientos fríos.
- Realizar tratamientos pregerminación (imbibición en agua).
- Proteger la semilla.

Fertilización

En el caso de utilizar sustratos inertes como la turba, fibra de coco o cascarilla de arroz, se requiere de un plan de fertilización tanto edáfica como foliar a través de fertirriego. La fertilización se realiza con cada riego aplicado, utilizando productos que se encuentran en el mercado y en las dosis recomendadas por el fabricante (es necesario aplicar nutrientes mayores y menores). Cuando en la región no se consiguen estas soluciones se recomienda diluir un fertilizante completo en agua (puede ser 10-30-10 o 15-15-15 en dosis de 10 g/lit de agua) y aplicar al semillero tratando de humedecer el suelo, preferiblemente en horas de la tarde.



La deficiencia más común en plantas en semillero es la de fósforo, cuyos síntomas son plantas enanas, con raíces escasas y hojas color púrpura. Para contrarrestar dicha deficiencia se recomienda la aplicación de un fertilizante soluble rico en fósforo, como es el caso de fosfato diamónico, en dosis de 40 g/8 lt de agua, cantidad suficiente para humedecer 1 m² de semillero. Cuando se presentan plantas enanas acompañadas con amarillamiento de las hojas, se debe a deficiencia de nitrógeno y se corrige con la aplicación de nitrato de potasio en dosis de 30 g/10 lt de agua, o urea en dosis de 50 g/10 lt de agua por m².

Endurecimiento de las plantas

Consiste en disminuir la aplicación del agua de riego máximo una semana antes del traslado de las plántulas a campo. Esta práctica es de gran importancia en el semillero y se hace con la finalidad de controlar el crecimiento de las plántulas y facilitar su adaptación a las condiciones de estrés en el campo.

Cuando las plántulas han crecido en condiciones muy favorables de humedad sus tejidos son muy acuosos y débiles, y mediante la disminución del riego antes del trasplante se busca endurecer los tejidos para que sean más resistentes bajo condiciones de campo; por el contrario, cuando las plantas han sufrido deficiencia de humedad se presenta un endurecimiento de los tejidos, los tallos se observan gruesos y leñosos. Se aconseja entonces antes del trasplante aplicar a las plantas una solución iniciadora rica en fósforo, utilizar como base fosfato de amonio en dosis de 6 g/lt de agua y aplicar de 4 a 6 lt/m², 3 a 4 días antes del trasplante.

CULTIVO BAJO CUBIERTA

Adecuación y preparación del terreno

Antes de iniciar la construcción del invernadero es recomendable realizar la toma de muestra de suelo para realizar su análisis fisicoquímico. Si el terreno no ha sido sembrado antes o ha estado en descanso por mucho tiempo, es aconsejable arar el lote y luego realizar como mínimo dos pases de rastrillo con suficiente antelación, esto con el fin de mejorar las condiciones físicas del suelo y controlar las malezas, principalmente gramíneas o ciperáceas, difíciles de combatir cuando el cultivo está establecido. La arada y la rastrillada deben realizarse a una profundidad de por lo menos 30 cm (Figura 5.17). En la preparación debe evaluarse si es necesario realizar subsolado, la aplicación de un herbicida para la posterior eliminación de las malezas limitantes al cultivo, la incorporación de enmiendas o abonos orgánicos de acuerdo con el análisis, etc. (Jaramillo *et al.*, 2007).



No se deberá cultivar tomate si el terreno presenta los siguientes impedimentos:

- Nivel freático inferior a 1 m.
- El agua de riego con una conductividad eléctrica superior a 2,5 dS/m.
- Granulometría, con porcentajes superiores a 30% de arena gruesa.
- Pendientes de riego superiores al 0,3%.
- Conductividad eléctrica en el suelo superior a 4 dS/m.



Figura 5.17. Terreno arado y rastrillado listo para la siembra

Preparación del terreno

El terreno para la siembra deberá prepararse con anticipación; esta preparación puede realizarse en forma mecánica, con tracción animal o laboreo mínimo, dependiendo de las condiciones en donde se siembre.

La preparación la podemos dividir en las siguientes fases, según sean las condiciones de cada terreno:

- **Subsolado:** esta actividad se recomienda principalmente para aquellos terrenos en donde nunca se ha laboreado, donde ha existido mucho paso de maquinaria (la cual ha compactado el terreno) o donde se ha tenido ganado pastoreando. Se hace en general cada uno o dos años para evitar compactación del suelo, permitiendo así mejor penetración del sistema radicular, mejor aireación y mejor drenaje. El subsolado se hace con maquinaria agrícola pesada que pueda penetrar los cinceles a por lo menos una profundidad de 60 cm.



- **Arado:** consiste en remover la parte superficial del suelo a profundidades que varían hasta los 45 cm. Se puede voltear el suelo o removerse, dependiendo del implemento que se utilice. Para el caso del cultivo del tomate es importante tener suelos que se preparen a buena profundidad para garantizar un buen desarrollo radicular y, por ende, de la planta.
- **Rastrillado:** con esta práctica se pretende romper los terrones que han quedado después de la arada. Debe realizarse cuando el suelo tenga cierto grado de humedad que permita que los terrones se desmenucen.

Riego y drenaje

Existen diversos sistemas de riego (gravedad, aspersión y goteo) y su uso depende de la disponibilidad de recursos, pendiente del terreno, textura del suelo, abastecimiento y calidad de agua. Con cualquiera de los sistemas seleccionados, se debe evitar someter el cultivo a deficiencias o excesos de agua. Es importante la buena distribución del riego durante todo el ciclo del cultivo, principalmente antes de la formación de frutos (Corpeño, 2004).

Es fundamental además revisar las condiciones de drenaje al interior y exterior del invernadero para evitar aquellos excesos de humedad en el suelo que puedan ocasionar problemas de productividad y enfermedades al cultivo, por lo cual se recomienda la construcción de drenajes al exterior del invernadero (Figura 5.18).



Figura 5.18. Drenajes al exterior del invernadero para evitar excesos de humedad



El terreno elegido debe tener infraestructura adecuada, fácil acceso con vehículos para sacar la producción, disponibilidad de mano de obra en la región y fuentes de agua de buena calidad cerca al cultivo.

Por otra parte y para finalizar, se realiza el trazado de los surcos (Figura 5.19), que consiste en formar la cama o surcos donde se trasplantará el tomate. Esta actividad consiste en levantar los surcos por lo menos 25 a 40 cm (los surcos altos tienen grandes ventajas, dentro de las cuales está el mejor drenaje, la mejor aireación de las raíces y un mejor desarrollo de las mismas); posteriormente, se procede a marcar los sitios donde quedarán ubicadas las plantas, realizando un hueco de tamaño ligeramente mayor al volumen ocupado por el recipiente que contiene cada planta que se va a trasplantar. Una vez trasplantadas las plantas, es necesario regarlas para evitar su marchitamiento.



Figura 5.19. Preparación de surcos para la siembra

Antes del trasplante se recomienda la aplicación, en forma localizada, de materia orgánica (gallinaza compostada), correctivos y nutrientes de acuerdo con la recomendación del análisis de suelo. La materia orgánica debe ser totalmente compostada y humedecerse antes del trasplante para evitar que la descomposición de la misma no queme las plantas. Igualmente, es importante la aplicación de cal para hacer las correcciones de pH según el análisis de suelo.



Recomendaciones de cal

La cal se aplica a los suelos tanto para neutralizar el hidrógeno (H^+) y el aluminio intercambiable (Al^{+++}) como para proporcionar calcio. Se aplica calcio más magnesio si ella es calcítica o dolomítica, respectivamente. Los principales factores que se deben tener presentes al agregar cal a los suelos (además de la planta que se va a cultivar) son el pH y el aluminio intercambiable, la textura, el contenido de materia orgánica y la relación Ca/Mg. La importancia del pH está relacionada con la tolerancia de las plantas al manganeso y al aluminio contenido en la solución del suelo. Las correcciones adecuadas de pH, mediante aplicaciones de cal, permiten que algunos nutrimentos pasen a ser aprovechables por los cultivos, disminuyéndose así la cantidad de fertilizantes y su costo (ICA, 1992).

El tipo de suelo y el contenido de materia orgánica también influyen en la cantidad de cal que se debe agregar. Los suelos con alto contenido de materia orgánica y/o arcilla requieren, para elevar el pH en una unidad, más cal que los arenosos. Como la cal reacciona lentamente en el suelo, debe aplicarse de cuatro a seis semanas antes de la siembra, pero mezclada uniformemente con el suelo. Las recomendaciones de cal por parte del ICA se basan especialmente en el contenido de aluminio intercambiable de los suelos. En suelos con menos del 10% de materia orgánica y un pH inferior a 5,5 así como en suelos con más de 10% de materia orgánica y un pH inferior a 5,0 se recomienda aplicar una tonelada y media de cal agrícola que contenga por lo menos el equivalente al 80% de $CaCO_3$ por cada miliequivalente (cmol/kg) de aluminio intercambiable. Cuando se utilizan escorias Thomas, es posible disminuir la cantidad de cal en suelos con un pH menor de 5,5 (ICA, 1992).

