

CAPÍTULO 6 III

NUTRICIÓN

Jorge Eliecer Jaramillo Noreña¹
Viviana Patricia Rodríguez²
Paula Andrea Aguilar Aguilar³

FERTILIZACIÓN

La práctica de fertilización tiene como objetivo aportar los nutrientes esenciales a los cultivos cuando el suelo no los provee en la cantidad adecuada y en el tiempo oportuno en que son demandados por las plantas.

Suelo

El tomate prospera en diferentes tipos de suelo, siendo los más indicados los suelos sueltos, fértiles, bien aireados y con buen drenaje interno, que a su vez tengan capacidad de retener humedad, que sean de texturas francas a franco arcillosas, con contenidos de materia orgánica altos (por encima del 5%) y una buena cantidad de nutrientes. El pH del suelo debe oscilar entre 5,8 a 6,8 para garantizar la máxima disponibilidad de nutrientes (Tabla 6.1 y Figura 6.1). Además, el terreno debe ser uniforme y estar libre de piedras y malas hierbas (Jaramillo y Lobo, 1983; Barreto, 2002).

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

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

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

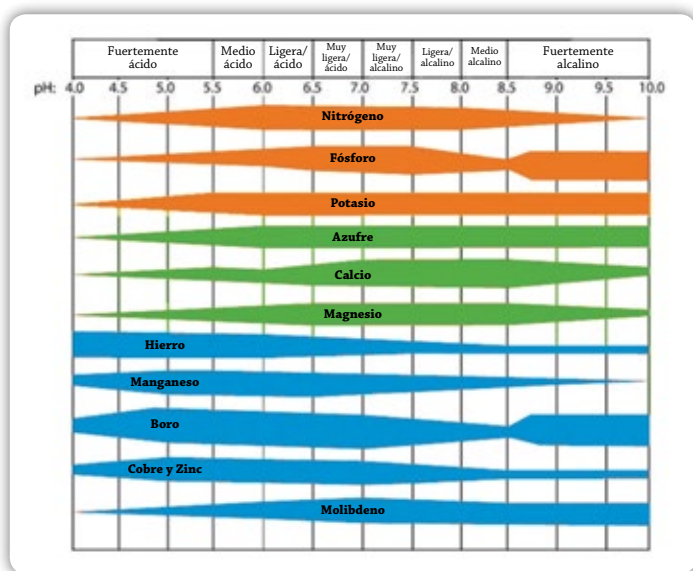


Tabla 6.1. Limitantes en nutrientes de acuerdo con las condiciones del suelo

Condiciones del suelo	Zn	Fe	Mg	Cu	B	Mo	Ca	Mg	s	N	p	K
Ph Alto	X	X	X	X	X							
Ph Bajo	X				X	X	X	X			X	
Materia orgánica alta	X			X	X	X	X	X				X
Materia orgánica baja	X			X	X	X						
Fertilidad natural baja	X			X	X	X						
Tipo arcilla (fijación)	X			X	X						X	X
Erosión	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Lixiviación					X		X	X	X	X		X
Excesos de humedad	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Sequía excesiva	X				X							X
Malos drenajes	X	X	X		X							X
Compactación del terreno	X	X	X		X							X
Mala aireación del suelo	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Bajas temperaturas	X											
Altas temperaturas					X					X		X
Suelos arenosos	X				X		X	X	X			X
Suelos calcáreos	X	X	X		X							X
Suelos Salinos	X	X	X	X	X					X	X	X
Suelos orgánicos				X							X	X
Excesos de cal	X	X	X	X				X			X	X
Excesos de fósforo	X	X	X									
Alto nivel de carbonatos	X	X										
Hidróxidos de Fe y Al	X				X	X			X		X	
Alta flora microbiana						X			X	X		

Fuente: Tomado de Manual Técnico Microfertilisa





Fuente: Zeidan, 2005

Figura 6.1. Influencia del pH sobre la disponibilidad de nutrientes esenciales en el suelo

Factores que afectan la habilidad de la planta para absorber nutrientes

Según Lora (1984), los factores que afectan la habilidad de las plantas para absorber nutrientes son los siguientes:

1. Concentración de oxígeno en la atmósfera del suelo: la energía requerida para la toma de micronutrientes es generada por el proceso de respiración en las raíces de la planta. Con excepción de las plantas acuáticas, este proceso depende del suministro de oxígeno en la atmósfera del suelo, por tanto, una pobre aireación inhibe la absorción de muchos nutrientes y afecta el estado de oxidación de algunos de los nutrientes esenciales. La anoxia elimina efectivamente el transporte activo y la ausencia de O_2 inhibe la fosforilación oxidativa y el transporte de electrones, lo cual sugiere el involucramiento de estos procesos en el transporte iónico.

2. Temperatura del suelo: la absorción de nutrientes está relacionada con la actividad metabólica, lo cual a su vez es dependiente de la temperatura. Por ejemplo, es requerida con mayor frecuencia una mayor concentración de la solución de un nutriente para una máxima tasa de crecimiento en suelos fríos que en suelos calientes, lo que es cierto en el caso del fósforo. Vale resaltar que el proceso de transporte de iones es fuertemente dependiente de la temperatura, y el transporte neto es esencialmente reducido a temperaturas cercanas a cero.



3. Reacciones antagónicas que afectan la toma de nutrientes: incluso cuando la concentración de un nutriente en la superficie de la raíz es posiblemente el factor más crítico que afecta la rata de absorción bajo condiciones normales, pueden ser igualmente importantes reacciones antagónicas entre nutrientes. Existen interacciones entre las cuales se pueden citar algunas como Zinc-Fósforo, Zinc-Nitrógeno, Hierro-Fósforo, Cobre-Fósforo, Molibdeno-Fósforo, Molibdeno-Azufre, Zinc-Magnesio, Boro-Calcio, Zinc-Calcio, Hierro-Molibdeno, Cobre-Hierro, Cobre-Molibdeno y Cobre-Zinc.

4. Sustancias tóxicas: cualquier sustancia que interfiera con los procesos metabólicos de la planta puede afectar la toma de nutrientes por la misma. Tales sustancias pueden incluir altas concentraciones de Mn y Al en suelos ácidos, así como sales solubles, exceso de B y metales pesados, entre otros. Existen a su vez numerosos inhibidores de absorción de iones, entre los que encontramos compuestos como algunos arsenatos, fenilhidrazones, cloroanfenicol, malonatos, transaconinatos, arsenitos, fluoruros, fluoracetatos, etc.

5. Enfermedades que afecten el normal desarrollo fisiológico de las plantas, especialmente de las raíces, como nematodos, bacteriosis y hongos del suelo como *Fusarium*.

6. Exceso o deficiencias hídricas en el suelo.

7. Textura y estructura del suelo, ya que de estas depende en gran parte el desarrollo de un buen sistema radicular. A mayor área de enraizamiento, mayor absorción de nutrientes por la planta.

