

4. Manejo del cultivo

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

4.1 Preparación de semilleros

En la producción de hortalizas existe la tendencia a adquirir las plántulas donde productores especializados en propagación, con un costo muy similar al que tendría el cultivador si produjera sus propios semilleros, ya que, igual, tendría que adecuar una infraestructura para ello; además, esto evita las pérdidas ocasionadas por un desconocimiento en el manejo y la preparación de los 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. El semillero se debe realizar en recipientes (vasos, bandejas) debidamente adecuados para depositar las semillas y poder brindarles las condiciones óptimas de luz, temperatura, fertilidad y humedad, a fin de obtener la mejor emergencia durante sus primeros estados de desarrollo, hasta el trasplante al campo. La producción de plántulas es un procedimiento de vital importancia para lograr éxito en el cultivo, ya que el futuro de la planta, su crecimiento y producción de fruto es afectado por la calidad de la planta que se lleve a campo.

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, deben estar ubicados donde se les puedan brindar los máximos cuidados, ya que las plántulas crecen con rapidez y cualquier alteración de las condiciones ambientales puede incidir en su desarrollo. Por lo tanto, lo más conveniente es ubicar el semillero bajo una cobertura plástica o invernadero (figura 64), donde sea posible controlar los cambios de temperatura, la humedad relativa, el agua lluvia, los insectos plagas, las enfermedades y la entrada de animales; debe estar cerca a fuentes de agua, debido a que las semillas y plántulas requieren riegos cortos, pero frecuentes, realizados preferiblemente por aspersión.

La zona de los semilleros debe ser iluminada y libre de sombras, no debe estar cerca o debajo de árboles que impidan la entrada de la luz y que ocasionen daños por descargas fuertes de agua. Así mismo, hay que protegerlos de vientos fuertes que puedan perjudicar las plántulas, tumbándolas, torciéndolas o hiriéndolas con polvo o arenilla. El viento (excesivamente seco) puede producir daños importantes por intensificar la transpiración hasta el extremo de producir quemaduras o marchitamiento.



Figura 64. Semillero bajo invernadero

Los semilleros de producción comercial intensiva deben ubicarse de oriente a occidente para que las plantas 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, en especial la semilla híbrida de tomate, cuya alta calidad es hoy exigida por el consumidor, el método más utilizado para obtener plantas sanas y vigorosas es mediante germinación de la semilla en bandejas plásticas de 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 el tamaño y número de las celdas varía de acuerdo al fabricante. En general, se utilizan bandejas de 53 a 200 conos o celdas.

Para la producción de plántulas de tomate se recomiendan bandejas de 53 a 128 conos, con un volumen por celda de 37 a 28 cm³. Las bandejas de 53 orificios (figura 65) permiten mayor desarrollo radicular y del follaje, sin embargo incrementan los costos por plántula, porque requieren mayores cantidades de sustrato por celda. La selección del tipo de bandeja dependerá del tamaño y la calidad finales deseados de las plantas, del costo de la bandeja y del tipo y costo del sustrato.



Figura 65. Bandejas para semilleros de 53 orificios

4.1.1 Ventajas de la siembra de semilleros en bandejas de confinamiento

Ahorro de semillas

En un semillero tradicional se requiere utilizar aproximadamente un 30% más de semilla de la que se va a sembrar en campo para 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, 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 tierra, agua, luz y nutrientes y su raíz sólo puede crecer hasta el final del cono.

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 66).



Figura 66. Plántulas de tomate en semillero

Desarrollo radicular dirigido

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 de cono o tubete. Este comportamiento de la raíz evita que la plántula se ahorque entre sus raíces. Esta raíz con desarrollo vertical, sujeta y ancla muy bien la plántula al trasplantarse a campo (figura 67).



Figura 67. Plántula de tomate con un correcto desarrollo de raíces

Poda natural de raíces y control de malezas

Al colocar los semilleros sobre una cama de alambres, se evita que los conos toquen el suelo y las raíces se peguen a él; al no encontrar suelo las raíces sufren una poda natural y se concentran en el interior del cono. Así mismo, se tiene un excelente drenaje del cono cuando la bandeja está levantada. 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 del trasplante. Por otro lado, la presencia de malezas en la bandeja es menor, siempre y cuando el sustrato esté bien desinfectado.

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

Ahorro de área de vivero

Con la utilización de bandejas se emplea menos área de vivero y se reducen los costos de riego, porque las plántulas se organizan más fácilmente en los surcos y caben más por metro cuadrado.

Ahorro de sustrato

La cantidad de sustrato para llenar las bandejas es muy inferior comparado con el requerido en los semilleros tradicionales. Igualmente, la cantidad de sustrato que hay que 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 extraer la plántula al momento del trasplante o siembra final, sin destrucción de raíces, lo que disminuye el porcentaje de mortalidad de plantas en el campo.

Higiénicos y esterilizables

Las bandejas pueden ser desinfectadas con una solución diluida de hipoclorito de sodio o yodo agrícola 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 el excelente desarrollo de las plántulas, y la conservación de las raíces al momento del trasplante, la plántula se desarrolla más rápidamente en campo porque no tiene que restituir sus raíces perdidas, lo que acelera su crecimiento y disminuye su ciclo vegetativo en campo, esto se traduce en mayor utilidad y productividad y ahorro de energía y nutrientes del cultivo.

4.1.2 Tipos de sustratos

Bajo invernadero, los semilleros se pueden hacer con suelo, con sustratos orgánicos, con sustratos artificiales o con una mezcla apropiada de éstos. Siempre se debe lograr un sustrato con características físicas, químicas y biológicas propicias, que faciliten la germinación.

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

Los sustratos son materiales orgánicos o inorgánicos usados como soporte en semilleros o en cultivos; pueden ser de origen industrial, mineral o agropecuario. Generalmente se emplean mezclados y buscan reemplazar el suelo para evitar los problemas físicos, químicos y biológicos (sanitarios) que éste pueda presentar para la germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas. Pueden estar compuestos por elementos naturales o modificados por reacciones físicas y químicas, ser totalmente inertes o tener actividad química.

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 éste es posible saber el tipo de preparación que se requiere previo a su uso, sus aplicaciones y las técnicas de manejo pertinentes.

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

Características de los sustratos

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 buena calidad. Para lograrlo se deben considerar varios aspectos:

- La disponibilidad del material en el mercado.
- La posibilidad de manipularlo y de mantener características adecuadas al humedecerse.
- Su precio y el de la preparación.
- Su descomposición a lo largo del tiempo y la posibilidad de reutilización (en cultivos).
- Las características físicas: el tamaño de partículas, la porosidad y la retención de humedad.
- Las características químicas: el pH, la capacidad de intercambio de cationes, la salinidad, la relación carbono/nitrógeno y el contenido de nutrientes.
- Que esté libres de enfermedades, insectos y malezas.
- Que tenga baja densidad aparente, es decir, que sea un material liviano con alto porcentaje de espacio poroso (>80%) y un volumen de aire a capacidad de campo mayor al 20%.
- Que mantenga un volumen de agua fácilmente disponible mayor a 20%.
- Que tenga un buen drenaje y capacidad de infiltración.
- Que tenga buena cohesión entre partículas.
- Que no tenga tendencia a la compactación.
- Que alcance buen estado nutricional tanto de microelementos como de elementos mayores y tenga una acidez óptima.
- Los programas de nutrición y de sanidad vegetal.
- En caso de su utilización en mezcla, que sea(n) fáciles de mezclar.
- Que resista los cambios del ambiente, tanto físicos como químicos.

En semilleros bajo invernadero que no utilizan sustratos artificiales para mejorar las condiciones físicas del suelo, especialmente la porosidad, se recomienda hacer una mezcla orgánica, cuya proporción dependerá de las características del terreno y de su nivel de fertilidad. 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.

Igualmente, 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, el cual debe incorporarse homogéneamente a la mezcla antes de iniciar el proceso de desinfección del suelo, por el método de la solarización; de esta manera, se garantiza un adecuado nivel de fertilidad durante el proceso de enraizamiento.

Sustratos más utilizados

Compost

Son residuos orgánicos de estructura fina y descompuesta. Se usan excrementos animales, residuos de plantas, etc. (figura 68). 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. El compost debe contener entre 35 y 50% de materia orgánica con relación al peso volumétrico, se emplea en mezcla con sustratos inactivos o inorgánicos como la turba, la perlita, la fibra de coco o la cascarilla de arroz.



Figura 68. Compostaje de residuos de cultivo

El compost adicionado a la turba proporciona mayor aireación y reduce la retención de agua de la misma. Además, 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 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	14,00%
Arena	17,53%
Cal dolomítica	0,09%
Fosforita Huila	0,19%
Superfosfato triple	0,19%
Total	100,00 %

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, además ofrece muy buenas características químicas (figura 69).



Figura 69. Lombrices descomponedoras de residuos

Cascarilla de arroz

Sustrato orgánico de baja descomposición por su alto contenido de sílice que, además, 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 humedecer previamente la cascarilla para hacer germinar las semillas de arroz y otras plantas que siempre contiene; además, se requiere realizar pruebas previas de germinación de semillas para verificar que no haya presencia de residuos de herbicidas en ella.

Fibra de coco

Su contenido de nitrógeno es bajo y alto el de 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. 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 otros sustratos importados como la turba.

Aserrín

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

Turba

Las turbas son los sustratos orgánicos naturales de uso más general en horticultura (figura 70). Es el resultado de la descomposición completa de árboles (especialmente del género *Sphagnum*) y se produce en países de las zonas templadas como Canadá, Alemania, Finlandia, Suiza, Irlanda, Rusia, etc.

Se encuentran dos tipos de turbas: las poco descompuestas, que son materiales de reacción ácida, pobres en minerales por estar muy lavados, 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.



Figura 70. Turba para sustrato de semilleros

Otras, muy descompuestas, llamadas turbas negras, sin estructura, son con frecuencia muy salinas y presentan menor aireación que las anteriores. Son apropiadas para mezclas con materiales que mejoren sus propiedades deficientes.

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

El conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas (presencia de hormonas y sustancias húmicas) de las turbas 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, así mismo, al cultivo sin suelo en general. Su uso está siendo revaluado debido al impacto medioambiental que implica su utilización, ya que éste es un material natural no renovable, además por ser importado tiene un alto costo.

4.2 Manejo de semilleros

La producción de plántulas sanas y vigorosas depende básicamente de una adecuada desinfección del suelo utilizado para los semilleros, pues tanto la semilla como la plántula pueden ser atacadas por hongos, bacterias, nematodos, insectos y malezas, que pueden afectar sus procesos de germinación, crecimiento y desarrollo, y causar, 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, Dicloropropano, etc., los cuales son efectivos para el control de hongos, nematodos y bacterias, pero estos productos están prohibidos o restringidos en muchos países por su alta toxicidad para los seres humanos y animales y por su

efecto adverso al 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 y acumulación en el suelo de sustancias tóxicas y de residuos perjudiciales de las plantas, con sus consecuencias sobre la salud de los consumidores.

En el caso de no usar turba, es recomendable la desinfección del sustrato. El método de desinfección de suelo sugerido es la solarización húmeda, método físico en el cual se utiliza la energía calórica irradiada por el sol. Para ello se cubre el suelo húmedo con coberturas plásticas, esto hace que su temperatura aumente hasta el punto que controle organismos patógenos como hongos, bacterias, nematodos, malezas e insectos. La humedad del sustrato tiene un papel importante, pues en las horas de menor temperatura (durante la noche) se condensa el agua evaporada en el día, lo que ocasiona 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.