En algunos suelos de Colombia el contenido de aluminio intercambiable es muy alto y, por tanto, la cantidad de cal para su corrección sería exagerada. Aplicaciones superiores de tres toneladas por hectárea pueden resultar antieconómicas; es por esto que se puede pensar también en aplicar cal por ciclo agrícola hasta llegar a las condiciones adecuadas de acidez de los suelos. Así mismo, en muchos suelos del país que requieren cal se encuentra una relación Ca/Mg muy amplia, es decir, que la cantidad de magnesio en relación con la del calcio es muy pequeña. Al agregar a los suelos cal agrícola –o sea aquella que contiene solamente $CaCO_3$ – se agrava el desequilibrio entre el calcio y magnesio, y se pueden inducir deficiencias de este en los cultivos. Es muy importante entonces que las aplicaciones de cal se hagan a base de cal dolomítica, o sea de aquella que contiene además de carbonato de calcio, carbonato de magnesio (ICA, 1992).



Uso de Micorrizas

Es aconsejable que en el momento de la siembra y el trasplante se usen micorrizas. Las micorrizas forman una asociación mutualista entre algunos hongos del suelo y la raíz de la mayoría de las plantas. La importancia de esta simbiosis radica en que la raíz es el vínculo entre la planta y el suelo, y que a su vez, el tejido del hongo es el puente entre la raíz y el suelo.

Las micorrizas aumentan la capacidad de absorción de nutrientes de la raíz por el hecho de que el micelio fúngico (tejido micorrizal), al constituirse en una extensión de raicillas, explora mucho mayor volumen del suelo que la raíz sola.

Pero las ventajas de estas no se limitan a la nutrición vegetal: las plantas reciben beneficios adicionales, como tolerancia a épocas secas (estrés hídrico), exclusión de patógenos del suelo y adaptación a metales pesados.

Muchas veces las poblaciones naturales de micorrizas son insuficientes o ineficientes para establecer una buena simbiosis, lo cual afecta el desarrollo de una comunidad vegetal; en estos casos, se pueden aumentar las eficiencias simbióticas con la inoculación de hongos eficientes y competitivos. El uso práctico de la micorriza encaja dentro de una gestión biológica en la fertilidad del suelo, dirigida a obtener una productividad sostenida, respetando nuestro entorno.

Beneficios de las micorrizas

- Favorece la absorción de iones poco móviles del suelo, particularmente fosfatos, pero también zinc, cobre y amonio.
- Mayor crecimiento de las plantas, principalmente en suelos con bajo contenido de nutrientes.
- Mayor capacidad de absorción de agua y tolerancia a la sequía.
- Protección contra patógenos radiculares.
- Detoxificación de metales pesados. Estabilización de agregados de partículas del suelo.
- Estimación de otros microorganismos simbióticos integrantes de la comunidad rizosférica.

Para su uso, el producto debe quedar en contacto con el sistema radical de la planta; es decir, se aplica al momento de la siembra en dosis de 80 - 100 esporas/alvéolo.



Distancias de siembra

La densidad de plantación en el invernadero tiene una importancia especial porque no solamente determina el potencial productivo de las plantas sino también la sanidad vegetal del cultivo. Existe una relación antagónica entre el interés de aumentar la densidad del cultivo buscando elevar la producción y la necesidad de disminuirla para mejorar la ventilación, aunque un cultivo muy denso que sufre de mala aireación, mala penetración de luz y alta incidencia de enfermedades, tampoco alcanza su potencial productivo. Si trasplantamos menos plantas por una determinada área, cada planta puede cargar más frutos, porque es más vigorosa y hay compensación del espacio. En una plantación apretujada las plantas son más débiles, con tallos delgados y cada planta cargará menos frutos; además, los frutos serán pequeños y no llegarán a la calidad esperada (Shany, 2007).

La densidad de siembra a utilizar depende del material a cultivar y sus características de crecimiento (determinado o indeterminado), ciclo de producción, tipo de invernadero, tipo de poda, arreglo espacial (surco sencillo o doble), tutorado y fertilidad del suelo, condiciones agroecológicas de la zona, disposición y tipo de riego, y la posibilidad de mecanización de las labores. La distancia entre surcos de tomate más adecuada es aquella que permita una propicia ejecución de las labores y que evite el exceso de humedad alrededor de las plantas. Para aquellas zonas donde se genera una alta humedad relativa no es recomendable la siembra en surcos dobles, ya que se generan las condiciones apropiadas para la incidencia de enfermedades (Jaramillo *et al.*, 2007).

La siembra del tomate puede realizarse en surcos sencillos (Figura 5.20) o dobles. La siembra en surco sencillo se realiza con una distancia entre surcos de 1,10 a 1,30 m y una distancia entre plantas de 30 a 40 cm, lo que da una densidad de 1,9 a 3 plantas por m² con podas a un solo tallo (ver Tabla 5.1).

Cuando se siembran variedades de crecimiento determinado, de ciclo corto, se puede establecer una densidad de siembra alta que permita obtener la mayor producción posible, aunque es factible que se acumule alta humedad relativa alrededor del dosel, favoreciendo el ataque de enfermedades como *Botrytis cinerea* o moho gris y *Phytophthora infestans* o gota.

Para cultivares de crecimiento indeterminado, en zonas frías donde hay alta nubosidad y alta humedad relativa, y si no se cuenta con equipamiento de control climático, lo conveniente es la siembra en surcos sencillos para facilitar tan-





Figura 5.20. Siembra en surco sencillo

to la luminosidad como la ventilación de las plantas; al contrario, en zonas con alta radiación es recomendable la siembra en surcos dobles para evitar daños a los frutos por golpe de sol.

Tabla 5.1. Distancias de siembra del tomate, según tipo de ramificación

Tipo de ramificación	Distancia entre plantas (m)	Distancia entre surcos (m)	Población de plantas/ ha
A un solo tallo	0,30	1,1	30.303
	0,30	1,2	27.777
	0,30	1,3	25.641
	0,35	1,1	25.974
	0,35	1,2	23.809
	0,35	1,3	21.978
	0,40	1,1	22.727
	0,40	1,2	20.833
	0,40	1,3	19.230
A dos tallos	0,50	1,2	16.666
	0,50	1,5	13.333
	0,50	1,7	11.764
A cuatro tallos	0,50	1,5	13.333
	0,60	1,5	11.106



En la siembra del tomate en surcos dobles se trabaja con una distancia de 50 - 60 cm entre los dos surcos y de 50 - 60 cm entre plantas. La distancia entre centros de cama puede variar de 1,40 a 1,60 m, con caminos de 0,8 a 1,0 m de ancho (Figura 5.21).



Figura 5.21. Siembra en surco doble

La siembra en surco doble es más recomendada en zonas donde la humedad relativa no es alta y donde la radiación solar es muy fuerte, por lo que se debe buscar un ambiente más favorable a la planta. Cuando se cultiva con surco doble es necesario utilizar doble cinta de riego, una para cada surco, con el fin de garantizar que cada planta reciba la cantidad de agua apropiada (Figura 5.22).



Figura 5.22. Doble cinta de riego para siembras en surco doble



Trasplante

Es el paso de las plántulas del semillero al sitio definitivo (Figura 5.23), el cual se realiza aproximadamente entre 30 y 35 días después de sembrado el semillero de acuerdo con la calidad de la planta. Para esto es necesario tener en cuenta algunas consideraciones que se describen a continuación:



Figura 5.23. Plántulas listas para el trasplante

- Una semana antes del trasplante, disminuir el riego para endurecer las plantas, trasplantando plántulas con cuatro hojas verdaderas de altura entre 10 y 15 cm.
- Realizar el trasplante en horas de la mañana (con menos sol).
- Regar abundantemente el semillero dos o tres horas antes del trasplante con el fin de facilitar el arranque sin dañar las raíces y que las plantas lleguen con suficiente humedad al sitio definitivo.
- Trasplantar plantas uniformes, sanas, con hojas bien desarrolladas, de color verde y erguidas.
- No trasplantar plantas con coloración púrpura en las hojas, ya que esto indica una deficiencia de fósforo.
- Las plantas listas para el trasplante deben tener un sistema de raíces bien desarrollado que permita contener el sustrato y que este no se desmorone en el momento que la plántula sea sacada de la bandeja, buscando que cuando la planta sea trasplantada a campo el medio de crecimiento se mantenga alrededor de las raíces.
- Es preciso que las plantas listas para el trasplante tengan raíces blancas y delgadas que llenen toda la celda de arriba a abajo. Cuando las raíces son de un color marrón y no se extienden hacia la parte inferior



del contenedor, es síntoma de que han estado creciendo bajo un estrés de humedad o tienen problemas de pudriciones radicales, lo cual puede retardar el enraizamiento en campo.

Las plántulas compradas a viveros comerciales deben ser empacadas en cajas de cartón (Figura 5.24) y almacenadas en áreas sombreadas que estén protegidas del ataque de insectos hasta que sean trasplantadas; si estas son bien almacenadas, pueden ser trasplantadas 24 o 48 horas después de ser removidas del semillero.



Figura 5.24. Cajas de cartón para transportar las plántulas de tomate

Una vez trazados los surcos se marcan los sitios en los cuales irán ubicadas las plantas. En estos sitios se hace un hueco de tamaño ligeramente mayor al volumen ocupado por el recipiente que contiene la planta que se va a trasplantar (Figura 5.25). Al momento del trasplante, es necesario que 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. Una vez trasplantadas, es necesario regarlas para evitar estrés por agua.