Toma de muestras para análisis de suelos

El análisis de suelos es una herramienta que se utiliza como referencia para el manejo de la fertilidad de los mismos, ya sea para determinar deficiencias y necesidades de fertilización o para monitorear la evolución de la disponibilidad de nutrientes en el suelo, permitiendo un uso correcto tanto de fertilizantes químicos y orgánicos como de enmiendas (ICA, 1992).

Todavía esta práctica no es usada ampliamente por los productores debido al desconocimiento que existe sobre la manera correcta de tomar las muestras para el análisis y la falta de información sobre la disponibilidad de laboratorios, así como su costo. Sin embargo, en el campo es de primordial importancia realizar un correcto muestreo del suelo para que sea representativo del área o lote del que se desea la información.



El análisis de suelos será tan bueno como la calidad de las muestras tomadas, puesto que la muestra enviada al laboratorio (de 0,5 a 1,0 kg) representa millones de kilogramos de suelo. Los siguientes son los pasos a seguir en el muestreo de suelos (ICA, 1992):

- Recorrer el invernadero en *zig-zag* y cada 15 o 30 pasos tomar una submuestra. La recolección se hace con pala o barreno.
- Limpiar la superficie del terreno (los dos primeros centímetros de tierra), tomar la muestra y depositarla en un balde.
- Las submuestras para el cultivo de tomate deben ser tomadas entre 20 y 30 cm de profundidad (Figura 6.2).
- Luego de tener todas las submuestras en el balde (de 15 a 20 por invernadero) se mezclan homogéneamente y se toma aproximadamente 1 kg.
- Empacar en una bolsa limpia y enviar al laboratorio lo antes posible.



Figura 6.2. Toma de muestras de suelo

Para identificar la muestra se debe colocar el nombre del propietario, nombre de la finca, ubicación geográfica, número de muestra y lote, superficie que representa, y algunas informaciones complementarias como: 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 aplicó o no cal y su 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 a tres meses de anticipación a la siembra (Muñoz, 1996; Jaramillo *et al.*, 2007).

Análisis foliar

Es útil para correlacionar la extracción de nutrientes en determinados estados de desarrollo de la planta y la concentración del elemento del suelo, además de 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 (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 hoja desarrollada a partir de la yema terminal en los tallos principales. No se deben utilizar hojas dañadas por insectos, enfermedades, herbicidas u otros, ni tampoco incluir hojas secas con deformaciones, manchas necróticas o presencia de insectos.

Para poder interpretar los análisis foliares es necesario muestrear el tejido indicativo en la época adecuada para cada cultivo; de esta manera, se logran comparar los datos producidos con los rangos obtenidos o niveles críticos. Es importante tener en cuenta que estos niveles pueden cambiar con las variaciones de clima, la tasa de crecimiento de la planta o la presencia o ausencia de otros elementos.

En general, para las plantas de tomate se proponen los siguientes contenidos como valores apropiados (Tabla 6.2):

Tabla 6.2. 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, 1995



Fertilización

Antes de hacer un plan de fertilización se debe contar con un análisis de suelo para determinar las necesidades de elementos nutricionales y de esta manera hacer los ajustes necesarios que garanticen una adecuada nutrición del cultivo de acuerdo con los requerimientos nutricionales del mismo (Tabla 6.3) (Jaramillo *et al.*, 2007).

Tabla 6.3. Interpretación de un análisis de suelo para el cultivo de tomate

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

* Con NaHCO₃+ EDTA a pH 8,5 - ** Por agua caliente

Fuente: Muñoz, 1995

La necesidad de fertilizantes por parte del cultivo va a depender de la disponibilidad de nutrientes del suelo de acuerdo con el pH (ver Figura 6.1), del contenido de materia orgánica, humedad, variedad, producción y calidad esperada del cultivo. Por ello, las aplicaciones de fertilizantes estarán sujetas al resultado del análisis químico del suelo, análisis foliares, observaciones de campo y 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 nu-



trientes en las cantidades suficientes y épocas precisas para el cultivo. Una buena fertilización no implica aplicar solamente el elemento faltante, sino también mantener un balance adecuado entre los componentes, 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 aporte de nutrientes al 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 con alta exigencia de nutrientes que requiere de una alta disponibilidad de macronutrientes como N, P, K, Ca, Mg, S, y micronutrientes como Fe, Mn, Cu, B, Zn. Aunque el requerimiento de N es alto, 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 de 1:1; cuando comienza el llenado de fruto se requiere de una cantidad mayor de potasio, ya que este elemento contribuye con la maduración y llenado de frutos, por consiguiente la relación de estos nutrientes debe ser 1:2 o 1:3 (Tabla 6.4).

En el mercado existen varias fuentes de fertilizantes, y entre los más utilizados están: 18-46-0; 10-20-20; 10-30-10; 15-15-15; 17-6-18-2 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 6.5). 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
Potasio: 600 - 1.100 kg/ha



Tabla 6.4. 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 1,0 meq	Óptimo
	Mayor de 1,0 meq	Pudrición apical del fruto (deficiencia de calcio)
Ca / Mg	Menor de 2,0 meq	Deficiencia de calcio
	4,0 a 5,0 meq	Óptimo
	Mayor de 1,0 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 1,0 meq	Frutos blandos y maduración manchada
	1,2 a 1,8 meq	Óptimo
	Mayor 2,0 meq	Hombros verdes

Fuente: Semillas Latinoamericanas Chile. Impulsores Internacionales. 2003

Tabla 6.5. Aporte de nutrientes de algunos fertilizantes

	N	PO	KO	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	

La extracción y acumulación de nutrientes aumenta conforme se incrementa el crecimiento de la planta del tomate, y su floración y fructificación son las etapas donde se producen los cambios más acentuados en la absorción de dichos 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), lográndose la tasa máxima de acumulación de nutrientes tras los tres meses, siendo el potasio el elemento en que mayor proporción toma la planta, ya que aproximadamente el 73,8% se absorbe durante el proceso de fructificación. Por lo demás, 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.

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), el destino de la producción, la variedad sembrada y el rendimiento agrícola (Jaramillo *et al.*, 2007).

Materia orgánica

La materia orgánica aumenta la capacidad de almacenamiento del agua, mejora la relación aire-agua en el suelo, amplifica la acción de intercambio catiónico, permite la desintoxicación de metales pesados, libera compuestos químicos que estimulan el desarrollo de raíces, estimula el crecimiento de micro y macroorganismos favorables al desarrollo de las plantas y amortigua la liberación de nutrientes en la solución del suelo mejorando su estructura y composición nutritiva (Flórez, 1987; Shany, 2007).

La cantidad de materia orgánica que se aplica depende del análisis de suelo y la calidad del abono. Los productos más recomendados son el compost de alta calidad (totalmente descompuesto) y el guano o humus de lombriz de buena calidad (Figura 6.3).





Figura 6.3. Uso de abonos orgánicos por sitio antes de la siembra

No obstante, se debe considerar que potencialmente son también fuente de contaminación microbiológica, por lo que es necesario tomar todas las medidas posibles para controlar su uso y eliminar o reducir los riesgos de contaminación.