Para construir una cama para la solarización del suelo, se procede de la siguiente manera: una vez hecha la mezcla del sustrato (tierra, materia orgánica y arena) 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 a capacidad de campo y se cubre con 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 71).



Figura 71. Cama de solarización cubierta con plástico transparente

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. 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.

4.2.1 Errores frecuentes en el manejo de la solarización

- No proporcionar la humedad suficiente al suelo para hacer efectiva la solarización, antes del proceso ni durante él (figura 72).
- No cubrir adecuadamente el suelo para evitar la pérdida de humedad, lo que facilita la dispersión del calor y disminuye la efectividad del tratamiento de solarización.
- Utilizar plástico en malas condiciones o cubrir la era con retazos; esta actividad hace que se pierda eficiencia en el proceso (figura 73).
- No remover ni airear la mezcla, una vez finalice el proceso de solarización.



Figuras 72 y 73. Fallas en la solarización

4.2.2 Errores más comunes en el manejo de semilleros

- Inadecuada preparación de la mezcla del sustrato.
- Deficiente tratamiento de desinfección (solarización).
- Llenado desigual de bandejas.
- Siembra de la semilla muy superficial o profunda, lo cual afecta la germinación. La profundidad de siembra de una semilla hortícola no debe ser más de dos veces su tamaño.
- No resembrar 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 se reduce la aplicación de riego una semana antes del trasplante (endurecimiento) para disminuir el estrés a que son sometidas las plántulas, después de su trasplante en campo.

4.2.3 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, se deben desinfectar las

bandejas sumergiéndolas en una solución de hipoclorito de sodio o yodo agrícola a razón de 5 a 10 ml por litro de agua y agitándolas por unos 30 segundos (figura 74).



Figura 74. Desinfección de bandejas de semilleros

4.2.4 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 para facilitar la labor del operario, luego se llenan con la mezcla de sustrato distribuyéndolo de manera uniforme en toda la bandeja (figura 75). Se debe golpear suavemente la bandeja contra una superficie dura, para que no queden cámaras de aire dentro de los alvéolos sino que, por el contrario, el sustrato se distribuya uniformemente por todas las cavidades, luego se pasa una regla de madera por encima a fin de retirar los excesos de sustrato. Para ubicar la semilla es necesario hacer en todo el centro del cono un orificio de 0,5 cm de diámetro y de 2 o 3 mm de profundidad, poniendo un marcador y ejerciendo una leve presión (figura 76). Se coloca una semilla por sitio, se tapa con una capa fina del sustrato (figura 77) y se pasa una 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. No es conveniente llenar bandejas con mucha anticipación a la siembra porque se compacta el sustrato por pérdida de humedad. Al momento de la siembra, todos los conos de las bandejas deben tener la misma uniformidad, tanto en la mezcla del sustrato como en los niveles de llenado y de fertilidad y en el contenido de humedad. Es importante recordar que la profundidad de siembra está dada por la regla según la cual una semilla de hortaliza no se profundiza más de dos veces su tamaño.



Figuras 75 y 76. Proceso de llenado de bandeja para semilleros



Figura 77. Proceso de siembra en semilleros

4.2.5 Coberturas

Una vez sembradas las semillas, se recomienda cubrir las bandejas con tela polisombra (30% de sombra) (figura 78). Las ventajas de la colocación de esta malla son las siguientes:

- Protege las semillas del ataque de pájaros.
- Amortigua el golpe causado por el agua 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 78. Protección de semilleros con tela polisombra

4.2.6 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, deben regarse en la mañana y en la tarde si es necesario, para evitar deficiencias de humedad en el sustrato que afecten la germinación de las semillas, ya que una semilla recién embebida requiere 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, la especie sembrada y las condiciones climáticas de cada región. 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. No obstante, exista o no alta precipitación, lo recomendable es tener los semilleros bajo condiciones protegidas.

El riego que se les realiza a los semilleros debe hacerse en forma suave para evitar el daño a las plantas con la presión del agua, lo más recomendable es utilizar una poma (figura 79) que simule gotas suaves como en forma de lluvia.



Figura 79. Riego efectuado a semilleros

4.2.7 Fertilización

En el caso de utilizar sustratos inertes como turba, fibra de coco o cascarilla de arroz se requiere un plan de fertilización tanto edáfica como foliar mediante fertirriego. En el sistema de producción de plántulas en confinamiento, para corregir deficiencias nutricionales, se recomienda diluir en agua un fertilizante completo tipo 10-30-10 o 15-15-15 en dosis de 10 gramos por litro de agua, y aplicarlo al semillero tratando de humedecer el suelo, preferiblemente en horas de la tarde.

La deficiencia más común es la de fósforo, cuyos síntomas son plantas enanas, con raíces escasas y hojas de color púrpura. Para contrarrestar dicha deficiencia se aconseja la aplicación de un fertilizante soluble rico en fósforo, como es el caso de fosfato diamonio, en dosis de 40 gramos disueltos en ocho litros de agua, cantidad suficiente para humedecer un metro cuadrado de semillero.

Cuando se presentan plantas enanas acompañadas con amarillamiento de las hojas, se debe a deficiencia de nitrógeno, lo cual se corrige con la aplicación de nitrato de potasio en dosis de 30 g en 10 litros de agua, o urea en dosis de 50 g por 10 litros de agua por metro cuadrado.

Si se dispone de sistema de riego, la fertilización se realiza mediante fertirriego, el cual se hace utilizando una poma que asperja suavemente las plantas. Es recomendable fertilizar en cada riego. En el mercado se consiguen fertilizantes en presentación líquida con nutrientes mayores y menores, que se disuelven en el agua de riego y se aplican a partir de los ocho días después de siembra, hasta el último riego antes de trasplantar las plantas.

4.2.8 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, endurecer los tejidos y facilitar su adaptación a las condiciones de estrés en el campo. Así mismo, se logra que las raíces inicien una exploración más acelerada en busca de agua y de esta forma se consigue que se desarrollen más rápidamente.

Cuando las plántulas han crecido en condiciones muy favorables de humedad, sus tejidos son muy acuosos y débiles; con la disminución del riego antes del trasplante se busca endurecer los tejidos para que sean más resistentes bajo condiciones de campo.

Cuando las plantas han sufrido deficiencia de humedad se presenta un endurecimiento de los tejidos, y los tallos se observan gruesos y leñosos. Se recomienda, antes del trasplante, aplicar a las plantas una solución iniciadora rica en fósforo. Se utiliza como base fosfato de amonio en dosis de 6 gramos por litro de agua, se aplican de 4 a 6 litros por metro cuadrado, 3 o 4 días antes del trasplante.

4.2.9 Germinación

Se requieren entre seis y ocho 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 y la humedad del suelo, el cual debe estar a capacidad de campo. La temperatura óptima para la germinación está entre 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. Respecto al porcentaje de germinación de las semillas, es importante tener en cuenta su longevidad, la cual depende de las condiciones de conservación que se les proporcionen (figura 80).

Es importante mencionar que las casas distribuidoras de semillas garantizan un porcentaje de germinación que está entre un 85 a un 95%, el cual se indica en la etiqueta del empaque.



Figura 80. Germinación uniforme de plántulas en semillero

4.2.9.1 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 25 y 27° C durante el proceso de germinación.
- Mantener la humedad del suelo constante.
- Mantener una adecuada iluminación.
- Proteger de vientos fríos.
- Realizar tratamientos pregerminación (imbibición en agua, etc.).
- Proteger la semilla.

4.3 Adecuación y preparación del terreno

Antes de iniciar la construcción del invernadero, y para facilitar esta labor, es recomendable, si el terreno no ha sido sembrado antes o está en descanso, arar y rastrillar el lote (figura 81) con el fin de mejorar las condiciones físicas del suelo y controlar las malezas, principalmente gramíneas o ciperáceas. La arada y la rastrillada deben realizarse a 30 cm de profundidad.

Cuando el invernadero ya ha sido sembrado, para la preparación del suelo para próximas siembras es recomendable aplicar labranza mínima únicamente en el sitio donde van los surcos.



Figura 81. Terreno arado

Es importante revisar las condiciones de drenaje dentro y fuera del invernadero para evitar 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 fuera del invernadero (figura 82).



Figura 82. Drenajes en el exterior del invernadero para evitar excesos de humedad

Finalmente, se realiza el trazado de los surcos (figura 83), es decir formar la cama o surcos donde se trasplantará el tomate. La actividad consiste en levantarlos por lo menos de 25 a 40 cm. Los surcos altos tienen grandes ventajas, entre ellas mejor drenaje y mejor aireación y desarrollo de las raíces.



Figura 83. Preparación de surcos para la siembra

Una vez trazados los surcos, se procede a marcar los sitios donde quedarán 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. Una vez trasplantadas, es necesario regarlas para evitar su marchitamiento. (OJO: este párrafo se repite en el acápite 4.5 Trasplante, pág. 23)

Antes del trasplante, y según las recomendaciones del análisis de suelo, es conveniente la aplicación, en forma localizada, de materia orgánica (gallinaza), correctivos y nutrientes. La materia orgánica debe ser totalmente compostada y humedecerse antes del trasplante, para evitar que su descomposición queme las plantas.

Igualmente, de acuerdo con el análisis, es importante la aplicación de cal para hacer las correcciones de pH.

4.3.1 Toma de muestras para análisis de suelos

(OJO: ¿esta parte no quedaría mejor en el acápite sobre fertilización, antes de tabla 8?)

El análisis de suelos es una herramienta que se utiliza como referencia para el manejo de la fertilidad, ya sea para determinar deficiencias y necesidades de fertilización, así como para monitorear la evolución de la disponibilidad de nutrientes en el suelo. El análisis permite un uso correcto tanto de fertilizantes químicos y orgánicos como de enmiendas.

Esta práctica aún no es usada ampliamente por los productores, en parte por el desconocimiento que existe sobre la manera correcta de tomar las muestras para el análisis y por la falta de información sobre la disponibilidad de laboratorios y su costo.

En el campo es primordial realizar un correcto muestreo del suelo, para que sea representativo del área o lote homogéneo del que se desea la información.

El análisis de suelos será tan bueno como la calidad de las muestras tomadas, pues la muestra enviada al laboratorio, de 0,5 a 1 kg, representa millones de kilogramos de suelo. Estos son los pasos que se deben seguir para el muestreo:

- No tome muestras cuando el suelo esté muy húmedo.
- Recorra el lote en zigzag y cada 15 o 30 pasos tome una submuestra. La recolección se hace con pala o barreno.
- En cada sitio limpie la superficie del terreno (los dos primeros cm de tierra), luego tome la submuestra y dépositela en un balde.
- No tome muestras en áreas recién fertilizadas.
- Las submuestras deben ser tomadas entre los 25 y 30 cm de profundidad para el cultivo de tomate (figura 84).
- Luego de tener todas las submuestras en el balde (de 15 a 20 por invernadero) se mezclan homogéneamente y se toma 1 kg aproximadamente.
- Se empaca en una bolsa limpia, que no haya sido usada con abonos o sustancias químicas, y se envía al laboratorio lo antes posible.
- Evite fumar o dejar caer cenizas de cigarrillo al manipular las muestras.