Figura 5.25. Trasplante a campo



La poda se realiza con el fin de potencializar las partes de la planta que tienen que ver con la producción y eliminar aquellas que no tienen incidencia con la cosecha para, de esta forma, concentrar energía y lograr frutos de mayor calibre, sanos, vigorosos, precoces y firmes. La poda tiene por objeto balancear el crecimiento reproductivo y vegetativo, permitiendo que los fotoasimilados se canalicen hacia los frutos e indirectamente ayuden a mejorar la aireación del cultivo; a su vez, la poda y tutorado se hacen en función del tipo de cultivar, diseño de plantación y ciclo productivo. En materiales de tomate de crecimiento indeterminado es indispensable realizar la poda de diferentes partes de la planta (como tallos, chupones, hojas, flores y frutos) y así permitir mejores condiciones a las partes que quedan en ella y que tienen que ver con la producción, eliminando a la vez las plantas que no tienen incidencia con la cosecha y que pueden consumir energía necesaria para lograr frutos de mayor tamaño y calidad (Lobo y Jaramillo, 1984).

Según Martínez (2001), las principales ventajas de las podas son:

- Reducen la competencia entre órganos en crecimiento.
- Mejoran la ocupación del volumen aéreo.
- Facilitan la aireación de la planta.
- Mejoran la penetración de la luz.
- Facilitan la recolección.
- Facilitan el control de plagas y malezas.
- Equilibran la nutrición en la planta.

En general, se recomienda no defoliar antes del inicio de maduración del primer racimo y hasta el inicio de floración del séptimo racimo; no defoliar por encima de un racimo en maduración. Una defoliación intensa y precoz retarda y reduce la producción (Martínez, 2001). Así mismo, la poda debe hacerse en horas de la mañana, cuando el cultivo aún se encuentra turgente (Shany, 2007).

Tipos de poda

Poda de formación

El tomate presenta la característica que en la intersección entre cada hoja y el tallo emite una yema axilar, también llamada brote. El vigor del brote siempre es diferente, es decir, el brote que está justo por debajo de la primera inflorescencia es más vigoroso que los que están en la parte inferior o superior del mismo.



La poda de formación es la primera que se le realiza a la planta entre los 20 y 30 días después del trasplante, y es la que define el número de tallos a desarrollar. Se pueden trabajar plantas a uno, dos, tres y hasta cuatro tallos. La decisión del número de tallos depende de la calidad del suelo, la distancia de siembra, el material utilizado y el tipo de tutorado empleado; no obstante, lo más recomendable en invernadero es trabajar la planta a un solo tallo para facilitar su tutorado y manejo (Zeidan, 2005). En la primera poda se eliminan brotes o chupones que se desarrollan en la base del tallo y que están por debajo del primer racimo floral; también se deben eliminar las hojas bajas amarillentas ya senescentes (Figuras 5.26 y 5.27).



Figura 5.26. Brote que debe eliminarse en la poda de formación



Figura 5.27. Planta a un solo tallo

Trabajar a dos tallos es recomendable cuando el costo de las plántulas es muy alto, por ejemplo cuando son injertadas o cuando se requieren frutos más pequeños. En estos casos se debe seleccionar el segundo tallo del brote que se presenta por debajo de la primera inflorescencia, debido a que generalmente presenta más vigor, si bien algunos productores prefieren dejar el brote del segundo racimo floral (Figura 5.28).

Es de anotar que cuando se trabaja la planta a dos tallos se pierde precocidad en el cultivo. En zonas con alta humedad relativa y baja luminosidad, es adecuado ampliar la distancia de siembra entre plantas para evitar el ataque de enfermedades y reducción del tamaño de fruto por la competencia de luz.



Figura 5.28. Planta a dos tallos



Poda de yemas o chupones

Los objetivos de esta poda son: reducir competencia entre órganos en crecimiento, racimos y brotes vegetativos; mejorar ocupación del volumen aéreo; y facilitar la aireación de la planta y la incidencia de la luz en las hojas (Martínez, 2001). Una vez se define el número de tallos a dejar en la planta se eliminan todos los brotes que se desarrollan en el punto de inserción entre el tallo principal y los pecíolos de las hojas (Figura 5.29). Los brotes se deben eliminar manualmente antes de que tengan un tamaño no mayor de 3 cm con el objetivo de que no absorban los nutrientes que se requieren para la formación y llenado del fruto; además, este tamaño permite eliminar los brotes sin dejar heridas en las plantas (Figura 5.30).



Figura 5.29. Brote o chupón en el tamaño ideal para eliminar



Figura 5.30. Brote eliminado sin ocasionar daño a la planta

Cuando la poda del chupón no se hace a tiempo este se engrosa y crece demasiado, siendo conveniente dejar un pedazo de tallo al cortar el chupón de 1 a 3 cm para favorecer la cicatrización y evitar que la herida llegue al tallo principal.

Los chupones o yemas axilares se desarrollan durante todo el ciclo del cultivo, sin embargo, entre los 30 a 90 días después del trasplante se producen con más frecuencia, siendo necesario –en ocasiones– deschuponar dos a tres veces por semana para posteriormente disminuir su desarrollo durante los picos de producción. Una vez se realice la poda terminal o despunte para definir el número de racimos con que se deja la planta se puede volver a incrementar el desarrollo de chupones.



Poda de hojas o deshojado

Cuando el follaje es muy intenso o se ha presentado alguna enfermedad foliar conviene hacer una poda de hojas para mejorar la ventilación e iluminación del cultivo. Las hojas viejas, amarillentas, senescentes o enfermas, deben ser removidas (Zeidan, 2005). Con esto se busca mejorar la entrada de luz en la planta; lograr mayor floración, y cuaje y homogeneidad en el tamaño, calidad y maduración de frutos; así como aumentar la ventilación y bajar la humedad relativa en la base de las plantas, rompiendo el microclima que favorece el desarrollo de enfermedades. Por otro lado, es esencial eliminar las hojas enfermas que sean fuente de inóculo de plagas y enfermedades.

La primera poda de hojas bajas se realiza una vez haya florecido completamente el segundo racimo, dejando como mínimo dos hojas por debajo del primer racimo. Es importante no remover hojas por debajo o por encima del racimo que no haya alcanzado la madurez de los frutos (Jaramillo *et al.*, 2007; Zeidan, 2005).

La eliminación de hojas se debe comenzar en el momento en que se haya terminado la recolección de los frutos del primer racimo, eliminando aquellas que están por debajo de él; de ahí en adelante se deben seguir eliminando a medida que se van llenando los frutos y cosechando los racimos (Zeidan, 2005).

En plantas con crecimiento indeterminado, las hojas se ubican en grupos de tres por cada racimo floral: la hoja A se ubica inmediatamente por debajo o al frente del racimo floral y es la responsable del 75% del llenado del fruto, en tanto que la hoja B se ubica inmediatamente por encima del racimo y colabora con cerca del 15% del llenado del fruto, y la hoja C, que está por encima de la hoja B, aporta el 8%,

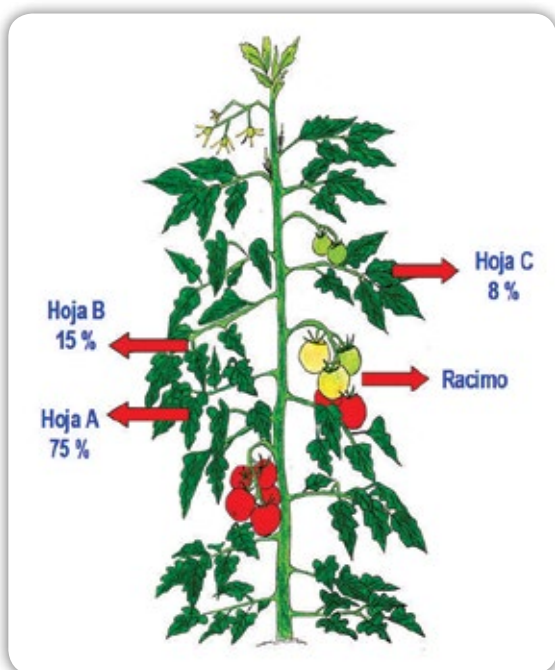


Figura 5.31. Distribución de las hojas en una planta de crecimiento indeterminado



repartiendo sus fotosintetizados en forma bilateral para el racimo anterior y posterior (Figura 5.31). Los anteriores porcentajes muestran la importancia de las hojas en el llenado del fruto y su influencia cuando se poda en forma drástica la planta, razón por la que las hojas A, B y C no deberían ser removidas sin un llenado óptimo del racimo.

En el caso extremo de presentarse un exceso de follaje que impida la penetración de la luz o favorezca la presencia de enfermedades por el exceso de humedad relativa, se recomienda hacer un entresaque de hojas, eliminando únicamente la hoja C y evitando quitar el foliolo que está en frente del racimo o inmediatamente debajo de este, ya que juega un papel muy importante en la traslocación de fotoasimilados al fruto. Una defoliación intensa y precoz en la planta, retarda y reduce la producción.

Las hojas, además de proveer nutrientes al fruto, en épocas de verano intenso proporcionan sombra a los frutos previniendo el golpe de sol o la presencia de hombros verdes; en invierno, las hojas protegen el fruto del enfriamiento, ya que actúan como una barrera para el escape del calor acumulado en el fruto hacia la atmósfera del invernadero (Zeidan, O., 2005).

Por tanto, es importante realizar la remoción de las hojas en días soleados y secos. Si la remoción se realiza en días lluviosos o húmedos, es preciso realizar posteriormente una aplicación de un fungicida, especialmente con base en cobre, para prevenir enfermedades bacteriales y fungosas (Zeidan, 2005).