- Se deben usar únicamente abonos orgánicos sometidos a tratamientos de compostaje buscando reducir el riesgo de contaminación microbiológica en las aplicaciones superficiales.
- No es recomendable usar estiércol fresco o cualquier materia orgánica que no esté totalmente descompuesta, pues pueden ser portadores de enfermedades y patógenos del suelo, así como también de semillas de malezas.
- La aplicación del abono orgánico se debe realizar con al menos dos semanas de anticipación a la fecha de siembra o trasplante para evitar la toxicidad y/o problemas de inocuidad en la planta o en sus frutos. Se usan dosis entre 1 a 5 ton/ha dependiendo del contenido de nitrógeno y materia orgánica, de acuerdo con el análisis de suelo.
- Deben transcurrir más de 120 días desde la aplicación hasta la primera cosecha.
- Conviene realizar una buena preparación del suelo para tener una adecuada incorporación del abono al terreno, evitando así los riesgos de contaminación microbiológica.
- Solo se deben utilizar abonos de origen conocido y que den garantías de las técnicas de tratamiento.



En caso de generar los abonos en la propia finca, es importante considerar que:

- La preparación del abono se debe realizar en un lugar retirado de las instalaciones de la finca y de fuentes de agua que puedan resultar contaminadas.
- Se deben seguir adecuadamente las técnicas para preparar abonos orgánicos (Jaramillo, 2007; Shany, 2007).

Importancia de los macronutrientes en la producción de tomate

Nitrógeno: el nitrógeno es el nutriente que más afecta el crecimiento y la producción del tomate por su fácil asimilación, lo que lo convierte en un elemento fundamental en la formación de aminoácidos, proteínas, enzimas, ácidos nucleicos, clorofila, alcaloides y bases nitrogenadas ideales para obtener un rápido crecimiento (Tabla 6.6). También 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 (Jaramillo *et al.*, 2007; Noticias Agrícolas Colinagro).

Una de las funciones más importantes del nitrógeno es su acción directa sobre el incremento de la masa seca, porque favorece el crecimiento del tallo y el follaje contribuyendo a la formación de frutos y granos. No obstante, un exceso de este elemento provoca un gran aumento de follaje, un escaso desarrollo en el sistema radical y un retardo en la formación de flores y frutos.

En el fertirriego, el nitrógeno se suministra en mayor proporción a manera de nitratos (NO_3^-) y en menor proporción en forma amoniacal, ya que permite mantener el pH estable en el sistema. En términos generales, se recomienda conservar una proporción de nitrógeno amoniacal entre 15% y 20% del nitrógeno total (Rodríguez y Flórez, 2004).

La deficiencia de nitrógeno se manifiesta con un alargamiento en las plantas, tallos delgados y hojas también delgadas y erguidas. Las hojas inferiores presentan un color verde pálido hasta casi amarillo, y cuando la deficiencia es severa toda la planta se vuelve de un color empalidecido, los folíolos se tornan pequeños, la nervadura principal de las hojas se vuelve de color púrpura antes de desplomarse, las flores se pueden caer prematuramente y el fruto en formación se queda pequeño (Figura 6.4).





Figura 6.4. Deficiencia de nitrógeno

El exceso de nitrógeno induce un excesivo crecimiento vegetativo y hojas de color verde oscuro, retrasa la floración y hay menos flores por racimo; se produce además un escaso cuajado de frutos (adquieren un color verde pálido), disminuyéndose el contenido de sólidos en el jugo y con aumento de la acidez, la maduración se retrasa, los tallos se vuelven gruesos y los entrenudos largos. Igualmente, aumenta la susceptibilidad de las plantas a las enfermedades como gotera y botritis (Figura 6.5) (Jaramillo *et al.*, 2007; Barreto *et al.*, 2002; Rodríguez y Flórez, 2004).



Figura 6.5. Presencia de vegetación en la inflorescencia por un exceso de nitrógeno



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

Fósforo: al igual que el nitrógeno, es un elemento móvil en la planta, en la que actúan ligados fisiológicamente. Trabaja en la fotosíntesis, la respiración, la transferencia de energía, y en la división y el alargamiento celular; promueve el crecimiento y desarrollo de las raíces, mejorando la calidad del cultivo y siendo vital para la formación de semillas, aumentando la resistencia a enfermedades y jugando un papel importante en la fotosíntesis y en la respiración celular necesaria para el desarrollo de estructuras reproductivas y del sistema radical (Jaramillo *et al.*, 2007).

El fósforo es también valioso para el metabolismo energético de la planta porque pertenece a las moléculas AMP, ADP y ATP. Forma parte de los ácidos nucleicos ADN, ARN y de otros compuestos como el ácido fítico (Tabla 6.6), importante en la germinación de las semillas y el desarrollo de la raíz. Se encuentra en mayor proporción en las hojas jóvenes, flores y semillas en desarrollo (Rodríguez y Flórez, 2004).

La deficiencia de fósforo disminuye drásticamente la floración, producción y calidad del fruto, creando un raquitismo en la planta, expresada en tallos delgados y fibrosos con una coloración púrpura opaca; mientras, las hojas adquieren una coloración verde oscuro o azulada, con tintes bronceados o púrpuras (lo que es un síntoma muy común en la etapa de semillero) y se presenta poca floración y cuajado de frutos. Cuando la deficiencia es muy severa se presenta un retardo en la floración, se produce caída de hojas, flores y frutos, y la maduración es tardía (Figura 6.6).

De la misma forma, la deficiencia de este elemento afecta el desarrollo, debido a que la producción de proteínas es muy baja y la síntesis de almidón, celulosa y sacarosa se reducen. Un efecto notorio de este fenómeno es la reducción en la expansión celular, razón por la cual las plantas pueden presentar enanismo (Rodríguez y Flórez, 2004); aunque existen en el mercado algunas fuentes foliares de fósforo que pueden ayudar a corregir una deficiencia de este.

Por otro lado, su exceso induce a deficiencias de micronutrientes, principalmente de hierro y zinc.

Potasio: es vital para la fotosíntesis y esencial para la síntesis de proteína, ayudando a la planta a hacer un uso más eficiente del agua. Por su efecto osmo-





Figura 6.6. Presencia de coloración púrpura en las hojas por deficiencia de fósforo

rregulador, aumenta la tolerancia a heladas, aporta notablemente a la formación y calidad de frutos, activa las enzimas, tiene resistencia a enfermedades, 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 e interfiere en la uniformidad de la maduración, incrementando la vida en estante. Las aplicaciones de K en tomate generalmente son más altas que para cualquier 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 del K absorbido por la planta, la mayor parte es acumulada en el fruto (57%).

Este nutriente mineral es el más abundante en el citoplasma, y su importancia fisiológica radica en el papel que juega en el metabolismo de los carbohidratos y las proteínas (Tabla 6.6). Por otra parte, contribuye a la economía del agua porque regula la apertura estomacal, lo que es sumamente importante para la absorción de CO_2 y el control de la transpiración; así mismo, aumenta la velocidad de reacción en más de 50 enzimas y, en algunos casos, amplifica la afinidad por el sustrato. Entre las enzimas sobre las cuales actúa el potasio se encuentra



la piruvato quinasa, enzima esencial en la respiración y en el metabolismo de los carbohidratos (Rodríguez y Flórez, 2004).