Figura 84. Toma de muestras de suelo

Para identificar la muestra se debe poner el nombre del propietario, nombre de la finca, ubicación geográfica, número de muestra y lote, superficie que representa y algunas informaciones complementarias, como son: pendiente del terreno, riesgo de encharcamiento, color del suelo, tipo de vegetación, cultivo anterior, rendimiento obtenido, disponibilidad de residuos, tipo de fertilizantes usados, si se encaló anteriormente, forma y época de aplicación.

Idealmente, la frecuencia de muestreo debe hacerse cada ciclo o cada año como mínimo. La muestra se toma con dos o tres meses de anticipación a la siembra.

4.3.2 Recomendaciones de cal

La cal se aplica a los suelos para neutralizar el hidrógeno (H+) y el aluminio intercambiable (Al) y para proporcionar calcio.

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 la materia orgánica y la relación Ca/Mg.

La importancia del pH está relacionada con la tolerancia de las plantas al manganeso y al aluminio contenidos en la solución del suelo. Las correcciones adecuadas de pH, mediante aplicaciones de cal, permiten que algunos nutrientes pasen a ser aprovechables por los cultivos, lo que disminuye la cantidad de fertilizantes y su costo.

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 o arcilla requieren más cal que los arenosos para elevar el pH en una unidad.

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, y en aquellos con más de 10% de materia orgánica y un pH inferior a 5, se recomienda aplicar una tonelada y media de cal agrícola por hectárea, que contenga por lo menos el equivalente al 80% de CaCO_3 por cada miliequivalente (meq) de aluminio intercambiable. Cuando se utilizan Escorias Thomas (son un subproducto de la industria del acero. Poseen un contenido alto de en fósforo y mediano de carbonato de calcio, también son fuente de magnesio.), es posible disminuir la cantidad de cal en suelos con un pH menor de 5,5.

En algunos suelos de Colombia el contenido de aluminio intercambiable es muy alto, por tanto la cantidad de cal para su corrección sería exagerada. Aplicaciones superiores y aun menores de tres toneladas por hectárea pueden resultar antieconómicas. Se puede pensar también en aplicar cal por ciclo agrícola, hasta llegar a las condiciones adecuadas de acidez del suelo.

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 calcio y magnesio y se pueden inducir deficiencias de éste en los cultivos. Por esta razón es importante que las aplicaciones de cal se hagan con base en cal dolomítica, que contiene, además de carbonato de calcio, carbonato de magnesio.

4.3.3 Uso de micorrizas

En el momento de la preparación del terreno o del trasplante es aconsejable el empleo de 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, 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 más volumen del suelo que la raíz sola. Pero las ventajas de la micorriza 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 las micorrizas es considerado como una buena práctica agrícola, son aceptadas como biofertilizante por ser un producto natural, que encaja dentro de una gestión biológica en la fertilidad del suelo dirigida a obtener una productividad sostenida respetuosa del entorno.

Beneficios de las micorrizas

- Favorecen 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.
- Estimulación de otros microorganismos simbióticos integrantes de la comunidad rizosférica.

Para el uso del producto, éste debe quedar en contacto con el sistema radical de la planta, por eso se aplica al momento de la siembra o del trasplante en dosis de 20 a 30 g por sitio o planta, dependiendo de la concentración del inóculo de micorrizas que tenga el producto comercial.

4.4 Distancias de siembra

La distancia entre surcos de tomate más apropiada, es aquella que permita una adecuada 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 crean las condiciones para la incidencia de enfermedades.

En general, los espaciamientos menores, con altas densidades de siembra, aumentan la competitividad por nutrientes, agua y luz y exigen mayor atención en relación con el manejo del cultivo, principalmente con la protección fitosanitaria, la fertilización, el amarre y las podas de las plantas. Se debe tener en cuenta que no necesariamente a mayor número de plantas por m² habrá incremento de la producción, ya que la competencia entre plantas por nutrientes y luminosidad produce frutos más pequeños y huecos con pobre coloración; igualmente, se incrementa la alta humedad relativa dentro del invernadero favoreciendo la incidencia de enfermedades.

La densidad de siembra que se utilice depende de la variedad elegida, el tipo de poda, el arreglo espacial (surco sencillo o doble), el tutorado y la fertilidad del suelo, las condiciones agroecológicas de la zona, la disposición y el tipo de riego.

La siembra del tomate puede realizarse en surcos sencillos o dobles. En surco sencillo (figura 85), 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 (tabla 5 y tabla 6).



Figura 85. Siembra en surco sencillo

En zonas frías, donde hay alta nubosidad y alta humedad relativa, lo recomendable es la siembra en surcos sencillos, para facilitar la luminosidad y 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. Distancias de siembra del tomate, para el manejo de un solo tallo de producción.

	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

Tabla 6. Distancias de siembra en la producción de tomate según el tipo de poda

Tipo de ramificación	Distancia entre plantas (m)	Distancia entre surcos (m)	Población de plantas/ha
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 (figura 86) se trabaja con una distancia de cama de 50-60 cm entre los dos surcos y 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 m de ancho.

La siembra en surco doble es más recomendada en zonas donde la humedad relativa no es tan alta y donde la radiación solar es muy fuerte, por lo que se debe buscar un ambiente más favorable de aireación a la planta.



Figura 86. Siembra en surco doble

Cuando se cultiva con surco doble es necesario utilizar doble cinta de riego (figura 87), una para cada surco, para garantizar que cada planta reciba la cantidad de agua apropiada.



Figura 87. Doble cinta de riego para siembras en surco doble

4.5 Trasplante

Es el paso de las plántulas del semillero al sitio definitivo (figura 88), el cual se realiza aproximadamente entre 30 y 35 días después de sembrado el semillero, de acuerdo a la calidad y el vigor de la planta, para lo cual es necesario tener en cuenta algunas consideraciones que se describen a continuación:



Figura 88. Plántula recientemente trasplantada

- Previo al trasplante disminuya el riego para endurecer las plantas; trasplante plántulas con cuatro hojas verdaderas, de altura entre 10 y 15 cm (figura 89).
- Realizar el trasplante en horas de la mañana (con menos sol).
- Regar abundantemente el semillero, dos o tres horas antes del trasplante, para facilitar el arranque sin dañar las raíces y para que las plantas lleguen con suficiente humedad al sitio definitivo.
- Trasplantar plantas uniformes, sanas, con hojas bien desarrolladas, de color verde y erectas.
- 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 éste no se desmorone en el momento en que la plántula es sacada de la bandeja, para que cuando la planta sea trasplantada a campo, el medio de crecimiento se mantenga alrededor de las raíces.
- Las plantas listas para el trasplante deben tener raíces blancas y delgadas que llenen toda la celda de arriba abajo. Las raíces con un color marrón y que no se extiendan hacia la parte inferior del contenedor son síntomas de que han estado creciendo bajo un estrés de humedad o tienen problemas de pudriciones radicales o de destrucción, lo cual puede retardar el enraizamiento en campo.



Figura 89. Tamaño adecuado de las plántulas para trasplante a campo

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

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 90). Una vez trasplantadas, es necesario regarlas para evitar estrés por agua.



Figura 90. Trasplante a campo

4.6 Análisis foliar

Es útil para determinar las causas de crecimiento retardado de enfermedades abióticas que se observan en el campo. Es necesario que las plantas evaluadas estén al menos en floración, aunque la etapa más utilizada es el estado de formación de frutos (diámetro de 1 a 3 cm). Si el análisis se hace en etapas iniciales de crecimiento (inicio de floración) es posible corregir deficiencias mediante aspersiones foliares. Por otra parte, el análisis foliar es una herramienta que ayuda a la planificación de los programas de fertilización para cosechas posteriores.

La muestra para el análisis foliar en plantas de tomate se toma de las láminas de los folíolos o en los pecíolos de las hojas, antes o al momento de la primera floración, en la tercera, cuarta o quinta hojas desarrolladas a partir de la yema terminal en los tallos principales. No se deben utilizar hojas dañadas por insectos, enfermedades, herbicidas, etc., ni incluir hojas secas con deformaciones, manchas necróticas o presencia de insectos.

Para poder interpretar los análisis foliares, se debe muestrear el tejido indicativo en la época indicada para cada cultivo, de esta manera se pueden comparar los datos obtenidos con los rangos obtenidos o niveles críticos. Se debe tener en cuenta que

estos niveles pueden cambiar con las variaciones en clima, la tasa de crecimiento de la planta o con la presencia o ausencia de otros elementos.

La tabla 7 muestra los contenidos propuestos como valores apropiados, en general, para las plantas de tomate.

Tabla 7. Contenidos apropiados de nutrientes en un análisis foliar para el cultivo de tomate

(%)					(ppm)				
N	P	K	Ca	Mg	B	Mn	Fe	Cu	Zn
3-5	0,4	6	1,25	0,5	40-60	30-50	70-150	5-10	20-40

Fuente: Muñoz A. R (1995)

4.7 Fertilización

Antes de hacer un plan de fertilización se debe contar con un análisis de suelo, con el fin de determinar las necesidades de elementos nutricionales, y así hacer los ajustes necesarios que garanticen una adecuada nutrición del cultivo de acuerdo con sus requerimientos nutricionales (tabla 8).

Tabla 8. Interpretación de un análisis de suelo para el cultivo de tomate

Análisis	Unidad	Bajo	Medio	Alto
Materia orgánica	%	<5 zona caliente < 10 zona fría	5-10 zona caliente 10-20 zona fría	>10 zona caliente >20 zona fría
Fósforo (Bray II)	Ppm	<30	30 a 60	>60
Potasio	meq/100 g	<0,3	0,3-0,6	>0,6
Calcio	meq/100 g	<1,5	1,6-3	>3
Magnesio	meq/100 g	<0,5	0,6 a 1	>1
Aluminio	meq/100 g	<1,5	1,6-3	>3
Azufre	Ppm	< 11	11-15	>15
Capacidad de intercambio catiónico (CCI)	Meq/100 g	<10	10-20	>20
Micronutriente	Unidad	Bajo	Medio	Alto
Hierro	Ppm*	<20,0	21 a 40	>40
Manganeso	Ppm*	<5,0	5 a 10	>10
Cobre	Ppm*	<1,0	1,1 a 3	>3
Zinc	Ppm*	<1,5	1,6-3	>3

Boro	ppm**	<0,3	0,3 a 0,6	>0,6
------	-------	------	-----------	------

* Con NaHCO₃+ EDTA a pH 8,5

** Por agua caliente

Fuente: Muñoz A., R. (1995)

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

La necesidad de fertilizantes del cultivo va a depender de la disponibilidad de nutrientes del suelo de acuerdo al pH (ver figura 55, Capítulo 3), el contenido de materia orgánica, la humedad, la variedad, la producción y la calidad esperada del cultivo. Por eso las aplicaciones de fertilizantes estarán sujetas al resultado del análisis químico del suelo, el análisis foliar, las observaciones de campo y las recomendaciones del asistente técnico.