Poda de flores y frutos

El objetivo de este tipo de poda es balancear el número y tamaño de los frutos en el racimo y a lo largo de la planta. La poda de flores y frutos va a depender del tipo de mercado que tenga el productor y de la variedad utilizada, pues algunas variedades producen gran número de flores por inflorescencia, los frutos no se desarrollan bien y son de calibres tan pequeños que no satisfacen la demanda del mercado. En este caso, se recomienda eliminar flores antes de que sean polinizadas.

Lo ideal en tomates tipo Chonto es dejar por racimo de 8 a 10 frutos dependiendo del vigor de la planta y en tomates tipo Milano de 5 a 8 frutos por racimo. Se deben eliminar los frutos deformes (Figura 5.32), enfermos y los más pequeños, que generalmente se encuentran en el extremo apical del racimo y se identifican por su tamaño menudo y por su coloración opaca y sin brillo (Figura 5.33).





Figura 5.32. Poda de frutos con daño fisiológico



Figura 5.33. Fruto pequeño que debe ser eliminado para facilitar el crecimiento de los otros

Es importante conocer el comportamiento del material sembrado en cuanto a número de flores por racimo y calibres promedio del fruto; si bien estos dos parámetros son genéticamente dependientes, en la fertilización juegan un papel muy importante. Con relación a las condiciones climáticas es posible observar que a mayor temperatura y menor radiación se deben dejar menos frutos, igual que a mayor densidad de siembra o menor disponibilidad de radiación por planta. Respecto del estado de desarrollo de la planta, en los primeros racimos se dejan más frutos que en los últimos (Terán *et al.*, 2007).

Poda de yema terminal o despunte

Consiste en cortar la yema principal de la planta teniendo en cuenta que el racimo que esté por debajo de dicha yema se encuentre totalmente formado. Se deben dejar dos hojas por encima del último racimo (Figura 5.34).

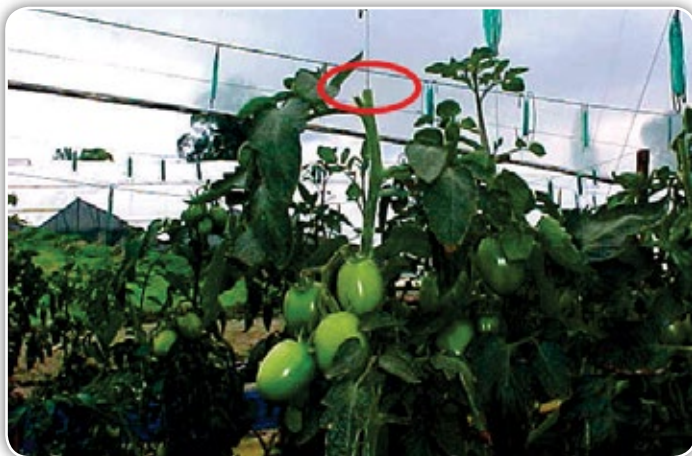


Figura 5.34. Poda de yema terminal o despunte



Esta poda permite determinar el número de racimos que se van a dejar por planta; se puede llevar la producción a 8, 10, 12, 14 o 16 racimos dependiendo del estado sanitario de la planta, la productividad del material y la calidad comercial exigida por los mercados. Generalmente el tamaño de los frutos de los últimos racimos es mucho menor, por lo cual la poda terminal permite que los últimos frutos adquieran un mayor tamaño si no se consigue a través de una adecuada fertilización. Usualmente la poda de yema terminal incrementa el diámetro de los frutos en las tres últimas inflorescencias.

Desinfección de herramientas

Cuando al realizar cualquier tipo de poda se utiliza algún tipo de herramienta, se recomienda hacerle a esta una desinfección periódica con una solución de yodo agrícola o hipoclorito de sodio al 5% al pasar de planta a planta (Figura 5.35) y aplicar productos a base de cobre al cultivo para evitar la entrada de microorganismos patógenos a través de las heridas causadas por la poda, principalmente enfermedades de tipo bacterial o fungosas como el hongo *Botrytis* causante del moho gris; así mismo, se debe recoger y sacar del invernadero lo más pronto posible todos los residuos de la poda, ya que pueden ser fuente de inóculo de enfermedades y plagas (Figura 5.36).



Figura 5.35. Desinfección de herramientas



Figura 5.36. Método adecuado de recolectar los residuos de poda

Polinización

La dificultad del cuajado de los frutos se debe en la mayor parte de los casos a una deficiente fecundación de las flores originada por humedad relativa baja



o exceso de humedad, así como de extremos de temperaturas, principalmente muy bajas, y mala ventilación al interior del invernadero. Usualmente cuando las temperaturas dentro del invernadero están por debajo de 10 °C y en el día también se presentan bajas temperaturas, el vigor y cantidad de los granos de polen disminuyen. De la misma forma, cuando hay altas temperaturas tanto en el día como en la noche se reduce la fertilidad de las flores, lo cual es expresado en la producción de pocos granos de polen y en la elongación del estilo y el estigma por encima de las anteras; sumado a esto, en algunos casos las flores no abren (Zeidan, 2005).

En la mayoría de los casos las flores de tomate se autopolinizan, ya que cada flor contiene tanto estructuras masculinas (estambres y granos de polen) como estructuras femeninas (ovarios, óvulos, estilo, estigma). Algunas veces ocurre la polinización cruzada, especialmente por insectos.

La forma y el tamaño del fruto están influenciados por el número de semillas que se desarrollan dentro de este; una flor que ha sido polinizada con una buena cantidad de granos de polen puede producir frutos con la forma y tamaño característicos de la variedad, mientras que una flor parcialmente polinizada puede producir frutos irregulares y pequeños, aunque contenga pocas semillas (Zeidan, 2005).

En un contexto de campo abierto y bajo óptimas condiciones de crecimiento se produce no solo la polinización cruzada sino la autopolinización en las flores de tomate (el viento, los insectos y el hombre promueven dicho proceso de polinización en campo abierto). Por el contrario, en condiciones de invernadero generalmente la polinización es parcial e insuficiente para producir un buen cuajado de frutos, ya que la acción del viento está limitada dentro del mismo (Zeidan, 2005).

Existen varios métodos, aparte del manejo de las condiciones climáticas al interior del invernadero, para mejorar la polinización:

Vibrador (abeja eléctrica)

El principio del aparato es producir una vibración de las flores, estimulando la liberación del polen de los estambres, en especial cuando hay escasez o cuando debido a malas condiciones climáticas los estambres no se abren. Este aparato se compone de una batería conectada a una varilla larga que vibra, la cual es colocada sobre cada inflorescencia para facilitar la liberación del polen al estigma y favorecer la fecundación (Figura 5.37) (Shany, 2007).





Figura 5.37. Vibrador eléctrico operado por batería

Expulsador de aire

Es un dispositivo que libera corrientes de aire sobre las inflorescencias agitando las flores, liberando de esta forma el polen de las anteras al ovario para fecundar el óvulo.

Polinización por abejorros

Mundialmente se viene utilizando el *Bombus terrestris*, un abejorro grande de color negro-amarillo que vive en la naturaleza de todos los continentes. Por la fuerte vibración que suministran sus grandes alas, se consigue una mejor polinización, más que con cualquier otro aparato artificial.

El *Bombus* es muy buen trabajador, activo, independiente de las condiciones climáticas y no escapa del invernadero, aún cuando las ventanas estén abiertas (Shany, 2007). La utilización de abejorros en invernadero requiere del uso de una estrategia de manejo integrado de plagas, donde el componente químico sea racional (Figura 5.38). En Colombia, la Universidad Militar viene trabajando con el abejorro nativo *Bombus atratus*.



Figura 5.38. Liberación de abejorros para la polinización de flores



Vibración mecánica

Consiste en agitar las flores a través de la vibración producida por golpes repetidos al alambre del tutorado mediante la utilización de una vara (Figura 5.39).



Figura 5.39. Polinización mecánica mediante golpes producidos al sistema de tutorado

Uso de hormonas de crecimiento

En condiciones extremas de temperatura, ya sea de mucho calor o de mucho frío, la producción de polen se detiene totalmente y la polinización es defectuosa; por tanto, es recomendable el uso de hormonas estimulantes del cuaje, las cuales deben ser asperjadas sobre la inflorescencia y no sobre la planta; aparte de esto, su utilización y concentración debe ser directamente recomendada por el fabricante, ya que una mala utilización puede producir toxicidad en la planta, deformación de frutos y frutos huecos. Los productos que se utilizan para tal fin son β -Naphthoxi-acetic-acid (BNAA), CPA-4, Tomaset, Uraset (*M-M-T Metalotyl-phtalmic Acid*). Esta aspersión debe realizarse con bombas manuales pequeñas de 1 lt, y las aplicaciones se inician cuando el cultivo tenga la primera inflorescencia abierta y esté en buena condición de crecimiento, mínimo con 15 - 20 hojas. Se realizan entonces dos aplicaciones por inflorescencia: la primera cuando hay 3 - 4 flores por racimo y la segunda cuando se ha abierto el resto de las flores del mismo (Shany, 2007).

La utilización del vibrador eléctrico, el expulsador de aire y la vibración mecánica debe ser aplicada como mínimo día de por medio, tarde en la mañana,



después de que la humedad relativa al interior del invernadero se ha reducido y las flores están más secas (70% HR y 19 °C) (cuando las flores húmedas son sacudidas el polen no es liberado apropiadamente porque está compacto por la humedad, resultando una fecundación defectuosa). En el caso de los vibradores eléctricos, es esencial que su punta sea colocada sobre el tallo de la inflorescencia operándolo por uno o dos segundos, así toda la inflorescencia es sacudida y las flores son polinizadas. Como todas las flores en la inflorescencia no abren al mismo tiempo, el proceso debe ser repetido una vez hayan flores abiertas en la inflorescencia (Zeidan, 2005).