La deficiencia de potasio puede ser similar a una insuficiencia de magnesio, ya que ambas se manifiestan primero en las hojas viejas; sin embargo, la de potasio se caracteriza por una clorosis entre las nervaduras, las cuales rápidamente se tornan de color bronce y luego se necrosan (Figura 6.7), los entrenudos se acortan, 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.



Figura 6.7. Síntomas de deficiencia de potasio en hojas

La deficiencia de potasio trae como consecuencia reducciones en el potencial hídrico y en la capacidad fotosintética en la planta de tomate; a su vez, en los frutos disminuye la acidez, aumenta la respiración y, por tanto, induce al deterioro (Rodríguez y Flórez, 2004).

En suelos muy ácidos, los tallos principales, los pecíolos y los pedicelos pueden mostrar lesiones de color negro opaco, siendo más comunes en las zonas cercanas a los nudos. Estas lesiones pueden conducir a marchitamiento del follaje, efectos que pueden confundirse por la toxicidad por manganeso en estos suelos (Barreto *et al.*, 2002). El exceso induce a deficiencias de magnesio y calcio por desbalance.



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

Azufre: es esencial en la formación de proteínas (Tabla 6.6), ya que hace parte de algunos aminoácidos. Pertenece a las enzimas y vitaminas, siendo necesario en el desarrollo de la clorofila, que ayuda a mantener el color verde, estimula el crecimiento vigoroso y la producción de semilla.

El azufre está en la planta en proporción de una 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 esta materia 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. Cuando sucede, 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; tallos, venas y pecíolos adquieren una coloración púrpura; las manchas necróticas pueden aparecer en las márgenes y puntas de hojas más viejas y sobre el tallo; además, los frutos son de baja calidad con maduración incompleta. Esta carencia es similar a la de nitrógeno, pero para el azufre los síntomas se manifiestan en las hojas más jóvenes por la poca movilidad de este elemento. En cambio, si existe exceso de este elemento en la planta puede ocurrir una prematura senescencia de hojas.

Calcio: ayuda a los rendimientos en forma indirecta, puesto que mejora las condiciones de crecimiento de las raíces y estimula la actividad microbiana, la disponibilidad de molibdeno y la absorción de otros nutrientes. El calcio alienta la producción de granos y semillas, y es necesario para el crecimiento de los meristemas apicales (Tabla 6.6); por ser un elemento poco móvil, su traslocación es lenta y su deficiencia se aprecia rápidamente en las zonas meristemáticas.

Es un elemento esencial porque interviene en la estabilidad de la membrana plasmática y en la integridad de la célula, ya que es un componente básico de la lámina media de la pared celular en forma de pectatos de calcio. Estos últimos son los que le confieren consistencia y cierto grado de rigidez a la pared celular,



ayudando a preservar la estructura de las membranas celulares al regular su permeabilidad. La presencia de pectatos de calcio en las paredes celulares protege los tejidos contra el ataque de hongos; por otra parte, es un elemento importante en el crecimiento del tubo polínico (Rodríguez y Flórez, 2004).

En frutos de tomate, el periodo crítico para la absorción del calcio es cerca de dos semanas después de la antesis, cuando la tasa de crecimiento del fruto es alta. Días nublados en esta etapa conllevan a la pudrición apical del mismo. Otro factor a considerar es el antagonismo entre el calcio y el magnesio: una deficiencia de calcio puede desarrollar mayor absorción del magnesio, provocando síntomas de fitotoxicidad; por el contrario, altos contenidos de calcio regulan la absorción de potasio, evitando el consumo excesivo de este elemento (Rodríguez y Flórez, 2004).

Pero, ¿por qué se presentan deficiencias de calcio en suelos que tienen un contenido alto de este elemento? La respuesta es bastante simple: la planta durante todo su crecimiento necesita un constante suministro de calcio, pero no lo acumula, solo lo toma y lo lleva hasta las hojas. Durante periodos de sequía, con noches de baja humedad y días cálidos, hay excesiva evaporación; es allí cuando 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, siendo allí donde se observan los mayores problemas, pues aun cuando hay abundancia de calcio en el suelo, este no está uniformemente distribuido dentro de la planta. Si existiera alta humedad y menor evaporación, el calcio alcanzaría a redistribuirse (Jaramillo *et al.*, 2007; Noticias Agrícolas Colinagro).

Se presenta en las plantas de tomate inicialmente un amarillamiento de los bordes de las hojas superiores, observándose una coloración parda oscura en el envés; las hojas en formación presentan deformación y curvamiento de los bordes hacia arriba y el punto de crecimiento presenta necrosis. Por su parte, los tallos son delgados, débiles y quebradizos, las raíces son cortas, poco ramificadas y gruesas, y en los frutos se presenta una pudrición en el extremo apical, lo que comúnmente se conoce como “culillo” y se detalla tanto en frutos verdes como maduros (Figura 6.8).

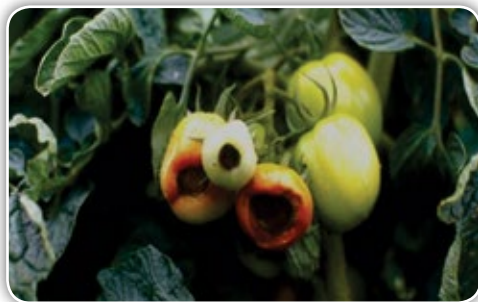


Figura 6.8. Pudrición apical del fruto producida por una deficiencia de Ca en la planta



Cuando la conductividad eléctrica 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 (Zeidan, 2005).

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

Los factores que promueven la deficiencia de calcio en la planta son (Zeidan, 2005):

- Suelos con deficiencia de calcio o cultivos en sustrato.
- Inesperadas condiciones de estrés por agua en el suelo.
- Tensión por salinidad como resultado de la acumulación de sales en el suelo.
- Competencia con otros elementos en el suelo o en el sustrato. Exceso de K y Mg ocasionan deficiencia de Ca.
- Condiciones de humedad relativa baja y vientos calientes.
- Altas temperaturas acompañadas por humedades relativas altas.
- Sistema de raíces pobremente desarrollado.
- Variedades sensibles.
- Altos niveles de amonio (NH_4).

Las técnicas para controlar la deficiencia de calcio son (Zeidan, 2005):

- 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.
- Obviar altas concentraciones de Mg y K, elementos que inhiben la absorción de Ca en el suelo.
- Aplicaciones de K y Mg de acuerdo con 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 suministrar pequeñas dosis en forma repetida por vía foliar que una sola aplicación grande. Es recomendable aplicar fuentes de calcio como nitrato de calcio o quelato de calcio, entre otras.



Magnesio: es un mineral constituyente de la clorofila, de modo que está involucrado activamente en la fotosíntesis (Tabla 6.6), ayudando a su vez en el metabolismo de los fosfatos, la respiración de la planta y la activación de numerosas enzimas. Es necesario para la formación de azúcares, propicia la formación de aceites y grasas e interviene en la traslocación del almidón, razón por la que juega un papel importante en el llenado de los frutos.