Una fertilización eficiente es aquella que, con base en los requerimientos nutricionales de la planta y el estado nutricional del suelo, proporciona los nutrientes en las cantidades suficientes y en épocas precisas para el cultivo. Una buena fertilización no solamente implica aplicar el elemento faltante, sino también mantener un balance adecuado entre los elementos, tanto en el suelo como en las diferentes estructuras de la planta. El programa de fertilización debe considerar los siguientes puntos:

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

Se debe tener en cuenta que el tomate es una planta exigente en nutrientes; requiere una alta disponibilidad de macronutrientes como N, P, K, Ca, Mg, S, y micronutrientes como Fe, Mn, Cu, B, Zn. Aunque la exigencia de N es alta, un exceso de este elemento puede llegar a un exagerado desarrollo vegetativo con bajo porcentaje de formación de frutos. Desde el momento del trasplante hasta la floración, la relación de fertilización de nitrógeno y potasio debe ser 1:1; cuando comienza el llenado de fruto, se requiere una cantidad mayor de potasio, ya que este elemento contribuye con la maduración y el llenado de frutos; la relación de estos nutrientes debe ser 1:2 o 1:3 (tabla 9).

Tabla 9. Relaciones de nutrientes en el suelo para el cultivo de tomate

Relación	Rango/unidades	Efecto
K/Ca+Mg	Menor 0,5 meq	Falta de color en el fruto
	0,5 a 1 meq	Óptimo
	Mayor de 1 meq	Pudrición apical del fruto (deficiencia de calcio)
Ca/Mg	Menor de 2 meq	Deficiencia de calcio
	4 a 5 meq	Óptimo
	Mayor de 10 meq	Deficiencia de magnesio
Mg/K	Menor 0,1 meq	Deficiencia de magnesio
	0,2 a 0,4 meq	Óptimo
	Mayor 0,5 meq	Deficiencia de potasio
K/N	Menor 1 meq	Frutos blandos y maduración manchada
	1,2 a 1,8 meq	Óptimo
	Mayor 2 meq	Hombros verdes

En el mercado existen varias fuentes de fertilizantes; entre los más utilizados están: 18-46-0, 10-20-20, 10-30-10, 15-15-15, 17-6-18-5 o fuentes simples de nitrógeno como urea, nitrato de amonio, sulfato de amonio; de fósforo, como superfosfato triple o fosfato de amonio, y de potasio, como el cloruro de potasio (tabla 10). No debe olvidarse aplicar fuentes de elementos menores, en forma edáfica o foliar.

En general, para el cultivo de tomate bajo invernadero se recomiendan las siguientes cantidades: nitrógeno: 300-600 kg/ha; fósforo: 400-800 kg/ha, y potasio: 600-1.100 kg/ha.

Tabla 10. Aporte de nutrientes de algunos fertilizantes

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
Nitrato de amonio	33 (26)	-	-	-	-	0,1
Sulfato de amonio	21	-	-	-	-	24
Nitrato de calcio	15,5	-	-	26,5	-	-
Nitrato de calcio magnésico	13,5	-	-	17	6	-
Nitrato de potasio	13,6	-	45-46	-	-	-
Urea	46	-	-	-	-	-
Ácido nítrico	9	-	-	-	-	-
Fosfato diamónico sol	18	46	-	-	-	-
Fosfato monoamónico	11	50	-	14	-	0,3
Superfosfato triple	-	46	-	-	-	-
Fosfato monopotásico	-	52	34			0,2
Ácido fosforito		40				1-2
Sulfato de potasio crist			50			16
Sulfato de magnesio heptahi					26	13

Nitrato de magnesio	11,5			1	15	
---------------------	------	--	--	---	----	--

(OJO: lo resaltado ¿será fosfórico?)

La extracción y acumulación de nutrientes por el cultivo de tomate aumenta conforme se incrementa el crecimiento de la planta; la floración y fructificación son las etapas en las que se producen los cambios más acentuados en la absorción de los nutrientes. La absorción de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y magnesio se incrementa intensamente a partir de la floración (45 días) y hasta el inicio de la maduración de los frutos (90 días). La tasa máxima de acumulación de nutrientes se logra a los 90 días, y es el potasio el elemento que toma la planta en mayor proporción, ya que aproximadamente el 73,8% lo absorbe en el proceso de fructificación.

Por otra parte, estudios realizados acerca de la composición mineral del cultivo en diferentes estadios de crecimiento, encontraron que en el momento de la cosecha (105 días) los frutos habían acumulado 60%, 70% y 75% de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente.

4.7.1 Uso de abonos orgánicos

La utilización de abonos orgánicos puede contribuir a mejorar la fertilidad del suelo, pues al incrementar la materia orgánica, aumenta la capacidad de retención de agua y nutrientes y se reduce la erosión (figura 91).



Figura 91. Uso de abonos orgánicos antes de la siembra

Sin embargo, se debe tener presente que, potencialmente, son también fuente de contaminación microbiológica, por lo cual es necesario tomar todas las medidas posibles para controlar su uso y eliminar o reducir los riesgos de contaminación: en nuestro país el abono orgánico más utilizado en tomate es con base en estiércol de gallina (gallinaza). Por tanto, hay algunas consideraciones que se deben tener en cuenta en la utilización de materia orgánica:

- Usar sólo abonos orgánicos que hayan sido sometidos a tratamientos de compostaje, para reducir el riesgo de contaminación microbiológica en las aplicaciones superficiales.
- La aplicación del abono orgánico se debe hacer por lo menos dos semanas antes de la fecha de siembra o trasplante, para evitar la toxicidad o problemas de inocuidad en la planta o en sus frutos; las dosis varían entre 1 a 5 ton/ha, de acuerdo con el contenido de nitrógeno y materia orgánica según el análisis de suelo.
- Una vez incorporada la materia orgánica compostada, es conveniente humedecer el suelo antes del trasplante para facilitar la liberación de ácidos y calor que pueden quemar las raíces y la base del tallo de la planta.
- Deben transcurrir más de 120 días desde la aplicación hasta la primera cosecha.
- Se debe realizar una buena preparación del suelo para que la incorporación del abono al suelo sea provechosa; de esta manera se evitan riesgos de contaminación microbiológica.
- Sólo se deben utilizar abonos de origen conocido cuyas técnicas de tratamiento estén garantizadas.

Si los abonos se producen en la propia finca, su preparación se debe realizar en un lugar retirado de las instalaciones de la finca y de fuentes de agua que puedan resultar contaminadas, y siguiendo adecuadamente las técnicas para preparar abonos orgánicos.

4.7.1.1 El compost

El compost es otra fuente importante de nutrientes. Es el resultado de la fermentación aeróbica de la mezcla de residuos animales y vegetales, desechos agrícolas y otros materiales orgánicos.

Por lo general, en tomate se utilizan residuos de podas, residuos de cosecha, y plantas que hayan terminado producción.

Durante el proceso de fermentación se produce una sucesión de cambios de temperatura y pH. Este proceso puede ser dividido en cuatro fases, conocidas como: mesofílica, termofílica, enfriamiento y madurez.

Para formar el compost generalmente es necesario poner una base de residuos vegetales sobre el suelo, a la cual se le adiciona una capa de estiércol y luego una de cal. El proceso anterior se repite sucesivamente hasta alcanzar un espesor de 90 a 120 cm. Los materiales formadores del compost deben guardar una relación aproximada de 60% de material vegetal (primera capa), 30% de estiércol (segunda capa), 10% de cal apagada (tercera capa) y agua.

Durante su elaboración se debe tener en cuenta el suministro de material vegetal, la aireación, la humedad y el nitrógeno existente en la mezcla, todo lo cual condiciona un

medio ideal para el desarrollo de microorganismos que aceleran la descomposición (hongos y bacterias). El aire se suministra dando la vuelta a la mezcla y utilizando materiales que faciliten la circulación del mismo en las paredes; la humedad se logra con la lluvia o regando el compost, y el nitrógeno se obtiene mediante la adición de estiércol, orina u otra fuente natural de este elemento. Los nutrientes en el compost dependerán de los materiales utilizados en el proceso.

El compost se puede fabricar sobre o bajo el suelo, sin embargo, dada la facilidad de manejo y de aireación, se recomienda hacerlo en una estructura de ladrillo o madera sobre la superficie del suelo. No se debe hacer compost con material vegetal que presente problemas de enfermedades vegetales, restos de comida con grasa o material con semillas, ya que esto puede incrementar y facilitar la propagación de enfermedades o de plantas no deseadas.

La duración del proceso de descomposición de la materia orgánica y la producción de abono ocurre entre 60 y 90 días, dependiendo de la temperatura que se obtenga: 45° C en los primeros dos a seis días (etapa mesófila), para subir hasta 70° C como temperatura máxima (etapa termófila) y descender luego, en forma gradual, hasta la temperatura ambiente. No se debe permitir que durante la etapa termófila la temperatura supere los 70° C, pues empobrece las condiciones química y biológica de la materia orgánica.

En el comercio existen 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 su comunidad de organismos benéficos.

Una vez finalizado el proceso, se extiende la pila a la sombra y protegida del agua lluvia durante 2-3 días para bajar la humedad (35-40%). Finalmente, el abono obtenido se pasa por una zaranda o tamiz para mejorar la granulometría y facilitar su aplicación uniforme al suelo.

Beneficios del abono orgánico compostado:

- Aporta materia orgánica que ha perdido el suelo por la extracción de los cultivos.
- Suministra nutrientes fácilmente asimilables por las plantas.
- Convierte elementos que están fijados en el suelo, en sustancias solubles para que la raíz pueda absorberlas.
- Optimiza la absorción de los fertilizantes químicos.
- Mejora la estructura del suelo.
- Aumenta la capacidad de retención de agua.
- Enriquece el suelo con microorganismos benéficos, responsables de los procesos químicos para la nutrición y el desarrollo de las plantas.
- Ayuda a regular la temperatura y el pH del suelo.
- Actúa como acondicionador de suelo.

4.7.2 Fertilización edáfica

Se entiende por fertilización edáfica o radicular la aplicación al suelo de abonos químicos u orgánicos en estado sólido o líquido a fin de que las plantas los absorban a través de sus raíces (figura 92). Para que este método de fertilización sea efectivo, es clave la correcta ubicación del fertilizante puesto que, en gran parte, la baja productividad de los suelos se debe a una inadecuada aplicación de los mismos. En lo posible, deben seguirse dos normas generales con respecto a la ubicación y época de aplicación de los fertilizantes: uno, que sean incorporados y, dos, aplicados antes o al momento de la siembra.



Figura 92. Fertilización edáfica en corona

La incorporación de fertilizantes al suelo evita pérdidas por volatilización; por inmovilización, como en el caso de los fertilizantes fosfatados, cuya movilidad en el suelo es casi nula, y si se ponen en la superficie quedan entonces afuera de la zona radicular del cultivo, y por desnitrificación, pues en suelos inundados, los fertilizantes amoniacales mal incorporados pasan a sus formas gaseosas y se pierden en la atmósfera.

En invernadero, se aprovecha el sistema de riego para aplicar la fertilización disuelta en el agua, lo cual le permite a la planta obtener de manera oportuna los nutrientes para su desarrollo. Si no se dispone de este sistema, se recomienda realizar fertilizaciones edáficas, iniciando con una fertilización de establecimiento y continuando a partir de los 20 días después del trasplante, con intervalos de aplicación de 20 días hasta la formación del último racimo por cosechar. En general, se recomienda aplicar hasta 200 gramos de un fertilizante simple o completo de acuerdo a las necesidades de nutrientes que vaya manifestando la planta. La aplicación de la primera fertilización debe ser lo más cerca posible al momento del trasplante, ya que las pérdidas por lixiviación, volatilización, fijación o por paso a formas menos asimilables, están en relación directa con el tiempo, por lo tanto, entre más tiempo transcurra habrá mayores pérdidas, además, una aplicación anticipada favorece más a las malezas que al cultivo.