Tutorado y amarre

El tutorado permite un crecimiento vertical de las plantas y facilita las labores del cultivo. Consiste en guiar verticalmente las plantas a lo largo de una cuerda evitando que las hojas, y sobre todo los frutos, toquen el suelo. Entre las ventajas de la instalación de un adecuado tutorado se encuentran las siguientes:

- Evita daños mecánicos a la planta tanto por el peso de los frutos como durante las prácticas culturales.
- Obtiene frutos de mejor calidad, ya que estos no tienen contacto con el suelo.
- Mejora la aireación general de la planta, factor importante para una mayor sanidad del follaje.
- Facilita el control fitosanitario y la cosecha de los frutos.
- Favorece el aprovechamiento de la radiación y la realización de las labores culturales.

Todo lo anterior repercute en la producción final, calidad del fruto y control de las enfermedades.

Generalmente el tutorado puede hacerse con estacones de madera o guadua, diseñándolo de tal manera que tenga el menor número de estacones para evitar el sombrío sobre las plantas. También puede ser parte de la estructura –en el caso de los invernaderos metálicos– siempre y cuando en los cálculos de diseño del mismo se tengan en cuenta las cargas que debe soportar, las cuales están alrededor de 30 kg/m².

El tutorado más empleado bajo invernadero para tomate es el fijo vertical sencillo, utilizando una sola línea de alambre para la siembra a surco sencillo, aunque también se puede utilizar el tutorado vertical doble en los casos en que se siembra a doble surco, donde se utilizan dos líneas de alambre. Su altura de-



pende de la variedad, el número de racimos al que se va a llevar la planta y si se van a descolgar las plantas o se van a llevar a un amarre fijo.

Se construye colocando en cada extremo del surco un poste de madera a una altura mínima de 2,5 metros; en ambos extremos se extiende una línea de alambre galvanizado calibre 8 - 10 o guaya calibre 1/8 y de allí se coloca un gancho de alambre (Figuras 5.40 y 5.41), el cual lleva enrollado la fibra de polietileno (la más recomendada la número 9.000) que mediante argollas o abrazaderas de plástico (clips) van a sostener la planta, las que se anillan al tallo por debajo del pecíolo de una hoja completamente desarrollada (Figura 5.42). Este sistema tiene la ventaja de que no causa un maltrato a las flores, hojas, tallos y frutos; que evita la proliferación de hongos en el contacto de la fibra o trapo en el tallo; y que es de fácil manejo, requiriéndose aproximadamente de 3 a 4 argollas por planta durante todo el ciclo.

La importancia de la utilización de las argollas es la agilidad en el manejo y amarre de las plantas; además no hay maltrato en flores, tallos, hojas y frutos; se evita el ahorcamiento de tallos, quebramiento de las hojas, caída de flores y frutos; son de fácil manejo y no ocasionan heridas a la planta.



Figura 5.40. Sistema de ganchos para guía de la planta



Figura 5.41. Sistema de colgado con gancho de alambre

Este sistema permite descolgar las plantas una vez que han alcanzado la altura del alambre del tutorado (lo cual habitualmente sucede en el momento en que se han cosechado los primeros tres o cuatro racimos) y se realiza inclinando la planta sobre el surco, lo que comúnmente se denomina “poner a caminar





Figura 5.42. Argollas o abrazaderas de plástico para el amarre de las plantas

las plantas” o “descuelgue” (Figura 5.43), permitiendo una mayor facilidad para las labores sanitarias y de cosecha, ya que los racimos se van colocando a una altura adecuada para facilitar la recolección (el sistema es más práctico cuando la planta se lleva a más de 10 racimos). Una vez que la planta ha alcanzado la altura del alambre del tutorado, o que este sea construido a una altura inferior a la recomendada, se libera más hilo y paralelamente se mueven todas las plantas de la hilera en la misma dirección, las plantas de la otra hilera se mueven en la dirección opuesta, y las plantas ubicadas en los extremos de las hileras se doblan en 180 °C; de esta manera, los tallos pueden llegar, al final del cultivo, a una



Figura 5.43. Descuelgue de plantas



longitud de 10 a 12 metros. Posteriormente la planta se deja caer, siempre con la precaución de que los frutos no queden en contacto con el suelo para evitar pudriciones de los mismos. Ahora bien, antes de empezar a descolgar las plantas sobre el surco deben de ser removidas todas las hojas que estén por debajo de los racimos ya cosechados.

Otra manera de hacer el amarre de las plantas al tutorado es mediante cuerdas de plástico o de tela de lycra, que va desde la base de la planta enrollándola en sentido del reloj cada dos o tres hojas, o una vuelta por cada racimo hasta el alambre (Figura 5.44).

La limitante de este sistema es que la fibra causa daños mecánicos a las plantas por ahorcamientos y estrangulamientos de hojas, tallos, flores y frutos; además la lycra utilizada puede almacenar humedad, convirtiéndose en una fuente de inóculo para la propagación de enfermedades fungosas, bacterianas o virosas, siendo lo más recomendable reemplazar estas cuerdas cada que se renueva el cultivo. Otra limitante de este sistema es que no permite descolgar las plantas, dificultando las labores de cosecha y control fitosanitario.



Figura 5.44. Sistema de amarre mediante tela de lycra

La labor de amarre debe hacerse hasta dos veces por semana durante las primeras etapas de desarrollo del cultivo; posteriormente, cuando empieza la formación de frutos, se puede hacer una vez por semana. La frecuencia de esta labor depende de la variedad, el clima, el estado nutricional del cultivo y la programación de las tareas.



Control de Malezas

La aplicación de herbicidas dentro del invernadero no es aconsejable debido a la residualidad que pueden generar estos productos; no obstante, su utilización se justifica cuando se inicia por primera vez el cultivo y el terreno donde se construye el invernadero está cubierto de malezas o pastos que no son fáciles de erradicar. Antes de iniciar la construcción del invernadero, y si el lote no ha tenido uso desde hace tiempo, es recomendable la aplicación de un herbicida sistémico para eliminar aquellas malezas agresivas –el caso del coquito y el pasto kikuyo–, de lo contrario se dificulta su control luego de establecido debido a su agresividad y a los altos costos de mano de obra para erradicarlas (Figura 5.45).



Figura 5.45. Invernadero infestado con la maleza coquito

La mayoría de productores no le da a esta actividad la importancia que merece, debido a su desconocimiento acerca de cómo combatir las malezas y cuáles son los problemas que acarrearán al cultivo. Por esta razón se debe resaltar la necesidad de controlarlas adecuadamente y a tiempo, para que no se vuelvan un problema incontrolable. En primer lugar, la mejor forma de combatir las malezas es antes de la siembra o trasplante, lo cual debe planearse con anterioridad tomando en cuenta el periodo necesario para que las malezas crezcan hasta el punto donde son más vulnerables y puedan ser controladas con eficacia. Por ejemplo, si el problema es el coquito (*Cyperus* sp.) el terreno se debe preparar, encamar y luego regar para estimular su crecimiento y así, al llegar a la floración, se le puede aplicar un herbicida como glifosato (Round-up, Batalla, Ranger, Glifolac, Root-out).

Si se usa este producto no se debe olvidar acidificar el agua a un pH de 4, que se trasloca hasta las raíces y coquitos de la planta y de esta manera disminuye las poblaciones con efectividad; sin embargo, el tiempo para llevar a cabo todo



el procedimiento es de aproximadamente 30 a 35 días (incluyendo el tiempo de preparación de suelos y desarrollo de la maleza), lo que viene a reafirmar la importancia de la planificación de la siembra.

Los problemas principales que las malezas ocasionan al cultivo de tomate son:

- *Compiten por nutrientes con el tomate.* Hay que recordar que todas las recomendaciones de fertilización que se hacen están basadas en las necesidades del cultivo o la extracción de nutrientes del suelo, y si tenemos malezas creciendo a la par de las plantas de tomate estas consumen parte del abono que estamos aplicando para dicha hortaliza, afectando su crecimiento. Por lo tanto, si hay malezas compitiendo con el cultivo se debe agregar mayor cantidad del abono que se recomienda, lo que eleva los costos de nutrición.
- *Compiten por agua y luz con el tomate.* El desarrollo de malezas a la par del cultivo limita la cantidad de agua y luz que la planta podría tener solo para ella; por ejemplo, hay malezas que crecen más rápido que el tomate, las cuales en determinado momento cubren las plantas dándoles sombra y haciendo menos eficiente la fotosíntesis, la polinización y el cuajado de los frutos por falta de luz. Igualmente, el tiempo de riego necesario aumenta debido a la competencia, lo que repercute directamente en el bolsillo del productor, ya que tiene que pagar más energía o combustible y agua.
- *Son hospederos de plagas y enfermedades.* Se denomina hospedera a la planta que sirve de manera específica o forzosa para que un insecto u hongo pase en ella parte de su vida, dándole asilo cuando el cultivo no está en el campo y permitiendo que complete su ciclo de vida. Todas las malezas son verdaderos hospederos, por tanto, si se quiere tener éxito en el cultivo es esencial controlar las malezas con anterioridad, no solo las que crecen en el campo de siembra sino también las que están a sus alrededores. En caso de tener malezas en el campo de cultivo se recomienda hacer aplicaciones de pesticidas también a las malezas.