La deficiencia de magnesio está en las hojas más viejas de la planta, las cuales presentan clorosis marginales que van progresando hacia el centro como una clorosis intervenal; 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, deficiencia que también puede observarse en la parte media de la planta cuando el cultivo está en su 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 6.9).



Figura 6.9. Síntoma típico de deficiencia de magnesio

También es común la deficiencia de magnesio cuando hay conductividades eléctricas altas como resultado de grandes concentraciones de potasio. La corrección de este elemento se hace con base en aplicaciones en forma edáfica con sulfato de magnesio y óxido de magnesio, vía foliar con productos a base de nitrato también de magnesio (Zeidan, 2005).



El suministro adecuado de este elemento depende no solo de la cantidad absoluta del mismo, sino también de la relación Ca-Mg. Un exceso de calcio con relación al magnesio puede inducir a 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 el potasio, interfieren con la toma y absorción del magnesio. La toma rápida de fertilizantes nitrogenados (cuando están en mayor proporción que el magnesio disponible) produce deficiencia, y al igual que con los otros nutrientes no móviles, el periodo crítico de utilización del magnesio es en los primeros cuarenta días de crecimiento (Noticias Agrícolas Colinagro).

Importancia de los micronutrientes en la producción de tomate

Hierro: participa en el proceso respiratorio y en la fotosíntesis e interviene en la formación de la clorofila (Tabla 6.6), por lo cual es indispensable en la formación de alimentos en la planta. El hierro, asociado al cobre, manganeso y 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 puede tener varias causas:

- Por un desbalance con otros elementos, como el exceso de fósforo y los altos niveles de bicarbonato.
- En pH básico, porque el hierro forma compuestos insolubles no disponibles para las plantas.
- Porque en los suelos ácidos el aluminio soluble es más abundante, y restringe la absorción del hierro.

El hierro a su vez es un elemento asociado con el desarrollo de los cloroplastos, la síntesis de ferredoxina y de clorofila. La ferredoxina actúa en varios procesos metabólicos, entre ellos la fotosíntesis y la reducción del nitrógeno. En condiciones de crecimiento controladas, aproximadamente el 80% del hierro está localizado en los cloroplastos de hojas de rápido desarrollo, lo cual evidencia la importancia del hierro en la fotosíntesis.

Así mismo, y debido a que es poco móvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas jóvenes de la parte superior de la misma



(Rodríguez y Flórez, 2004); su deficiencia se presenta en las hojas terminales, con una clorosis uniforme en los márgenes que se extiende por toda la hoja; las venas también se vuelven cloróticas, se disminuye el crecimiento de la planta (con hojas más pequeñas de lo normal) y las flores se caen (aborto de la planta). Con el tiempo, la clorosis puede pasar a las hojas más viejas (Figura 6.10).



Figura 6.10. Clorosis en hojas terminales producida por una deficiencia

La deficiencia de hierro puede ocurrir por un exceso de manganeso en los tejidos de las plantas; a su vez, se puede producir toxicidad a la planta por exceso de hierro, generalmente cuando en el suelo se dan condiciones reductoras, como en el caso de los suelos inundados. Deficiencias extremas de hierro y manganeso aparecen en suelos ricos en limo y en suelos mal aireados, pues el exceso de agua y encharcamiento causan pérdida de oxígeno.

Suelos con pH alto y la presencia de carbonato de Ca (cal) inducen la clorosis de hierro, incluso cuando se encuentren presentes altos niveles de hierro en la planta. El hierro se halla abundantemente en la mayoría de los suelos, pero principalmente en forma no disponible para la planta. La deficiencia de hierro aprovechable afecta adversamente el crecimiento de la planta.

De otro lado, 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 mayor actividad microbiológica, con mayor crecimiento de raíces y contacto de las mismas con el hierro.



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

En general la aplicación foliar es mejor que la aplicación al suelo, ya que no es necesario meterse tanto en la química de la tierra y en los consecuentes problemas de fijación del hierro por fosfatos, magnesio y otros nutrientes (Noticias Agrícolas Colinagro).

Manganeso: es parte de las enzimas que participan en la respiración y síntesis de proteína y sirve como un activador para una variedad de reacciones enzimáticas tales como la oxidación, la reducción y la hidrólisis. El manganeso es particularmente importante en relación con la fotosíntesis, pues puede tener influencia directa o indirecta sobre cloroplastos, sitio donde la energía lumínica del sol se convierte en energía química (Tabla 6.6).

La deficiencia de manganeso ocurre en suelos arenosos, turbosos, alcalinos y particularmente en suelos calcáreos o sobrenacalados, así como en terrenos con bajo contenido de materia orgánica.

Esta deficiencia aparece también en los brotes terminales de la planta, como sucede con la deficiencia de Fe, y 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 contrarrestarla se recomienda aplicar quelatos de manganeso al 13% en el agua de riego.

Zinc: es indispensable en la formación de clorofila y componente esencial de varias enzimas, entre ellas las que promueven el crecimiento (Tabla 6.6). Interviene en la utilización del agua y otros nutrientes, da resistencia a las plantas de tomate a bajas temperaturas (heladas). El zinc, asociado con el magnesio, boro y calcio, aumenta la fortaleza de la membrana celular de las raíces actuando como obstáculo a la penetración de organismos patógenos.

Cuando hay deficiencia de este elemento la planta presenta entrenudos delgados y cortos, dando a la misma una apariencia de roseta; las hojas son pequeñas y gruesas, con manchas cloróticas irregulares de color verde amarillo y áreas necróticas; y los tallos tienen entrenudos cortos; los pecíolos de las hojas se rizan hacia abajo y también se enrollan completamente, y las hojas basales muestran clorosis café anaranjado; se produce aborto de flores y los frutos que se desarrollan permanecen pequeños, madurando prematuramente.



El exceso de fósforo puede inducir deficiencias de zinc, ya sea que la interacción entre estos dos ocurra en el suelo o en el proceso metabólico dentro de la planta. Las aplicaciones altas de fosfatos restringen su absorción; el elemento se combinará con los fosfatos solubles para formar fosfatos de zinc, que no son rápidamente solubles. Al mismo tiempo, suelos calcáreos, orgánicos o inundados propician la deficiencia de zinc, sumando que el bajo contenido de materia orgánica en el suelo es un factor que puede contribuir a dicha deficiencia (Noticias Agrícolas Colinagro).

El hierro o el manganeso (tanto en exceso como en escasez) pueden ser factores que contribuyen a las deficiencias del elemento. Los síntomas de toxicidad por zinc es una reducción del crecimiento de la raíz (Noticias Agrícolas Colinagro).

Boro: actúa sobre la diferenciación de tejidos y la síntesis de fenoles y auxinas; interviene en la germinación y crecimiento del tubo polínico (Tabla 6.6) y el transporte de almidones y azúcares desde la hoja hacia los frutos en formación (ITAA, 2004).

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 las plantas, aun bajo condiciones de suficiente disponibilidad edáfica del elemento. Su mayor concentración se encuentra en las hojas inferiores de la planta, en donde parece quedar fijado. A medida que la planta crece la concentración disminuye en las hojas jóvenes, puntos de crecimiento y frutos.