No se debe esperar a que aparezcan síntomas de deficiencias de nutrientes en el cultivo, porque el daño es ocasionado antes de su aparición. Por eso es fundamental aplicar los fertilizantes al momento de la siembra de acuerdo con la necesidad según el análisis de suelo. La aplicación debe realizarse en corona o media corona, alrededor del tallo, y luego se hace un aporque.

4.7.3 Fertilización foliar

Se define como la aplicación de fertilizantes líquidos o polvos solubles en agua, a las partes aéreas de las plantas. Las hojas tienen la capacidad de asimilar sustancias nutritivas, y lo hacen en tres pasos: penetración, absorción y traslocación. La fertilización foliar es efectiva cuando existen deficiencias de algunos elementos. Lo más común y frecuente es hacer aplicaciones foliares de nitrógeno, calcio, fósforo, potasio y algunos elementos menores.

Ventajas de la fertilización foliar

- Es un buen recurso en situaciones de emergencia.
- Se aplican cantidades menores de fertilizante al follaje que al suelo, para alcanzar un nivel deseable de nutrientes.
- De gran importancia en cultivos sometidos a estrés por la acción adversa del medio en que se desarrollan, o por efectos fitosanitarios negativos como: salinidad, altos contenidos de arcilla, y altos contenidos de materia orgánica.
- Los síntomas visuales de respuesta a un elemento son más rápidos en el caso de la fertilización foliar. Es probable, por lo tanto, que en caso de aplicaciones tardías de fertilizantes sea mejor recurrir a las aplicaciones foliares que a las edáficas.
- Ayuda a las plantas a recuperarse de los efectos fitotóxicos producidos por herbicidas, inundaciones, podas y después de altas producciones.
- Por su alta solubilidad, la aplicación al follaje de fertilizantes foliares es ideal en áreas de semilleros y trasplantes. A la planta hay que alimentarla bien desde que nace. Requerirá los abonos aplicados al suelo a partir del momento en que necesita absorber nutrientes, hasta cuando tiene suficiente masa en su parte aérea para que se pueda aplicar la fertilización foliar.

4.7.4 Fertirrigación:

La fertirrigación es la aplicación de fertilizantes disueltos en el agua de riego (figura 93). La fertirrigación realizada en un sistema de riego por goteo ofrece las siguientes ventajas con respecto a la fertilización edáfica:

- Mejor distribución y mayor uniformidad en la aplicación de los fertilizantes, pues se localizan en la zona donde se desarrollan las raíces.

- Los fertilizantes se suministran a la planta conforme a sus necesidades en las distintas etapas de desarrollo.



Figura 93. Sistema, para la aplicación de fertirriego

- En la fertilización edáfica se hacen aportaciones nitrogenadas cuantiosas, lo que puede dar lugar a pérdidas importantes por lavado y volatilización, sobre todo en suelos arenosos. En fertirrigación mediante riego por goteo no existe este inconveniente.
- Ahorro de fertilizantes.
- La asimilación de los nutrientes es mayor, por la uniformidad horizontal y vertical en la aplicación, porque la penetración al suelo es más rápida y uniforme y porque se aplican fuentes altamente solubles y con suficiente volumen de agua para que las plantas las puedan absorber eficientemente.
- Adecuada nutrición. Se facilita la aplicación balanceada de acuerdo a las necesidades momentáneas de nutrición de las plantas.
- Corrección rápida de deficiencias específicas.
- Aplicación eficiente de microelementos, los cuales son costosos y se requieren en pequeñas cantidades.
- Aplicación de cantidades exactas de fertilizantes a través de sistemas de control automático.
- Reducción de costos operativos de aplicación de fertilizantes: energía, mano de obra, otros.
- Evita el taponamiento de equipos de inyección, goteros, mangueras, etc.

Sin embargo, cuando no se tiene un conocimiento profundo del manejo del fertirriego, de los tipos y mezclas de fertilizantes, las preparaciones de los mismos, y las cantidades y frecuencia de aplicación de acuerdo al estado nutricional de las plantas, es más recomendable acudir a la fertilización edáfica. Por otro lado, la utilización de la fertirrigación tiene las siguientes limitaciones:

- Exige la utilización de fertilizantes líquidos o sólidos solubles.
- El agua que contiene fertilizantes químicos no debe ser utilizada en ninguna otra actividad, no puede ser bebida por seres humanos ni animales.

- Todas las sustancias a inyectar en el sistema de riego deben ser evaluadas para determinar su compatibilidad o si causarán alguna reacción química indeseada.
- Si no se tienen sistemas exactos de monitoreo del riego, se puede llegar a contaminar aguas subterráneas debido al exceso de agua con sustancias químicas.
- Todas las partes que entran en contacto con soluciones concentradas o con sustancias químicas inyectadas, deben estar hechas de materiales resistentes a la corrosión con el fin de reducir ésta al mínimo.
- Se requiere un correcto funcionamiento de todos los componentes del sistema.
- La Inversión inicial alta.
- Para lograr la máxima eficiencia, se requiere conocimiento sobre preparación de soluciones, deficiencias nutricionales, requerimientos nutricionales del cultivo, etc.

4.7.4.1 Características de los fertilizantes utilizados en fertirrigación

Para el empleo correcto de los fertilizantes hay que tener en cuenta aquellas características que pueden influir sobre el suelo de cultivo o sobre el manejo de la instalación:

Solubilidad

Todos los fertilizantes utilizados en fertirrigación deben tener un grado de solubilidad que impida las obturaciones con partículas sólidas sin disolver. Es importante conocer el grado de solubilidad del fertilizante, con el fin de saber la cantidad máxima del mismo que se puede añadir a una determinada cantidad de agua. La solubilidad depende de la temperatura del agua: a mayor temperatura mayor solubilidad.

Salinidad

Con excepción de la urea, todos los fertilizantes líquidos son soluciones salinas, en consecuencia, aumentan la salinidad del agua de riego. La concentración de sales solubles es uno de los criterios más influyentes para juzgar la calidad de las aguas de riego, puesto que la mayor o menor concentración de la solución en el suelo afecta el esfuerzo de succión que la planta tiene que hacer para absorber el agua, y esto lleva a que se reduzca el tamaño de las células y el tamaño del fruto, y, por ende, la cantidad de la producción. Cuando el agua es de buena calidad se pueden utilizar concentraciones altas en el abonado sin peligro grave; pero cuando el agua es de mala calidad, resulta indispensable utilizar concentraciones bajas, lo que requiere aplicaciones frecuentes.

Se considera que las plantas de tomate son tolerantes a la salinidad y capaces de crecer y producir comercialmente cuando son cultivadas en suelos salinos, y aunque sean regadas con aguas salinas. Sin embargo, cuando la salinidad es incontrolada, se

pueden crear situaciones que tienen un efecto negativo sobre la planta y el suelo, como un resultado de la acumulación de sales en este último.

En ciertas situaciones, cuando hay un aumento de ciertos elementos dañinos en el suelo, como el sodio y el cloro, que son absorbidos por la planta, se produce toxicidad en el follaje. El indicador de salinidad en el suelo es la conductividad eléctrica (CE), que se mide en unidades de deciSiemens por metro (dS/m). La CE expresa el nivel de conductividad, el cual está dado a partir de todas las sales en la solución. Algunas sales son elementos benéficos que la planta absorbe y requiere, como el potasio, el fósforo y el nitrógeno, y algunas son elementos dañinos, como el cloro y el sodio, que no son absorbidos por la planta pero pueden incrementar la CE y aun cambiar la textura del suelo. El análisis de suelo permite conocer la composición de cada uno de los iones que requieren las plantas, y aprender la composición específica de las sales en la solución del suelo y cuáles factores influyen el incremento de los valores de la CE. Los principales factores que promueven la acumulación de sales son:

- La concentración de sales en el agua, la cual es un indicador de su calidad.
- Los tipos y la calidad de los fertilizantes.
- La nutrición incontrolada (aplicación de grandes cantidades de fertilizantes).
- El volumen y la frecuencia de aplicación del agua de riego.

Una combinación de déficit de agua y condiciones de salinidad conduce a una disminución significativa en el nivel de producción, en tanto que la repentina deficiencia de agua favorece la aparición de la pudrición apical del fruto.

En suelos con alto contenido de arcilla (suelos pesados) hay mayor riesgo de acumulación de sales, principalmente sodio (Na), y el lavado de las mismas en este tipo de suelos es difícil.

Acidez

Lo más conveniente es mantener una reacción ácida, lo que facilita la solubilización de los compuestos de calcio y evita, por tanto, las precipitaciones calcáreas en las conducciones. Muchos fertilizantes incrementan el pH del agua de riego, lo que aumenta el riesgo de las precipitaciones.

Los fertilizantes tienen un efecto considerable sobre el pH del agua de irrigación, en la que se disuelven. El pH óptimo de la solución del suelo está entre 5,5 y 7. Valores demasiado altos de pH (<7,5) disminuyen la disponibilidad de fósforo, zinc y hierro para las plantas, y se pueden formar precipitados de carbonatos y ortofosfatos de calcio y magnesio en tuberías y emisores.

Cuando aumenta el pH en la solución de fertirriego, las opciones para reducirlo son el ácido nítrico (HNO_3) o ácido fosfórico (H_3PO_4), con la ventaja que proveen, respectivamente, nitrógeno y fósforo a las plantas.

Grado de pureza

Los fertilizantes utilizados en fertirrigación deben tener un alto grado de pureza, para evitar sedimentos o precipitaciones que obstruyen la instalación. Hay que prevenir la incorporación de elementos tóxicos o no deseables, como Cl, Na o exceso de Mg que, añadidos a los ya existentes en el agua de riego, pueden alcanzar dosis perjudiciales.

Compatibilidad de las mezclas

Todas las sustancias que se vayan a inyectar en el sistema de riego deben ser evaluadas para determinar si causarán alguna reacción química indeseada. Hay que evitar las reacciones químicas en donde se originen productos sólidos insolubles. Por ejemplo, se debe evitar la mezcla de productos que contienen sulfatos (sulfato amónico, sulfato potásico, sulfato magnésico, etc.), o fosfatos (fosfato amónico, superfosfato, etc.) con los que contienen calcio (nitrato cálcico, cloruro cálcico, etc.). (tabla 11). Las fuentes comunes de cloro son agentes oxidantes, lo que causa la precipitación de carbonato de calcio y de magnesio, al igual que la de óxidos de hierro (herrombre).

Tabla 11. Compatibilidad de algunos fertilizantes

	Nitrato amónico	Sulfato amónico	Solución nitrogenada	Urea	Nitrato cálcico	Nitrato potásico	Fosfato Monoam	Ácido Fosfórico
Nitrato amónico		+	(+)	(+)	x	(+)	(+)	(+)
Sulfato amónico	+		+	(+)	x		x	(+)
Solución nitrogenada	(+)	(+)		x	(+)	(+)	(+)	(+)
Urea	(+)	(+)	x		(+)	(+)	(+)	(+)
Nitrato cálcico	x	x	(+)	(+)		+	x	x
Nitrato potásico	+	+	+	(+)	+		+	+
Fosfato monoamo	(+)	x	(+)	(+)	x	x		+
Ácido fosfórico	(+)	x	(+)	(+)	x	x	+	

+ Fertilizantes que se pueden mezclar

(+) Fertilizantes que se pueden mezclar al momento de aplicarlos

x Fertilizantes que no se pueden mezclar

Se pueden usar fertilizantes compuestos, o se puede preparar solución de fertilizantes, a partir de la mezcla de diferentes tipos de fertilizantes; se deben utilizar uno o dos

tanques con un tamaño que sea compatible con el tamaño del área por fertilizar. Si se dispone de un solo tanque, se debe garantizar su lavado correcto. Además, el uso de más de un tanque facilita la aplicación de fertilizantes que no se pueden mezclar o que se sedimentan, y que producen taponamiento del sistema de riego o desintegración de alguno de los elementos nutritivos (tabla 12).