Las malezas pueden ser combatidas de la siguiente manera:

Control Manual

Con herramientas manuales (cuma, azadón, machete, etc.). Se recomienda hacer controles manuales únicamente en la línea de siembra, donde va la manguera de goteo, teniendo cuidado de no romperla.



Control Mecánico

En este se utiliza tractor o cultivadoras con motor; también se pueden utilizar equipos con tracción animal. Se hace principalmente en las calles y se recomiendan dos limpiezas, a los 20 y 35 días después del trasplante.

Control Químico

Se utilizan herbicidas selectivos o quemantes. Se aconseja usar Metribuzina (Sencor) aplicándolo 20 días después del trasplante, cuando el tomate esté bien establecido y las malezas tengan 4 o 5 hojas (el control es más eficiente en malezas de menos de 4 cm). No se deben plantar cucúrbitas en el mismo campo por lo menos en los 8 meses siguientes. El tipo de malezas que controla son las anuales de hoja ancha y angosta (zacates). Cuando se aplica el herbicida, el terreno debe estar húmedo pero sin charcos; no es conveniente en suelos salinos, arenosos o en condiciones adversas. Lo recomendable es no emplearlo sino hasta pasadas 72 horas después de días nublados, extremadamente fríos o calurosos, ni bajo otras condiciones estresantes para los cultivos.

Los herbicidas quemantes se aplican a las malezas que crecen en la calle, lo cual hace más barato y eficiente su control. La humedad del suelo es importante para una buena acción del herbicida (Corpiño, 2004).

La época más crítica de competencia en el cultivo de tomate por las malezas está estimada entre los 35 y 70 días después del trasplante. Dentro del surco las malezas interfieren en el cultivo compitiendo por luz, agua y nutrientes del suelo, o a través de la producción y secreción de sustancias tóxicas al cultivo (alelopatía), por ser hospederas alternas de patógenos o insectos plagas de cultivo, o por favorecer el aumento de la humedad relativa dentro del invernadero favoreciendo la presencia de plagas y enfermedades (Barreto *et al.*, 2002; Lobo y Jaramillo, 1984), razón por la cual deben ser eliminadas (Figura 5.46) dejándose en las calles para que mediante su descomposición se incorporen al suelo, siempre y cuando con inspección se compruebe que no son fuente de inóculo de plagas y enfermedades. Las malezas dentro de las calles de los surcos (si no afectan el cultivo por un exceso de humedad) se dejan para favorecer el refugio de enemigos naturales de las plagas.

Es importante tener en cuenta las condiciones climáticas al interior del invernadero al momento de realizar una desyerba a las calles, ya que si hay una humedad relativa muy alta en él, es aconsejable eliminar las malezas para tratar





Figura 5.46. Cultivo libre de malezas

de bajar esta humedad; si, por el contrario, al interior del invernadero se presentan altas temperaturas, esto puede ocasionar una disminución severa de la humedad relativa; en este caso sería aconsejable dejar las malezas en las calles para controlar esta situación, siempre y cuando no sean hospederas de plagas y enfermedades.

Las desyerbas se deben realizar periódicamente en forma manual o con azadones, teniendo cuidado de no causar daño a las raíces. La utilización de herbicidas para el control de malezas en el invernadero no es una práctica muy recomendable, ya que podría darse fitotoxicidad al cultivo debido a la residualidad que presentan algunos de estos productos (Figura 5.47).



Figura 5.47. Control de malezas con herbicidas, práctica poco recomendable



Coberturas plásticas

Otra forma de controlar las malezas dentro del surco es mediante la utilización de coberturas plásticas sobre el surco, que además de impedir el brote de las malezas reduce el consumo de agua al disminuir la evaporación, ayuda a una mejor distribución del agua en el perfil, protege el suelo de la erosión, favorece el desarrollo y penetración radicular de manera horizontal, facilita la absorción óptima de los nutrientes y el almacenamiento de calor en el suelo para el periodo nocturno, y reduce la elevación de temperatura diurna –así como la variación de esta– constituyéndose en medio de defensa de las plantas contra las bajas temperaturas e influyendo considerablemente en el aumento de la producción y mayor precocidad en la cosecha de los frutos; así mismo, puede ayudar a disminuir el desarrollo de enfermedades foliares, ya que dentro del invernadero se mejora el microclima gracias a que se reduce la evapotranspiración de la humedad del suelo, se restringe la pérdida de nutrientes por lixiviación o fijación y se aminora la compactación del suelo, facilitando la actividad microbiana y aumentando el nitrógeno disponible en el suelo al disminuir la evaporación de los compuestos nitrogenados (Flórez, 1986; Jaramillo *et al.*, 2007).

Las coberturas más utilizadas actualmente son el polietileno calibre 3 plateado (ampliamente utilizado para el control de arvenses) (Figura 5.48) transparente (para aumentar la temperatura del suelo y desinfectar por solarización) y blanco (para obtener mayor reflexiones de radiación). En climas cálidos se recomienda el uso de blanco/negro o plateado/negro, y en climas fríos negro o plateado/negro.



Figura 5.48. Uso de coberturas plásticas para el control de malezas



Ventajas del uso de coberturas plásticas

- *Humedad del suelo:* por ser un plástico impermeable al agua, la humedad retenida en la cama cubierta no se evapora y está siempre disponible para el desarrollo del cultivo, pues este se beneficia de una alimentación constante y regular. La distribución de la humedad uniforme dentro de la cama permite un mayor desarrollo de raíces superficiales en forma horizontal sin necesidad de profundizar en busca de agua, aprovechando más los nutrientes disponibles en el suelo, ya que se presenta una mayor actividad (Zeidan, 2005).
- *Temperatura del suelo:* durante el día, el plástico transmite al suelo las calorías recibidas del sol, y durante la noche, este calor es retenido por el plástico por un periodo más prolongado, favoreciendo el calentamiento del suelo y por ende su actividad microbiana (principalmente de los microorganismos benéficos descomponedores de materia orgánica) facilitando la disponibilidad de nutrientes para la planta. El calentamiento del suelo permite además eliminar aquellos patógenos del suelo que afectan a las plantas, como son, entre otros hongos: *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Fusarium* y *Phoma*, que no soportan altas temperaturas.
- *Estructura del suelo:* el suelo cuando está protegido con cobertura no se compacta y permanece bien estructurado, poroso, con mayor capacidad de absorber oxígeno y retener humedad. Así mismo, el sistema radicular se desarrolla lateralmente en vez de profundizar, con mayor número de raíces, lo que favorece la mayor absorción de agua, sales minerales y demás fertilizantes que la conducen a un considerable aumento de la producción.
- *Fertilidad del suelo:* la película plástica que protege el suelo impide que el agua de riego se lave, evitando la lixiviación de los nutrientes. De la misma forma, las pérdidas de nitrógeno son anuladas debido a la impermeabilidad del plástico, ya que evita la volatilización del nitrógeno.
- *Hierbas dañinas:* el crecimiento y desarrollo de hierbas dañinas debajo de la cobertura plástica dependen de la capacidad de dicha cobertura para impedir el paso de la luz. Los plásticos opacos, generalmente de coloración oscura, no permiten el paso de la luz, lo que imposibilita la función de fotosíntesis y hace que la vegetación espontánea no tenga condiciones para desarrollarse; igualmente, el incremento de las temperaturas evita el crecimiento de las malezas.
- *Protección de los frutos:* la cobertura plástica actúa como una barrera de separación entre la tierra y la parte foliar de la planta y evita que los frutos tengan



contacto directo con el suelo permitiendo que estos se desarrollen limpios y sanos, logrando con ello mejor calidad y valor comercial. Esta ventaja es muy importante para el cultivo de tomate, ya que el primer racimo produce frutos rastreros, donde las pérdidas por pudriciones se reducen.

- *Época de cosecha:* como la planta constantemente tiene disponibilidad de agua y fertilizantes, y con temperaturas más favorables a sus necesidades su ciclo tiende a ser más corto que los cultivos normales, esto posibilita a los agricultores llegar a los mercados antes y obtener mejores precios por sus productos, liberando el terreno mucho más rápido para el cultivo siguiente.
- *Incremento de la productividad:* todas las ventajas mencionadas anteriormente conducen a las plantas a una producción más voluminosa.

Desventajas del uso de coberturas plásticas

- Cuando se instalan coberturas plásticas necesariamente se requiere que la fertilización se realice a través de un sistema de riego por goteo y no edáfica.
- La utilización de coberturas plásticas necesita la implementación de un plan de manejo de reciclaje de las mismas una vez han cumplido su vida útil.
- Necesariamente se debe hacer uso del tensiómetro para tomar decisiones con respecto al riego, puesto que las coberturas plásticas no permiten observar los contenidos de humedad del suelo.

Manejo de residuos de cosecha

Compostaje

El compostaje es un proceso biológico en donde organismos (micro, meso y macroorganismos) transforman materiales orgánicos (residuos de cosecha, estiércoles, papel, subproductos industriales y otros) para un resultado con apariencia de suelo, denominado compost. Dicho proceso se caracteriza por el control que el hombre puede ejercer, cambiando la velocidad y características del producto final en comparación con la descomposición biológica que se da de manera natural.