Cuando hay deficiencia se manifiesta generalmente en las hojas nuevas, las cuales permanecen pequeñas y se deforman enroscándose hacia adentro, con manchas cloróticas de color amarillo naranja y venas amarillas; además se ve proliferación de rebrotes en formación de rosetas, afectándose el punto de crecimiento, el que se necrosa y muere, deteniendo completamente su desarrollo.

También se presentan tallos cortos, gruesos y rígidos, y hay caída de flores y frutos con áreas corchosas alrededor del punto de abscisión (Figura 6.11). El sistema radicular es muy pobre, grueso y poco ramificado, de color amarillento o café (ITAA, 2004).



Figura 6.11. 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 un color amarillento de la punta de las hojas y sigue con necrosis desde la punta superior de una hoja y bordes hasta el centro de la misma (ITAA, 2004).

Factores que afectan la disponibilidad de boro en el suelo

La disponibilidad de boro para la planta está afectada tanto por los factores que favorecen su fijación como por aquellos relacionados con el clima, material parental, interacciones con otros elementos, materia orgánica y textura del suelo. La relación entre el boro y los factores mencionados es la siguiente (Jaramillo *et al.*, 2007; Noticias Agrícolas Colinagro).

- La escasa movilidad del boro en las plantas.
- Su tendencia a la lixiviación.
- Su adsorción a los coloides.
- Su no disponibilidad en épocas de sequía.
- Nivel de cal y pH: 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 se presentan generalmente deficiencias de boro, las que 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, pero por otra parte la falta de agua reduce la mineralización de la materia orgánica y, así mismo, el suministro de boro.
- Textura: los suelos arenosos son generalmente más bajos en boro.

Teniendo en cuenta estas situaciones, muchos investigadores de diversos lugares del mundo desarrollaron las formulaciones y metodologías adecuadas para hacer altamente eficiente la aplicación de boro mediante el suministro foliar. Esta práctica, como medio para prevenir o corregir deficiencias de boro, ha resultado ser la mejor alternativa, y 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, entre las que se destaca la formulación líquida con equipos aéreos o terrestres mediante sistemas de riego, además de ser compatible con la mayoría de plaguicidas, coadyuvantes de uso agrícola o con otros nutrientes de aplicación foliar, lo que permite el aprovechamiento de las aplicaciones convencionales requeridas en los cultivos. Se requieren cantidades mucho menores por unidades de superficie en comparación con la aplicación edáfica, y dada la eficiencia de su absorción por vía foliar, se garantiza la eliminación de factores de pérdida como son la lixiviación, la precipitación y adsorción, y la no disponibilidad en épocas de sequía.

Debido a su velocidad de absorción por vía foliar, se pueden corregir en forma inmediata los síntomas de carencia tanto en plantas anuales como perennes, garantizando un suministro oportuno del nutriente a los cultivos en fase de activo crecimiento, incluso bajo condiciones de estrés.

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

Cobre: el cobre está presente en diversas enzimas o proteínas relacionadas con los procesos de oxidación y reducción, induciendo a la formación del polen viable, por lo cual 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, aportando al desarrollo de las raíces y a la formación de proteínas y enzimas.

El cobre cumple las funciones de acrecentar el sabor en los frutos y aumentar la capacidad de almacenamiento, la resistencia al transporte y el contenido de azúcares (Tabla 6.6).

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, mientras que también se ve un desarrollo muy deficiente de la raíz; de la misma manera, se producen lesiones necróticas oscuras sobre la vena principal, hay una mínima o nula producción de flores y en casos severos la planta puede presentar enanismo y clorosis.

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



La corrección de deficiencias de cobre puede hacerse utilizando varios compuestos, tal como los sulfatos cúpricos, el óxido cuproso y los quelatos de cobre, entre otros, los cuales pueden aplicarse al suelo por vía foliar o por fertirrigación.

Molibdeno: es parte estructural de una oxidasa que convierte el aldehído del ácido abscísico en la hormona ABA, regulador del crecimiento que protege las plantas contra factores de estrés fisiológico; así mismo, induce efectos positivos en la formación del polen viable al momento de la floración y fecundación (Tabla 6.6).

La deficiencia de este elemento se presenta en las hojas más viejas, mostrando una clorosis entre las nervaduras; los márgenes de las hojas se enroscan hacia arriba, las venas de las hojas también son cloróticas y en casos severos se presenta necrosis de ellas.

El molibdeno es el único nutriente que muestra más problemas de deficiencia en suelos ácidos que en suelos alcalinos; en otras palabras, entre más ácido sea el suelo, más necesario es el molibdeno.

Cloro: está involucrado en la apertura de los estomas y por tanto interviene en la turgencia de las células y ayuda al metabolismo del nitrógeno. Generalmente las aguas de riego son ricas en cloruros, por lo que casi nunca es necesario hacer aplicaciones de este elemento. No obstante, la ausencia de cloro se manifiesta en una reducción de área foliar y en la masa seca de la planta, lo cual es el resultado de la disminución de las tasas de división y de extensión celular (Rodríguez y Flórez, 2004).

Dados los bajos requerimientos de la planta por este elemento, es prácticamente imposible que se produzca deficiencia de cloro en condiciones normales; por el contrario, 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.

Níquel: este es el último elemento adicionado a la lista de elementos esenciales para las plantas. Su importancia radica en que hace parte de la enzima ureasa que disocia la urea en CO_2 y NH_4^+ . En plantas con deficiencia de níquel, la concentración de urea aumenta en las hojas hasta niveles tóxicos. La esencialidad de este elemento fue demostrada en cebada, donde se encontró que después de tres generaciones sin níquel las semillas eran incapaces de germinar y presen-



taban deformaciones anatómicas. En general, el níquel tiene un papel relevante en el metabolismo de la urea y de los ureidos, en la absorción del hierro, la viabilidad de las semillas, la fijación del nitrógeno y en el desarrollo reproductivo.

Tabla 6.6. Funciones de los elementos esenciales

	ELEMENTOS ESENCIALES												
	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Mo	Co
Fotosíntesis					X	X		X	X	X			
Síntesis de Clorofila					X		X	X					
Síntesis de Hormonas							X					X	
Síntesis de Proteínas	X	X				X	X						X
Síntesis de ácidos nucleicos	X	X											
Síntesis de Carbohidratos	X				X		X				X		
Síntesis de Grasas y Aceites					X	X							
Síntesis de Vitaminas						X							X
Síntesis de Aminoácidos	X					X							
Metabolismo Nitrógeno						X	X					X	X
Metabolismo Azufre							X					X	
Metabolismo Carbohidratos			X	X							X		
Metabolismo Fósforo					X	X							
Nodulación y Fijación de Nitrógeno						X		X	X			X	X
Regulador Respiración				X				X	X	X			
Regulador de Crecimiento	X	X	X				X						
Regulador Agua			X				X						
Regulador Maduración		X					X		X		X		
Activación Enzimática			X			X	X	X		X		X	
Reproducción Celular	X		X	X							X		
Fecundación		X	X							X	X		
Desarrollo Radicular		X								X	X		
Ciclo ácido Cítrico					X		X		X	X			
Resistencia Tejidos			X	X									
Utilización Ca-P-Mg			X				X		X	X	X		
Calidad Cosecha	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Reducción de Nitratos y Nitritos								X	X				
Protección contra enfermedades			X				X		X	X			

Fuente: Manual Técnico Microfertisa



Elementos esenciales beneficiosos

Estos elementos estimulan el crecimiento y el desarrollo en las plantas pero no se consideran primordiales porque no cumplen con los criterios de esencialidad. Sin embargo, se ha encontrado que algunos de estos minerales son fundamentales para ciertas especies de plantas bajo condiciones específicas.