Tabla 12. Composición de los fertilizantes recomendados en dos tanques (una bomba por tanque)

Tanque A	Tanque B
Nitrato de calcio	Nitrato de potasio
Nitrato de magnesio	Ácido fosfórico
Nitrato de potasio	Ácido nítrico
Mezcla de microelementos (con boro si es requerido)	Ácido sulfúrico (si es requerido)
Quelato de hierro	Sulfato de amonio
	Amonio líquido (si es requerido)

La preparación de las soluciones nutritivas concentradas es una tarea que requiere mucha atención y conocimiento, especialmente en los puntos críticos: la calidad del agua, la concentración de los iones, la solubilidad de las diferentes fuentes utilizadas, el aporte salino y el nivel de acidez. Dada esta complejidad, se necesita un especialista en la formulación y estabilización de concentrados solubles que se utilicen en fertirrigación. Por lo tanto, si no se tienen dichos conocimiento y experiencia, lo más aconsejable es nutrir el cultivo mediante fertilizaciones edáficas hasta que se adquieran.

La aplicación de fertilizantes en terrenos cultivables debe estar orientada a su uso racional, con vistas a disminuir el impacto económico y sobre el medio ambiente. El manejo de la fertilización debe ser cuidadoso para evitar la contaminación del suelo y el agua.

Los cuidados en el uso de fertilizantes abarcan desde el manejo en bodegas, la calibración de los equipos, hasta la aplicación de fertilizantes en sí. En las Buenas Prácticas Agrícolas existen normas para su aplicación y almacenamiento.

4.7.5 Recomendaciones técnicas para la aplicación y manejo de fertilizantes

- Se debe tener un programa de aplicación de fertilizantes, realizado por personal capacitado, que apunte a lograr el máximo beneficio productivo, disminuir las pérdidas del productor y evitar la contaminación ambiental, así como la presencia de sustancias dañinas para el consumidor.

- Adquirir las cantidades de fertilizantes que se demandarán durante la temporada, para reducir el riesgo de pérdidas y de contaminación durante su almacenamiento.
- En el programa de fertilización se deben considerar los siguientes puntos:
 - Tipo de cultivo.
 - Necesidades nutricionales del cultivo.
 - Características y aporte de nutrientes del terreno.
 - Contenido de nutrientes aportados por el fertilizante.
 - Solubilidad del producto.
 - Efecto sobre el suelo.
 - Dosis y momento de aplicación.
- Para cumplir con los puntos del programa de fertilización, se debe realizar un análisis del suelo o el sustrato por medio de un laboratorio especializado, antes de la plantación o del inicio de la temporada, o bien anualmente. Además, se debe conocer el historial de manejo del terreno.
- Las cantidades de fertilizante que se van a aplicar son un punto crítico; por esto la dosificación, el pesaje de los productos y la preparación de las mezclas las debe hacer un técnico capacitado para ello.
- Se debe aplicar una fertilización balanceada para evitar el desarrollo de enfermedades tanto infecciosas como fisiológicas en las plantas, y, además, prevenir la generación y acumulación de sustancias dañinas para los consumidores.
- Igualmente, evitar la aplicación de fertilizantes con alta solubilidad donde exista riesgo de contaminación de aguas, ya sean superficiales o profundas.
- Se deben considerar las condiciones climáticas para la aplicación del fertilizante y posterior a ella, con vistas a prevenir las pérdidas por escorrentía, y, por lo tanto, la posible contaminación de aguas y suelo.
- Los riegos se deben realizar minimizando las posibilidades de pérdidas de fertilizantes por escorrentía.
- En el caso de productores que cuenten con sistema de riego tecnificado, se podrán hacer las aplicaciones a través del riego, teniendo especial cuidado en las características de solubilidad del producto, su dosificación y las necesidades del cultivo.
- Las maquinarias usadas para la aplicación de fertilizantes se deben mantener limpias y en buen estado, chequear su correcto funcionamiento cada vez que se usen, y hacerles mantenimiento por lo menos una vez al año.

4.7.6 Almacenamiento de fertilizantes y abonos orgánicos

- El área de almacenamiento de los fertilizantes y abonos orgánicos debe ser techada, estar limpia y seca, con adecuada ventilación y debidamente señalizada.
- Los fertilizantes deben almacenarse separados de otros productos, especialmente de los fitosanitarios. Se recomienda que sea sobre estibas o

tarimas, con el fin de evitar que se humedezcan, y estar alejados de paredes para evitar la proliferación de plagas y roedores y facilitar la aireación.

- Los fertilizantes y los abonos orgánicos se deben almacenar separadamente.
- Los fertilizantes se deben almacenar en sus envases originales, o en un lugar debidamente identificado, si se encuentran a granel.
- El área de almacenamiento de fertilizantes debe incluirse en el programa de control de roedores del predio.
- Se debe mantener, en el área de almacenamiento, un registro actualizado de las existencias de fertilizantes.

4.8 Importancia de los macronutrientes en la producción de tomate

4.8.1 Nitrógeno

El nitrógeno es el nutriente que más afecta el crecimiento y la producción del tomate. Es un nutriente fácilmente asimilable, fundamental en la formación de aminoácidos, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides y bases nitrogenadas ideales para obtener un rápido crecimiento. Este elemento promueve la formación de flores, frutos y regula la maduración de la planta. Un adecuado nivel de nitrógeno contribuye a un fuerte crecimiento de la planta, mejora el color y tamaño del fruto y disminuye la aparición de hombros verdes.

La deficiencia de nitrógeno (figura 94) se manifiesta en un alargamiento de las plantas, los tallos se vuelven delgados, las hojas también son delgadas y erguidas, y las hojas inferiores presentan un color verde pálido hasta el amarillo. Cuando la deficiencia es severa, toda la planta presenta un color pálido, los folíolos se tornan pequeños, la nervadura principal de las hojas se vuelve de color púrpura antes de caerse, las flores se pueden caer prematuramente y el fruto que se forma se queda pequeño.



Figura 94. Deficiencia de nitrógeno

Por su parte, el exceso de nitrógeno produce un crecimiento vegetativo exagerado y hojas de color verde oscuro, se retrasa la floración y hay menos flores por racimo; el

cuajado de los frutos es escaso, éstos adquieren un color verde pálido, se disminuye el contenido de sólidos en el jugo y se aumenta la acidez; la maduración se retrasa, los tallos se vuelven gruesos y los entrenudos largos. Además, aumenta la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades como gotera y botritis. Un síntoma común de exceso de nitrógeno es la presencia de hojas en el racimo floral (figura 95).

Para controlar la deficiencia de este elemento se recomienda la aplicación de urea, ya sea en forma edáfica, foliar o por fertirriego.



Figura 95. Presencia de vegetación en la inflorescencia por un exceso de nitrógeno

4.8.2 Fósforo

Al igual que el nitrógeno, es un elemento móvil en la planta, en la que actúan ligados fisiológicamente. El fósforo actúa en la fotosíntesis, la respiración, la transferencia de energía y la división y el alargamiento celulares. Es fundamental en la fotosíntesis y en la respiración celular, necesaria para el desarrollo de estructuras reproductivas y del sistema radical; promueve el crecimiento y el desarrollo de las raíces y mejora la calidad del cultivo; es vital para la formación de semillas, y ayuda a aumentar la resistencia a enfermedades.

La deficiencia de fósforo disminuye drásticamente la floración, la producción y la calidad del fruto; produce raquitismo en la planta, los tallos son delgados y fibrosos con una coloración púrpura opaca; las hojas adquieren una coloración verde oscuro o azulado, acompañada de tintes bronceados o púrpuras (figura 96), síntoma muy común en la etapa de semillero; la floración es poca, al igual que el cuajado de los frutos. Cuando la deficiencia es muy severa, se retarda la floración, se produce caída de hojas, flores y frutos, y la maduración es tardía.



Figura 96. Presencia de coloración púrpura en las hojas por deficiencia de fósforo

El exceso de este elemento genera deficiencias de micronutrientes, principalmente de hierro y zinc (tabla 13). Existen en el mercado fuentes foliares de fósforo que pueden ayudar a corregir su deficiencia.

4.8.3 Potasio

El potasio es vital para la fotosíntesis y esencial en la síntesis de proteína; ayuda a que la planta haga un uso más eficiente del agua, por su efecto osmorregulador. Aumenta la tolerancia a heladas, es importante en la formación y la calidad de los frutos y en la activación de enzimas, y aumenta la resistencia a enfermedades; además, ayuda a las plantas a soportar el estrés causado por nematodos y, sobre todo, mejora considerablemente la calidad de los cultivos y sus cosechas. Este elemento tiene importancia preponderante en el llenado, la firmeza y la calidad organoléptica del fruto, interfiere en la uniformidad de la maduración e incrementa la vida en estante.

Las aplicaciones de K en tomate generalmente son más altas que para cualquier otra hortaliza. Por cada tonelada de fruto de tomate producido, se requiere que el cultivo haya removido 4,5 kg de K disponible en el suelo. Del total de K absorbido por la planta, la mayor parte se acumula en el fruto (57%). Pero un exceso de este elemento causa deficiencias de magnesio y calcio por desbalance.

La deficiencia de potasio puede ser similar a una deficiencia de magnesio, ambas se manifiestan primero en las hojas viejas. Sin embargo, la deficiencia de potasio se caracteriza por una clorosis entre las nervaduras, las cuales rápidamente se tornan de color bronce y luego necrosan (figuras 97 y 98), los entrenudos se acortan y hay pérdidas en el rendimiento y falta de vigor en las plantas. Los frutos presentan una maduración irregular, reducen su tamaño y su calidad (pocos sólidos solubles, manchas amarillas con áreas verduscas), se produce lo que comúnmente se conoce

como maduración manchada (Blotchy ripening), y disminuyen su larga vida. La deficiencia de potasio trae como consecuencia reducciones en el potencial hídrico y en la capacidad fotosintética en la planta de tomate.



Figuras 97 y 98. Síntomas de deficiencia de potasio en hojas

Para corregir la deficiencia de este elemento existen algunas fuentes de potasio, como son el nitrato de potasio y el fosfato de potasio, aplicadas ya sea por vía foliar, edáfica o fertirrigación.

4.8.4 Azufre

El azufre es esencial en la formación de proteínas, ya que forma parte de algunos aminoácidos; hace parte de las enzimas y vitaminas y es necesario en la formación de clorofila, por tanto ayuda a mantener el color verde, y estimula el crecimiento vigoroso y la producción de semilla.

El azufre está en la planta en proporción de 1 parte por cada 10 o 12 partes de nitrógeno. Si no hay azufre, la planta no puede usar el nitrógeno.