Al compost se le debe considerar como un acondicionador de suelos que, de acuerdo con su calidad y manejo, puede mejorar o mantener condiciones físicas, químicas y biológicas, manifestadas en la calidad y productividad de los cultivos.



Por otro lado, el compostaje ofrece grandes ventajas de tipo ambiental, ya que reduce sustancialmente la cantidad de materiales orgánicos susceptibles a ser dispuestos inadecuadamente, los cuales determinan un riesgo de contaminación de suelos, aguas y del aire. De igual forma, el compostaje responde a criterios de reciclaje interno y autosuficiencia, contemplados como indispensables en un esquema de agricultura sostenible.

Este proceso, por ser de carácter biológico, comprende unas restricciones generales que determinan la intensidad de la actividad de los organismos durante la descomposición y resíntesis de los materiales orgánicos. Fundamentalmente se consideran como restricciones generales del proceso la disponibilidad de nutrientes, agua y oxígeno. Las condiciones óptimas de compostaje se determinan por factores de carácter químico, físico y biológico que modifican negativa o positivamente las restricciones.

- **Disponibilidad de oxígeno:** dentro de la masa de materiales orgánicos en el proceso de compostaje existe un espacio poroso ocupado por el aire, que en condiciones normales tiene una concentración de oxígeno de más o menos 21%. Los microorganismos que son responsables en gran parte del proceso de descomposición son fundamentalmente heterótrofos aerobios, por lo que en condiciones en las que se promueve el crecimiento de las poblaciones microbianas aumenta igualmente la demanda por oxígeno, y dicho crecimiento se ve limitado cuando en la atmósfera del compost solo se cuenta con un 5% de oxígeno.

Cuando el porcentaje de este es menor, imposibilita el mantenimiento de los microorganismos aeróbicos y aparecen los anaerobios, los cuales utilizan unas vías metabólicas distintas para la descomposición de la materia orgánica, donde se obtienen subproductos como el metano y gases del azufre, que generan un olor característico.

La necesidad de recuperar y mantener un contenido aceptable de oxígeno determina las pautas para unas prácticas adecuadas de ventilación natural o inducida mediante los volteos y remezcla del material, así como de la ventilación forzada lograda mediante equipos especiales.

Los requerimientos de oxígeno son mayores para las fases mesófila 1 y la termófila, debido al incremento de la actividad de los microorganismos (especialmente por crecimiento de las poblaciones que realizan la ruptura de las cadenas de los compuestos de carbono disponibles con mayor rapidez) para lo que requieren grandes cantidades de oxígeno. Para la fase mesófila 2 disminuye la



demanda de oxígeno, y finalmente para la fase de maduración se producen las menores demandas de todo el proceso.

- **Relación carbono orgánico / nitrógeno total:** el carbono orgánico contenido en la materia orgánica provee de distintas fuentes de energía a los microorganismos encargados de su descomposición. La disponibilidad de esta fuente de energía está relacionada con el tipo de compuestos que prevalecen en el material, donde los de mayor disponibilidad corresponden a los azúcares simples. Los otros compuestos de carbono orgánico como hemicelulosas, celulosas, ligninas, grasas, ceras y otros, tienen menores tasas de disponibilidad para los microorganismos; por lo tanto, la proporción de las distintas fracciones de carbono orgánico limitan el desarrollo y actividad de los microorganismos.

De otra parte, el nitrógeno es usado por los microorganismos para elaborar los compuestos de proteína indispensables para su crecimiento y funcionamiento. La disponibilidad del mismo también se encuentra determinada por la forma como se halla en los materiales en compostaje. Las fuentes solubles son las de mayor disponibilidad pero generalmente representan un porcentaje muy bajo del nitrógeno total; sin embargo, la adquisición del nitrógeno de compuestos orgánicos no es tan restrictiva, como el caso de las fuentes de carbono, de difícil disponibilidad. El consumo de carbono orgánico se encuentra relacionado proporcionalmente con la energía necesaria para metabolizar las sustancias proteicas necesarias, por lo cual es el balance entre los dos lo que determina las condiciones para un buen desarrollo de las poblaciones de microorganismos.

Cuando la relación C/N de los materiales en compostaje es muy baja, se presta para la pérdida por volatilización del nitrógeno en forma de amonio. Caso contrario cuando la relación es muy alta, y especialmente al ser la humedad muy baja y las fuentes de carbono ligninas, se puede presentar autocombustión formando ceniza. Para los residuos del cultivo del tomate en la sabana de Bogotá, la relación C/N es 10,5 resultante de un 19,66% de C y 1,88% de N.

- **Humedad:** la humedad inicial de los materiales determina el porcentaje de humedad de la mezcla teniendo en cuenta la proporción en la que participan, afectando igualmente el peso del material y generando cargas puntuales de distinta magnitud de acuerdo con su humedad.

El agua es el medio en el cual se producen las reacciones químicas, fundamentalmente por acción enzimática, así como el movimiento de la mayoría de



microorganismos que aparecen durante el compostaje, el transporte y difusión de nutrientes dentro del perfil de la masa de compostaje y el control de la temperatura mediante la disipación de energía por evaporación.

Cuando la humedad es menor del 15% del peso de la masa de compostaje, se paraliza casi por completo la actividad microbiana, disminuyendo por ende la velocidad de descomposición. Esta situación se conoce como ‘estabilización no biológica del compost’, y sucede comúnmente en nuestro medio con algunas gallinazas que se comercializan secas y molidas sin haber logrado realizar un proceso completo de compostaje.

El contenido ideal para mantener una buena tasa de actividad microbiana durante el compostaje y control de la temperatura es del 40% al 65%. Porcentajes superiores determinan el riesgo de ocupar espacios porosos necesarios para la oxigenación, con agua libre que limite la conductividad del aire entre la masa de compostaje y la atmósfera externa.

El agua durante el proceso se puede perder fundamentalmente por evaporación, por lo que se maneja la posibilidad de regar las pilas de compostaje combinando prácticas que disminuyan esta desaparición. Un mal diseño en la geometría de la pila trae como consecuencia pérdidas muy altas por lixiviados.

- **Porosidad y tamaño de partículas:** determina la dinámica del agua y del aire al interior de la pila de compostaje y con el ambiente exterior, facilitando o restringiendo la conductividad de ambos elementos. La porosidad se relaciona con la consistencia de los materiales orgánicos, la humedad, el tamaño de las partículas, lo homogéneo de la mezcla, la geometría de la pila y la densidad final de la composición.

El tamaño de partículas se relaciona con los tipos de picado que se utilicen. Es de considerar que materiales consistentes como tallos leñosos o semi-leñosos deben ser preferiblemente picados, haciendo de estos fragmentos pequeños, con el fin de aumentar la superficie específica para la acción de los microorganismos. Por el contrario, materiales muy poco consistentes como hojas de lechuga en muchos casos es preferible no picarlos, ya que ciertas máquinas los transforman en una papilla poco útil.

De acuerdo con la técnica de compostaje se deben tener en cuenta las características de espacio poroso en función de los requerimientos de conductividad del aire y el agua y la geometría de las pilas.



- **pH de los materiales orgánicos:** en general es muy poca la variación del pH durante el proceso de compostaje, considerándose de alta importancia su valor de inicio en el proceso.

A pH altos aumenta la posibilidad de las pérdidas por volatilización de nitrógeno, razón por la que la adición de cal o cenizas para incrementar el pH final se debe manejar con prudencia. Por otro lado, es muy raro encontrar materiales orgánicos con muy bajo pH. Se considera como restrictivo un pH mayor de 9 o menor de 5,5.

- **Temperatura:** la temperatura en el compostaje se produce por una reacción exotérmica debido a la oxidación de la materia orgánica por los microorganismos, rompiendo mediante procesos enzimáticos las moléculas complejas de carbono orgánico y logrando sustancias más simples para su nutrición, ruptura en la que resulta una liberación de CO₂ y energía. Las condiciones que determinan la capacidad de retener o liberar la temperatura del interior de la pila de compostaje están relacionadas con la geometría de la pila, la porosidad del material y la humedad.

Los cambios de temperatura y las temperaturas de las poblaciones de microorganismos asociados a esas condiciones determinan 3 fases claramente distintas: la primera fase mesófila ocurre desde el momento de la disposición del material a compostar (según el método escogido) hasta lograr temperaturas internas de 45 °C; posteriormente continúa la fase termófila, en donde la temperatura puede llegar hasta los 70 °C. En algunos casos –y según las características de los materiales y al manejo que se les dé– se puede llegar a temperaturas superiores a los 70 °C, determinando la muerte o dormancia de los microorganismos, lo cual se refleja en una caída brusca de la temperatura.

En condiciones normales disminuyen los compuestos utilizados por los microorganismos termófilos, ocurriendo un descenso lento de la temperatura correspondiente a la segunda fase mesófila del proceso.

- El manejo de los residuos de la cosecha es un factor importante que debe considerar el productor, tanto para la parte fitosanitaria como para la ecológica.
- Los residuos deben ser dispuestos en el área correspondiente a ello; las pilas de compostaje son un parámetro que los productores deben tener en cuenta, ya que son importantes el manejo ambiental de residuos y la recirculación de energía dentro del sistema agrícola.



- El productor no debe descuidar los residuos contaminados y debe ubicarlos fuera del sitio de cultivo lo más rápido posible para evitar propagación de plagas y enfermedades.
- Se recomienda que las pilas de compostaje estén alejadas de los sitios de producción y de poscosecha para evitar la posible contaminación cruzada.
- El adecuado relieve del terreno evita problemas de contaminación por escorrentía y lixiviación de residuos (Parrado y Ubaque, 2004).