Silicio: se ha demostrado que el silicio es beneficioso para especies de la familia Cyperaceae como *Equisetum arvense* y algunas gramíneas como el arroz y la caña de azúcar. En dicotiledóneas como el pepino, el silicio incrementa la rigidez de las hojas maduras, aumenta el contenido de clorofila y reduce la senescencia. En el tomate, la deficiencia del elemento reduce el desarrollo y las hojas nuevas presentan deformaciones, sumado a esto que muchas plantas no dan frutos (Rodríguez y Flórez, 2004).

Tabla 6.7. Antagonismos comunes que se presentan por exceso de algunos nutrientes

Nutriente en exceso	Deficiencia inducida
Nitrógeno	Potasio
Potasio	Nitrógeno – Calcio – Magnesio
Cloro	Nitrógeno
Azufre	Molibdeno
Sodio	Potasio – Calcio – Magnesio
Calcio	Potasio – Magnesio – Boro – Manganeso – Zinc
Magnesio	Calcio
Cobre	Zinc
Hierro	Manganeso
Manganeso – Zinc	Hierro
Fósforo	Hierro – Zinc

Fuente: Semillas Latinoamericanas Chile. Impulsores Internacionales.

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 lo absorban a través de sus raíces (Figura 6.12). Para que este método de fertilización sea efectivo se debe tener en cuenta la correcta ubicación del fertilizante,



puesto que en gran parte la baja productividad de los suelos es causada por una inadecuada aplicación del mismo. Con respecto a la ubicación y época de aplicación de fertilizantes al suelo, hay dos normas generales que en lo posible deben seguirse (Microfertisa; ICA, 1992):

1. Deben incorporarse.
2. Aplicarse antes o al momento de la siembra.

La incorporación de fertilizantes al suelo evita pérdidas por:

- *Volatilización.*
- *Inmovilización.* Como en el caso de los fertilizantes fosfatados, cuya movilidad en el suelo es casi nula y por lo tanto si se colocan en la superficie quedan fuera de la zona radicular del cultivo.
- *Desnitrificación.* En suelos inundados los fertilizantes amoniacales mal incorporados pasan a sus formas gaseosas y se pierden en la atmósfera.



Figura 6.12. Fertilización edáfica en corona

En invernadero se aprovecha el sistema de riego para aplicar la fertilización disuelta en el agua de riego, lo que 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 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 a cosechar. En general, se recomienda aplicar hasta 200 gramos de un fertilizante simple o completo de acuerdo con las necesidades de nutrientes que vaya manifestando



la planta. La aplicación de la primera fertilización debe ser lo más cercano posible al trasplante, puesto que las pérdidas por lixiviación, volatilización, fijación o por paso a formas menos asimilables están en relación directa con el tiempo y, por ende, entre más tiempo transcurra habrán mayores pérdidas; además, una aplicación anticipada favorece más a las malezas que al cultivo.

Se aconseja no dejar aparecer síntomas de deficiencias de nutrientes en el cultivo, ya que el daño es ocasionado con anterioridad a su aparición; por esto es fundamental aplicar los fertilizantes al momento de la siembra, de acuerdo con la necesidad y según el análisis de suelo. La aplicación debe realizarse en corona o media corona alrededor del tallo y luego efectuar un aporque (Jaramillo *et al.*, 2007; Manual Microfertisa).

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 es hacer aplicaciones foliares de nitrógeno, calcio, fósforo, potasio y algunos elementos menores. La fertilización foliar no reemplaza la fertilización edáfica o el fertirriego, sino que se utiliza como un complemento de estas (ICA, 1992).

Ventajas de la fertilización foliar:

- Es un buen recurso en situaciones de emergencia.
- Se requiere aplicar menores cantidades de fertilizante al follaje que al suelo para alcanzar un nivel deseable de nutrientes.
- Es de gran importancia en cultivos sometidos a estrés, debido a la acción adversa del medio en que se desarrolla o por efectos fitosanitarios negativos tales como salinidad, altos contenidos de arcilla y de materia orgánica.
- Los síntomas visuales de respuesta a un elemento son más rápidos en el caso de la fertilización foliar; por ello, es probable 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 ocasionados por los herbicidas, inundaciones, podas y después de altas producciones.



- Debido a su alta solubilidad, el uso de fertilizantes foliares en el follaje es ideal para aplicar en áreas de semilleros y trasplantes. A la planta hay que alimentarla bien desde que nace. A partir del momento en que la planta necesita absorber nutrientes hasta el momento que tiene suficiente masa en su parte aérea para que se pueda aplicar la fertilización foliar, necesitará de los abonos aplicados al suelo (Manual Microfertisa).

▶ RIEGO

El riego agrícola, siendo una técnica o práctica de producción, se puede definir como la aplicación suficiente, oportuna, eficiente y uniforme de agua a un perfil del suelo para reponer el agua que las plantas han consumido durante un tiempo determinado. El propósito del riego es crear un ambiente adecuado en la zona radical para que las plantas rindan la máxima producción.

Se considera que un buen riego no es el que “moja uniformemente” la superficie del suelo, sino aquel que moja adecuadamente el perfil del suelo donde se encuentra casi la totalidad de las raíces de una planta (Figura 6.13). Un riego apropiado es el que se aplica cuando la planta lo requiere, de acuerdo con el periodo en días que se deja entre dos riegos sucesivos y el agotamiento del agua en el suelo.



Figura 6.13. Agua de riego alrededor de la planta

Las plantas consumen agua debido al efecto de las condiciones climáticas (temperatura, radiación solar y velocidad del viento, entre otros factores), lo que ocasiona la liberación permanente de vapor de agua desde el suelo hasta la



atmósfera, desde la planta por el proceso de transpiración y desde el suelo por el proceso de evaporación. Dichas pérdidas de agua en conjunto desde la planta y el suelo se conocen con el nombre de evapotranspiración.

La aplicación oportuna de agua comprende los días e intervalos que se deben dejar entre dos riegos, porque si se dejan muchos días entre riegos se corre el riesgo de que el agua almacenada en el suelo se acabe, y por tanto la planta se pueda marchitar. Si el riego es muy frecuente, el agua se pierde por escorrentía, percolación o encharcamiento, disminuyendo el contenido de oxígeno en el suelo, limitando el desarrollo de raíces y la toma de nutrientes, aumentando la humedad relativa del invernadero por la evapotranspiración del agua de suelo, favoreciendo el desarrollo de enfermedades y aumentando los costos; por ello lo correcto es la aplicación de agua en el día apropiado.