Aproximadamente el 90% del azufre disponible para la planta proviene de la materia orgánica, y puede decirse que entre más alto sea el contenido de materia orgánica del suelo menor será la posibilidad de una deficiencia de azufre.

En consecuencia, los suelos arenosos bajos en materia orgánica van a responder mucho más a las aplicaciones de azufre que los suelos orgánicos.

La deficiencia de azufre en tomate es escasa bajo condiciones de invernadero. Las plantas son pequeñas, los tallos son delgados, leñosos y alargados, con hojas rígidas y curvadas hacia abajo. Se desarrolla una clorosis intervenal verde amarilla a amarilla, los tallos, las venas y los pecíolos adquieren una coloración púrpura, las manchas

necróticas pueden aparecer en las márgenes y puntas de hojas más viejas y sobre el tallo, y los frutos son de baja calidad con maduración incompleta. Esta deficiencia es similar a la de nitrógeno, pero, para la de azufre, los síntomas se manifiestan en las hojas más jóvenes, por la poca movilidad de este elemento. En algunas ocasiones las aplicaciones de fungicidas con base en azufre para el control de enfermedades satisfacen los requerimientos de la planta.

Con el exceso de este elemento en la planta puede ocurrir una prematura senescencia de hojas.

4.8.5 Calcio

El calcio ayuda a los rendimientos en forma indirecta, porque mejora las condiciones de crecimiento de las raíces y, al estimular la actividad microbiana, la disponibilidad de molibdeno y la absorción de otros nutrientes. Estimula la producción de granos y semillas y es necesario para el crecimiento de los meristemas apicales. Por ser un elemento poco móvil, su traslocación es lenta y su deficiencia se aprecia rápidamente en las zonas meristemáticas.

Muchas veces surge la pregunta: ¿por qué se presentan deficiencias de calcio en suelos que tienen un contenido alto de este elemento? La respuesta es simple: la planta, durante todo su crecimiento, necesita un suministro constante de calcio; no lo acumula, lo toma y lo lleva hasta las hojas. Durante períodos de sequía con noches de baja humedad y días cálidos, hay excesiva evaporación. El calcio del suelo es absorbido por las raíces y llevado a las hojas donde ocurre la evaporación. ¿Qué pasa entonces en las hojas bajas? Serán deficientes en calcio y, por esto, es allí donde se observan los mayores problemas. Y aun cuando haya abundancia de calcio en el suelo, no se distribuye uniformemente en la planta. Si hubiera alta humedad y menor evaporación, el calcio alcanzaría a redistribuirse.

En las plantas de tomate inicialmente aparece un amarillamiento de los bordes en hojas superiores, y se observa una coloración parda oscura en el envés, las hojas en formación manifiestan deformación y curvamiento de los bordes hacia arriba, y el punto de crecimiento presenta necrosis. Los tallos son delgados, débiles y quebradizos; las raíces son cortas, poco ramificadas y gruesas. En los frutos ocurre una pudrición en el extremo apical (figura 99); lo que comúnmente se conoce como “culillo”, se manifiesta tanto en frutos verdes como maduros.



Figura 99. Pudrición apical del fruto producida por una deficiencia de calcio en la planta

Cuando la conductividad eléctrica (CE) en la solución del suelo está por encima de 3 dS/m^{-1} , y la concentración de calcio está por debajo de 100 ppm, la planta es más sensible a la pudrición apical o culillo.

Si hay un exceso de calcio en la planta pueden ocurrir deficiencias de potasio y magnesio por desbalance catiónico.

4.8.5.1 Factores que promueven la deficiencia de calcio en la planta

- Suelos con deficiencia de calcio o cultivos en sustrato.
- Inesperadas condiciones de estrés por falta de agua en el suelo.
- Estrés por salinidad como resultado de la acumulación de sales en el suelo.
- Competencia con otros elementos en el suelo o en el sustrato, un exceso de K y Mg ocasiona deficiencia de Ca (tabla 13).
- Condiciones de humedad relativa baja y viento con aire caliente.
- Altas temperaturas acompañadas por humedades relativas altas.
- Sistema de raíces pobremente desarrollado.
- Variedades sensibles.
- Altos niveles de amonio (NH_4).

Técnicas para controlar la deficiencia de calcio

- Aplicación suficiente de calcio en el agua de riego o al suelo.
- Riego regular y prevención de estrés de agua.
- Prevención de la acumulación de fertilizantes en el suelo o en el sustrato para evitar la acumulación de sales.
- Evitar altas concentraciones de Mg y K, elementos que inhiben la absorción de Ca en el suelo.
- Aplicaciones de K y Mg de acuerdo a los requerimientos de la planta.
- Mantenimiento de la humedad relativa adecuada en el invernadero.
- Favorecer un desarrollo radicular amplio y profundo que permita a la planta soportar condiciones adversas.

- Evitar el exceso de amonio.

Tanto el calcio como el boro son elementos poco móviles, y es más eficiente aplicar pequeñas dosis en forma repetida por vía foliar que una sola aplicación grande. Es recomendable aplicar fuentes de calcio como nitrato de calcio, quelato de calcio, entre otras.

4.8.6 Magnesio

Es un mineral constituyente de la clorofila, de modo que está involucrado activamente en la fotosíntesis. Ayuda en el metabolismo de los fosfatos, la respiración de la planta y la activación de numerosas enzimas. Es necesario para la formación de azúcares, y propicia la formación de aceites y grasas. Interviene en la traslocación del almidón; por lo tanto, cumple un papel importante en el llenado de los frutos.

La deficiencia de magnesio se manifiesta en las hojas más viejas de la planta, las cuales presentan clorosis marginales, que van progresando hacia el centro como una clorosis intervenal (figura 100), las venas permanecen verdes y aparece un moteado necrótico en las hojas cloróticas (amarillas). Estas hojas se curvan hacia el haz, se necrosan y caen prematuramente. La deficiencia también puede observarse en la parte media de la planta cuando el cultivo está en máxima producción. En casos severos, se da la muerte de las hojas viejas, toda la planta se vuelve amarilla y se reduce la producción.



Figura 100. Síntoma típico de deficiencia de magnesio

La deficiencia de magnesio también es común cuando hay conductividades eléctricas altas como resultado de altas concentraciones de potasio. La corrección de este elemento se hace con aplicaciones en forma edáfica con sulfato de magnesio y óxido de magnesio, y vía foliar con productos a base de nitrato de magnesio.

Un suministro adecuado depende no sólo de la cantidad absoluta de magnesio, sino también de la relación Ca-Mg. Un exceso de calcio con relación al magnesio puede inducir una deficiencia de este último.

Cuando el magnesio se disuelve en la solución del suelo, es absorbido a través del sistema radicular por difusión o intercambio iónico. La competencia de nitrógeno, calcio y, particularmente, potasio, interfiere con la toma y absorción del magnesio.

La toma rápida de fertilizantes nitrogenados, cuando están en mayor proporción que el magnesio disponible, produce deficiencia. Al igual que con los otros nutrientes no móviles, el periodo crítico de utilización del magnesio es en los primeros cuarenta días de crecimiento.

4.9 Importancia de los micronutrientes en la producción de tomate

4.9.1 Hierro

El hierro participa en el proceso respiratorio y en la fotosíntesis, interviene en la formación de la clorofila y, por tanto, es indispensable en la formación de alimentos en la planta. Asociado al cobre, el manganeso y el boro, aumenta el contenido de lignina, compuesto orgánico que cumple funciones de sostén y protección de la planta contra el ataque de organismos causantes de enfermedades.

La deficiencia de hierro se manifiesta en las hojas terminales (figura 101), con una clorosis uniforme en las márgenes, que se extiende por toda la hoja, las venas también se vuelven cloróticas y, con el tiempo, la clorosis puede pasar a las hojas más viejas. Se disminuye el crecimiento de la planta, con hojas más pequeñas de lo normal, y las flores se caen (aborto de la planta).



Figura 101. Clorosis en hojas terminales producido por una deficiencia de hierro

Por exceso de hierro, se puede producir toxicidad en la planta, generalmente cuando se dan condiciones reductoras en el suelo, como en el caso de suelos inundados.

Las deficiencias extremas de hierro y manganeso aparecen en suelos ricos en limo y en suelos mal aireados, porque el exceso de agua y el encharcamiento causan pérdida de oxígeno.

Suelos con pH alto, y la presencia de carbonato de Ca (cal), inducen la clorosis de hierro, aun cuando los niveles de hierro en la planta sean altos. El hierro se encuentra en abundancia en la mayoría de los suelos, pero principalmente en forma no disponible para la planta, cuyo crecimiento se afecta en forma adversa. Por la deficiencia de hierro disponible.

Las bajas temperaturas en el suelo pueden retardar la velocidad de crecimiento del sistema radicular, lo cual restringe la toma de hierro del suelo. Como norma, las deficiencias de hierro en el campo tienden a disminuir a medida que la temperatura aumenta y la humedad del suelo disminuye. El mejoramiento de la aireación fomenta la actividad microbológica, hay mayor crecimiento de raíces y contacto de las mismas con el hierro.

En caso de una deficiencia severa de hierro, se recomienda aplicar producto a base de quelatos de hierro al 6% en el agua de riego; la dosis debe ser recomendada por la casa productora.

Generalmente la aplicación foliar es mejor que la aplicación al suelo, debido a que no es necesario meterse en la química del suelo y los consecuentes problemas de fijación del hierro por fosfatos, magnesio y otros nutrientes.

4.9.2 Manganeso

El manganeso hace parte de las enzimas que participan en la respiración y síntesis de proteína. En general, sirve como un activador para una variedad de reacciones enzimáticas, tales como oxidación, reducción e hidrólisis.

Es particularmente importante en relación con la fotosíntesis. Puede tener influencia directa o indirecta sobre cloroplastos, sitio donde la energía lumínica del sol se convierte en energía química.

La deficiencia de manganeso ocurre en suelos arenosos, turbosos, alcalinos y, particularmente, en suelos calcáreos o subreencalados. También en suelos con bajo contenido de materia orgánica.

La deficiencia de manganeso aparece también en los brotes terminales de la planta; como sucede con la deficiencia de hierro, se caracteriza por la aparición de manchas cloróticas sobre la hoja las cuales se unen y forman una clorosis general conservando las venas verdes.

Para contrarrestar esta deficiencia se recomienda aplicar quelatos de manganeso al 13% en el agua de riego.

4.9.3 Zinc

Este elemento es indispensable en la formación de clorofila y es componente de varias enzimas, entre ellas las que promueven el crecimiento. Interviene en la utilización del agua y otros nutrientes, y les da a las plantas de tomate resistencia a las bajas temperaturas (heladas). El zinc, asociado al magnesio, el boro y el calcio, aumenta la fortaleza de la membrana celular de las raíces, al actuar como obstáculo ante la penetración de organismos patógenos.

Cuando hay deficiencia de este elemento, la planta presenta entrenudos delgados y cortos y adquiere una apariencia de roseta, las hojas son pequeñas y gruesas, con manchas cloróticas irregulares de color verde amarillo y áreas necróticas.

Los pecíolos de las hojas se rizan hacia abajo y éstas se enrollan completamente; las hojas basales muestran clorosis café anaranjada, se produce aborto de flores, y los frutos que se desarrollan permanecen pequeños y maduran prematuramente.