La producción de hortalizas es un sistema altamente generador de residuos de cosecha. La cantidad de residuos (dependiendo de la especie) va desde 12 t/ha en calabacines, hasta 73 y 80 t/ha en brócoli y repollo. El manejo tradicional de estos cultivos es el de la incorporación al suelo sin tratamiento y al momento de la preparación del terreno para nuevas siembras; sin embargo, estos residuos generalmente son portadores de hongos, bacterias, nematodos fitopatógenos y de plagas fitófagas que actúan como fuente de inóculo o de infestación para nuevos cultivos, perpetuando así el ataque de plagas y enfermedades y obligando al productor a la aplicación cada vez más frecuente de fungicidas e insecticidas para el control de las mismas.

La producción de compost a partir de residuos de cosecha para la obtención de materia orgánica es una valiosa estrategia a utilizar en la producción limpia de hortalizas, puesto que el compost maduro aporta nutrientes y humus estable, mejora la capacidad de retención de agua, el drenaje y la aireación del suelo; además de favorecer y reactivar la microflora del terreno también ayuda a la formación de sustancias protectoras, antibióticos, auxinas y otros componentes bióticos que permiten la defensa de las plantas al ataque de plagas y enfermedades, mejorando la asimilación de los nutrientes minerales del suelo, permitiendo la disminución de la dependencia de aplicaciones externas de fertilizantes sintéticos y siendo una solución al manejo de residuos de cosecha fuente de inóculo de plagas y enfermedades.

En el proceso de descomposición de los residuos de cosecha actúan una serie de microorganismos benéficos, tales como bacterias acidolácticas, levaduras y algunas bacterias fotosintéticas, hongos actinomicetos y otro tipo de microorganismos que benefician el proceso de fermentación (necesario para la obtención de materia orgánica) actuando a su vez en el proceso de descomposición, favoreciendo la detoxificación de pesticidas, suprimiendo los hongos presentes en el suelo que puedan atacar las plantas cultivadas, incrementando el reciclaje de nutrientes



en el terreno y produciendo compuestos bioactivos tales como vitaminas, hormonas y enzimas que estimulan el crecimiento de las plantas.

Dentro de estos microorganismos del suelo se pueden mencionar las bacterias *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* y *P. putida*, que producen antibióticos para el control de hongos fitopatógenos; así mismo los hongos *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *Penicillium fumiculosum* y *Aspergillus ochraceus*, para el control de hongos del suelo del género *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Pythium* sp. y *Phytophthora* sp.

Los hongos entomopatógenos como *Metarhizium anisopliae*, *Beauveria bassiana*, *Paecilomyces* spp. y *Nomurea rileyi*, perjudican las poblaciones de insectos plagas del suelo como chiza y trozadores. El hongo *Paecilomyces lilacinus* es un eficiente controlador de los nematodos fitopatógenos, los cuales también son afectados por los hongos depredadores *Arthrobotrys* sp., *Dactylaria* sp. y ciertas bacterias quitinolíticas. A su vez, existen los nematodos benéficos entomófagos como *Steinernema carpocapsae*, *Heterorahbditys* spp. y otros que parasitan a los insectos del suelo y a ciertos nematodos fitopatógenos.

A nivel comercial se encuentran varios productos con combinaciones de diferentes microorganismos, cuya función principal es la de acelerar el proceso de descomposición de residuos de cosecha para la producción de materia orgánica en el suelo e incrementar la comunidad de organismos benéficos del mismo (Jaramillo 2001).

Rotación de cultivos

Mediante el diseño de asociaciones y rotaciones de cultivos, es factible estabilizar las poblaciones de insectos en los agroecosistemas gracias al incremento y la conservación de poblaciones de enemigos naturales y por medio de efectos disuasivos directos sobre insectos herbívoros.

La rotación consiste en evitar la siembra de un cultivo permanentemente en el mismo sitio, práctica que a su vez permite por una parte impedir la proliferación de insectos plagas y enfermedades que atacan los cultivos al alterar el hábitat que los favorece, rompiendo así su ciclo biológico, y por otra mantener la fertilidad del suelo, pues los cultivos tienen diferentes requerimientos nutricionales, lo que evita el agotamiento de determinados nutrientes cuando se siembra el mismo cultivo.



El monocultivo continuado de una especie normalmente lleva a la disminución del nivel de producción, en comparación con la producción de la misma especie en rotación. Algunas veces la reducción de la producción no está relacionada con problemas de fertilidad, plagas o enfermedades, sino más bien por la presencia de toxinas de efecto alelopático, derivadas del proceso de descomposición de los residuos vegetales del monocultivo.

Los sistemas de policultivo constituyen unidades diversificadas en el tiempo y en el espacio, y cada arreglo en ellos genera diferentes efectos sobre poblaciones animales y vegetales presentes en la parcela agrícola.

Las combinaciones obtienen como resultado una utilización más eficiente de la luz, el agua y los nutrientes por parte de las plantas de diferentes alturas, estructura de doseles y necesidades de nutrientes; con esto, las enfermedades y las plagas no se pueden expandir tan rápidamente debido a la susceptibilidad diferencial de las mismas (así como de los agentes patógenos) y debido también a la mayor biodiversidad que favorece la cantidad y eficacia de los agentes de control biológico (Jaramillo, 2001).

- Es conveniente mantener y aumentar la fertilidad del suelo y su actividad biológica, complementando el uso de los abonos orgánicos con prácticas de rotación de cultivos.
- La rotación de cultivos en la producción de tomate bajo invernadero sirve para romper los ciclos de plagas y enfermedades.
- En la rotación de cultivos bajo invernadero se deben tener en cuenta parámetros de clima, infraestructura, fertilidad, sistemas de riego y productividad.
- La rotación de cultivos debe realizarse entre familias y tipos de cultivos, así se varían los requerimientos nutricionales de las plantas y se puede racionalizar la compra de insumos como fertilizantes.
- Mediante estas prácticas también se ayuda a la diversificación de la finca, lo que conlleva a un mejor manejo fitosanitario (Parrado y Ubaque, 2004).

Algunas de las especies con las que se puede rotar el tomate son: maíz dulce, arveja, arveja china o guisante, arveja dulce, habichuelón o ejote y ají. En el caso de querer rotar por problemas fitosanitarios, una de las alternativas es rotar los materiales que se siembran, teniendo en cuenta la diversidad de tolerancias de los híbridos que se pueden sembrar en nuestras condiciones.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avidan, A. (2004). *Sustratos artificiales*. Departamento de irrigación y suelos. Servicio de extensión Agrícola, Ministerio de Agricultura. Israel. 10 p.
- Barreto O, J. D.; Miranda L, D.; Aguirre G., M. C.; Echeverri A., L. A.; Caicedo, A. M.; Campos V., Y. Y. (2002). *Manual del cultivo de tomate tipo milano, pimentón, maíz dulce y frijol en el sistema de siembra en camas plastificadas, bajo las condiciones agro ecológicas de la meseta de Ibagué*. Colciencias, Cooperativa Serviarroz, Corpoica, Sena. Ibagué. P. 3-42.
- Bruzón, S. (2000). *La producción de tomate bajo invernadero*. Palmira. Revista Asiava. No. 56. P. 21-22.
- C.I.A.A. (2002). *Producción sostenible de hortalizas*. Centro de investigaciones y asesorías agroindustriales. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Chía, Cundinamarca.
- Corpeño, B. (2004). *Manual del cultivo de tomate*. Centro de inversión, desarrollo y exportación de agronegocios. Fintrac. 15 p.
- Flores, I. (1986). *Cultivos de Hortalizas*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. División de Ciencias Agropecuarias y Maritimas. Departamento de Agronomía. Monterrey, México. 170 p.
- Franco L, José Antonio. (2001). *Los Sustratos Agrícolas en la Región de Murcia*. Sustratos Agrícolas/ Murcia. Agrícola Vergel.
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA. (1992). *Fertilización en diversos cultivos quinta aproximación*. Manual de asistencia técnica N° 25. Centro de investigación Tibaitatá. Mosquera, Colombia. Noviembre de 1992. 64 p.
- Jaramillo N., J. E. (2001). *El manejo Agronómico de cultivos como Herramienta de Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades tendientes a la producción limpia de hortaliza*. En: *Hortalizas plagas y enfermedades*. Compendio de eventos 1. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria –Corpoica–. Sociedad Colombiana Entomológica, Socolen. P. 5-21.
- Jaramillo N., J. E.; Díaz D, C. A.; Sánchez L., G. D. y Tamayo M., P. J. (2006). *Manejo de semilleros de hortalizas*. Manual técnico 8. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, C.I. La Selva. Rionegro, Antioquia. 52 p.
- Jaramillo N., J. E.; Rodríguez V. P.; Guzmán A. M.; Zapata C., M. A. y Rengifo, T. (2007). *Buenas prácticas Agrícolas (BPA) en la producción de tomate bajo condiciones protegidas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación –FAO–. Gobernación de Antioquia, Dirección Seccional de Salud de Antioquia, Plan de Seguridad Alimentaria y Nutricional de Antioquia –Mana–, Convenio FAO-MANA: Proyecto de Seguridad Alimentaria y Buenas Prácticas Agrícolas para el Sector Rural en Antioquia Proyectos UTF/COL/027/COL, TCP/COL/3101. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Centro de Investigación La Selva, Medellín Colombia. 313 p.