El exceso de fósforo puede inducir deficiencias de zinc, ya sea que la interacción entre el zinc y el fósforo ocurra en el suelo o en el proceso metabólico en la planta. Las aplicaciones altas de fosfatos restringen la absorción del zinc, que se combinará con los fosfatos solubles para formar fosfatos de zinc que no son rápidamente solubles.

Los suelos calcáreos, orgánicos o inundados propician con frecuencia la deficiencia de zinc. El bajo contenido de materia orgánica en el suelo es un factor que puede contribuir a la deficiencia. El hierro o el manganeso, tanto en exceso como en deficiencia, pueden ser factores que contribuyan a la deficiencia de zinc (tabla 13).

Un síntoma de toxicidad por zinc es la reducción del crecimiento de la raíz.

4.9.4 Boro

El boro actúa sobre la diferenciación de tejidos y la síntesis de fenoles y auxinas, interviene en la germinación y el crecimiento del tubo polínico y en el transporte de almidones y azúcares desde la hoja hacia los frutos en formación.

Si bien es cierto que la cantidad de boro necesaria para el metabolismo es mínima, su carencia es muy frecuente debido, entre otros factores, a su escasa movilidad dentro de la planta, aun bajo condiciones de suficiente disponibilidad edáfica del elemento. Su mayor concentración se encuentra en las hojas inferiores, en donde parece quedar fijado; a medida que la planta crece la concentración disminuye en las hojas jóvenes, puntos de crecimiento y frutos. Por lo tanto, la deficiencia se manifiesta generalmente en las hojas jóvenes, las cuales permanecen pequeñas y se deforman enroscándose hacia adentro, con manchas cloróticas de color amarillo naranja y venas amarillas, hay proliferación de rebrotes en forma de rosetas, se afecta el punto de crecimiento, el cual se necrosa y muere, y se detiene completamente el crecimiento. Se presentan tallos

cortos, gruesos y rígidos, también caída de flores y frutos con áreas corchosas alrededor del punto de abscisión (figura 102). El sistema radicular es muy pobre, grueso y poco ramificado, de color amarillento o café.



Figura 102. Síntoma en frutos de deficiencia de boro

Con niveles ligeramente por encima de los necesarios para el desarrollo normal, se puede producir toxicidad en la planta. Los síntomas comienzan con amarillamiento de la punta de las hojas y luego se produce necrosis desde la punta superior de una hoja y bordes hasta el centro de la misma.

4.9.4.1 Factores que afectan la disponibilidad de boro en el suelo

La disponibilidad de boro para la planta se ve afectada tanto por los factores que favorecen su fijación como por aquellos relacionados con el clima, el material parental, las interacciones con otros elementos, la materia orgánica y la textura del suelo. La relación entre el boro y los factores mencionados es la siguiente:

- La escasa movilidad del boro en las plantas.
- Su tendencia a la lixiviación.
- Su adsorción a los coloides.
- La no disponibilidad en épocas de sequía.
- PH y nivel de cal: el encalado disminuye la disponibilidad de boro por fijación de los hidróxidos de hierro y aluminio recién precipitados.
- Interacción con otros elementos: en suelos con alto contenido de calcio generalmente se presentan deficiencias de boro, las cuales también se han inducido al aplicar tasas elevadas de potasio y nitrógeno.
- Clima: cuando el suelo está demasiado seco se produce una retención de boro, se cree que el secamiento favorece la sustitución de boro por aluminio. Por otra parte, la falta de agua reduce la mineralización de la materia orgánica y, por lo tanto, el suministro de boro.
- Textura: los suelos arenosos son generalmente más bajos en boro.

Teniendo en cuenta estas situaciones, investigadores de muchas partes del mundo desarrollaron las formulaciones y metodologías adecuadas para hacer altamente eficiente la aplicación foliar de boro. Esta práctica, como medio para prevenir o corregir su deficiencia, ha resultado ser la mejor alternativa; por ello su uso se está extendiendo en, prácticamente, todos los cultivos de las principales zonas agrícolas del mundo.

Las ventajas de la aplicación foliar de boro son múltiples, veamos:

El boro en formulación líquida puede aplicarse indistintamente con equipos aéreos o terrestres mediante sistemas de riego. Además, es compatible con la mayoría de plaguicidas, coadyuvantes de uso agrícola o con otros nutrientes de aplicación foliar, lo cual permite el aprovechamiento de las aplicaciones convencionales necesarias en los cultivos. Se requieren cantidades mucho menores por unidades de superficie en comparación con la aplicación edáfica.

Debido a la velocidad y eficiencia de absorción por vía foliar, se garantiza la eliminación de factores de pérdida como son la lixiviación, precipitación y adsorción, y se pueden corregir en forma inmediata los síntomas de carencia tanto en plantas anuales como perennes. Igualmente, se puede garantizar un suministro oportuno del nutriente a los cultivos en fase de activo crecimiento, aun bajo condiciones de estrés.

En el cultivo de tomate se reportan incrementos de 16% en el rendimiento, así como aumentos en los contenidos de azúcares, materia seca, vitamina C y nitrógeno proteico, como resultado de aplicaciones periódicas de boro.

4.9.5 Cobre

El cobre está presente en diversas enzimas o proteínas relacionadas con los procesos de oxidación y reducción. Estimula la formación del polen viable, por ello su más alta demanda se presenta en la floración; actúa conjuntamente con el manganeso y el zinc en la utilización y movilización de otros nutrientes, y ayuda al desarrollo de las raíces y a la formación de proteínas y enzimas. El cobre cumple, además, las funciones de aumentar el sabor en los frutos, el contenido de azúcares, la capacidad de almacenamiento y la resistencia al transporte.

Cuando hay deficiencia de cobre, los márgenes de las hojas jóvenes de la planta son pequeñas, pálidas y distorsionadas, se enroscan hacia arriba y los brotes son atrofiados, y hay un desarrollo muy deficiente de la raíz. Se producen lesiones necróticas oscuras sobre la vena principal, no hay producción de flores o es mínima; en casos severos, la planta puede presentar enanismo y clorosis.

El exceso de este elemento reduce el desarrollo de la raíz y se observa clorosis similar a la falta de hierro, probablemente como consecuencia de una deficiencia inducida de este último al reducirse por competencia la absorción de hierro.

Las deficiencias de cobre pueden corregirse utilizando varios compuestos, como los sulfatos cúpricos, el óxido cuproso, los quelatos de cobre, entre otros, los cuales pueden aplicarse al suelo por vía foliar o por fertirrigación.

4.9.6 Molibdeno:

El molibdeno es parte estructural de una oxidasa que convierte el aldehído del ácido abscísico en la hormona ABA, reguladora del crecimiento que protege las plantas contra factores de estrés fisiológico; además, induce efectos positivos en la formación del polen viable al momento de la floración y la fecundación.

La deficiencia de este elemento se manifiesta en las hojas más viejas, que muestran una clorosis entre las nervaduras, los márgenes de las hojas se enrollan hacia arriba y sus venas también son cloróticas; en casos severos, se presenta necrosis de las hojas. El molibdeno es el único nutriente que muestra mayores problemas de deficiencia en suelos ácidos que en suelos alcalinos, en otras palabras, entre más ácido sea el suelo más necesario es el molibdeno.

4.9.7 Cloro

El cloro está involucrado en la apertura de los estomas, por esa razón interviene en la turgencia de las células y ayuda al metabolismo del nitrógeno. Generalmente las aguas de riego son ricas en cloruros, por tanto casi nunca es necesario hacer aplicaciones de este elemento. A causa de los bajos requerimientos de cloro, es prácticamente imposible que se produzca deficiencia en la planta en condiciones normales.

Más importante es el exceso de contenido de cloro en la planta, que se produce por un nivel muy alto de salinidad en el suelo. Los síntomas son: quemadura de ápices y de borde de la hoja, bronceado, amarillamiento progresivo y caída de flores.

Tabla 13. Antagonismos comunes que se presentan por exceso de algunos nutrientes

Nutriente en exceso	Deficiencia inducida
Nitrógeno	Potasio, magnesio
Potasio	Nitrógeno, calcio, magnesio
Cloro	Nitrógeno
Azufre	Molibdeno
Sodio	Potasio, calcio, magnesio
Calcio	Potasio, magnesio, boro, manganeso, zinc
Magnesio	Calcio
Manganeso, cobre, hierro	Zinc
Hierro	Manganeso, zinc

Manganeso, zinc	Hierro
Fósforo	Hierro, zinc

4.10 Podas

En materiales de tomate de crecimiento indeterminado, se requiere realizar la poda de diferentes partes de la planta, como tallos, chupones, hojas, flores y frutos, con el fin de permitir mejores condiciones para aquellas partes que quedan y que tienen que ver con la producción; a la vez, se busca eliminar aquellas partes que no tienen incidencia con la cosecha y que pueden consumir energía necesaria para lograr frutos de mayor tamaño y calidad.

4.10.1 Desinfección de herramientas

Para asegurar la salud del cultivo al realizar cualquier tipo de poda se recomienda hacer una desinfección periódica de las herramientas con una solución de yodo agrícola o hipoclorito de sodio al 5% (figura 103), al pasar de planta a planta y aplicar productos con 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. Además, 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 104).

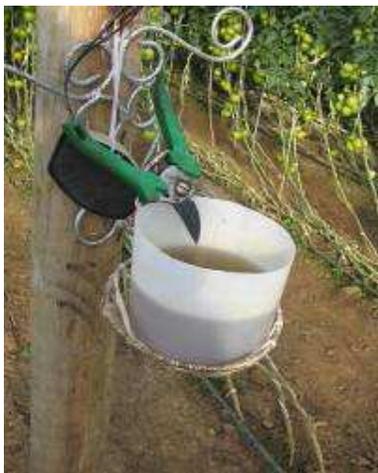


Figura 103. Desinfección de herramientas



Figura 104. Método adecuado de recolectar los residuos de poda

Las principales ventajas de las podas son:

- Reducir la competencia entre órganos en crecimiento.
- Mejorar la ocupación del volumen aéreo.
- Facilitar la aireación de la planta.
- Mejorar la penetración de la luz.
- Facilitar la recolección.
- Balancear la nutrición en la planta.

4.10.2 Tipos de podas

4.10.2.1 Poda de formación

Ésta es la primera poda que se le realiza a la planta en los primeros 25 a 30 días después del trasplante, y que define el número de tallos que se van a desarrollar. Se pueden trabajar plantas a uno, dos, tres y hasta cuatro tallos. La decisión del número de tallos debe depender de la calidad del suelo, la distancia de siembra, el material utilizado y el tipo de tutorado empleado. Sin embargo, lo más recomendable en invernadero es trabajar la planta a un solo tallo (figura 105), para facilitar su tutorado y manejo.

La primera deschuponada se realiza aproximadamente entre los 25 y 30 días después del trasplante, en el momento de la poda de formación, y en ella se eliminan los brotes o chupones que se desarrollan en la base del tallo y que están por debajo del primer racimo floral (figura 106), los cuales generalmente florecen muy poco; se eliminan, además, las hojas bajas amarillentas ya senescentes.



Figura 105. Planta a un solo tallo



Figura 106. Planta de un solo tallo con proliferación de brotes que deben eliminarse

4.10.2.2 Poda de yemas o chupones

Una vez se define el número de tallos que se van 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 107); éstos se deben eliminar antes de que tengan un tamaño menor de 2 a 3 cm, para que no absorban los nutrientes que se requieren para la formación y llenado del fruto. Es 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 (figura 108).