Un riego eficiente de agua significa una distribución de la misma con las mínimas pérdidas posibles por percolación o escurrimiento, es decir que la cantidad de agua a aplicar en cada aspersion tiene que ser suficiente para cubrir el agua consumida por la planta en el periodo entre riegos, aparte de aquellos desperdicios inevitables. Además, su aplicación uniforme indica que las primeras y últimas plantas de la hilera o del surco deben recibir la misma cantidad de agua. En este orden, es primordial saber que debe aplicar dicho líquido al perfil del terreno, lo que significa que debe regarse el suelo y no las plantas. De esta forma se repone en el suelo el agua que ha sido consumida por las plantas.

Es importante mencionar que cuando se construye un invernadero se requiere tener un tanque de reserva de agua para cualquier emergencia que pueda ocurrir (Figura 6.14).

Igualmente debe insistirse en el concepto erróneo de que cuando se riega se está suministrando agua a las plantas en forma directa; con esto lo que se está haciendo es reponiendo el agua en el suelo para que las plantas la utilicen poco a poco a lo largo del período comprendido entre los riegos consecutivos.

También se advierte en este punto que no se riega la superficie del suelo sino que se está irrigando el perfil de profundidad, porque es en esta profundidad donde están las raíces de las plantas, órganos encargados de absorber (extraer) el agua que las plantas necesitan para desarrollar sus funciones vitales, especialmente la transpiración. Es por esto que las plantas viven al mismo tiempo en dos medios totalmente diferentes: la atmósfera que determina el consumo y el suelo que suministra el agua para dicho consumo (Vega y Molina, 2003).





Figura 6.14. Tanque de reserva de agua

Riego por goteo

El riego en invernadero tiene que ser preciso y localizado. Por su alta inversión en la construcción, el alto valor del cultivo y los requisitos de calidad de los frutos, deben descartarse los sistemas de riego foliares y por surcos, pues provocan enfermedades y carecen de precisión.

El riego localizado se refiere al riego por goteo, un sistema donde el agua se aplica gota a gota sin necesidad de mojar toda la superficie del suelo y donde cada planta recibe en forma precisa la cantidad de agua y fertilizantes que requiere (Figura 6.15) (Fuentes, 1991; Shany, 2007).



Figura 6.15. Riego por goteo



Los goteros son pequeñas piezas plásticas, y los hay de varios tipos. Los más recomendables son los autocompensados, que son aquellos que permiten que la presión sea igual a lo largo de toda la manguera, con la garantía que por lo menos el 80% del agua se quede donde se necesita. En una manguera de polietileno se incorporan o se superponen los goteros, aunque también se pueden usar cintas con microperforaciones (Figura 6.16); el agua atraviesa un laberinto interno y va perdiendo presión llegando a ser tan pequeña que el agua se escurre en forma de gota, siendo un método más eficiente en el cultivo en términos de productividad y calidad, con un aprovechamiento del recurso hídrico entre el 90% y 95%.



Figura 6.16. Cintas con microperforaciones para riego

La distancia entre goteros es determinada por la distancia planificada entre plantas, de tal manera que cada planta tenga su propio gotero. En suelos livianos estos deben colocarse más juntos para que el área de enraizamiento sea completamente humedecida, sin que exista desperdicio de agua y nutrientes, ya que en dichos suelos la infiltración del agua es más rápida, por lo que deben colocarse hasta dos goteros por planta.

Los suelos pesados tienen una baja tasa de infiltración, por lo que no es recomendable usar goteros de alto volumen, ya que se puede provocar escorrentía por exceso de descarga. Aunque los goteros son el corazón de todo el sistema de riego por goteo, estos hacen parte de una estructura de accesorios adicionales, componentes que han de ser mutuamente compatibles y deben acomodarse a



las exigencias del cultivo y a las características de la parcela por regar. Los componentes se agrupan en seis categorías principales:

1. Fuentes de agua y de energía: una estación de bombeo sobre una fuente de agua superficial o subterránea, o bien una conexión a una red pública, comercial o cooperativa.
2. Sistema de conducción: las tuberías de conducción (principal y secundarias) y las de distribución (el porta-laterales).
3. Laterales de goteo.
4. Los accesorios: de medición y de control (válvulas, medidores de volumen y de la presión de agua, reguladores de presión y de caudal), de protección (válvulas de aire y de vacío, válvulas de chequeo y accesorios para la automatización) y controladores de riego.
5. Sistema de filtrado.
6. Equipo para la inyección de productos agroquímicos y el tratamiento del agua. (Sneh, 2006).

Ventajas del riego por goteo

- Aplicación exacta y localizada del agua: se aplica con precisión a un volumen restringido del suelo, de acuerdo con la distribución de las raíces del cultivo. Un manejo apropiado del riego puede reducir las pérdidas del líquido y de nutrientes más allá de la zona de enraizamiento (Fuentes, 1991; Marouelli *et al.*, 2001).
- Equilibrio apropiado entre el aire y el agua en el suelo: el volumen del suelo mojado por el riego por goteo contiene por lo general más aire (oxígeno) que el riego por aspersión (Sneh, 2006).
- Al disminuir la superficie humedecida por el riego por goteo se minimizan las pérdidas de agua por evaporación.
- Evita el desperdicio de agua en los bordes de la parcela: con el riego por goteo el agua no se extiende más allá de los límites de la parcela, como ocurre con



el riego por aspersión. Es posible adaptar la disposición de los goteros a las dimensiones del invernadero, independientemente de su forma o topografía.

- Disminuye la infestación de malezas: reduce el área humedecida y se limita la germinación y el desarrollo de rastrojo (Fuentes, 1991).
- Aplicación integrada del agua y los nutrientes: la aplicación conjunta de los nutrientes con el agua de riego al volumen de suelo mojado disminuye las pérdidas por lixiviación, incrementa la disponibilidad de los nutrientes y economiza la mano de obra requerida para la aplicación de los fertilizantes de acuerdo con las necesidades de la planta (Yoel Bar, 2006; Marouelli *et al.*, 2001).
- No interfiere con las demás labores de campo: el humedecimiento parcial de la superficie del suelo no entorpece trabajos como la labranza, la aplicación de plaguicidas, el raleo, la cosecha y demás actividades.
- No se ve afectada por el viento: a diferencia del riego por aspersión, el viento no afecta el riego por goteo, el cual puede continuar ininterrumpidamente aun bajo altas intensidades de viento.
- Reduce la incidencia de las enfermedades del follaje y de los frutos, ya que el riego no moja los tallos ni el follaje de las plantas, minimizando el impacto ambiental con el menor uso de pesticidas (Yoel Bar, 2006; Marouelli *et al.*, 2001).
- Ahorro de mano de obra (Sneh, 2006; Fuentes, 1991).

Desventajas del riego por goteo

- Riesgo de obturación: las pequeñas dimensiones del conducto por el cual fluye el agua hace que los goteros sean susceptibles a la obturación por partículas sólidas, materia orgánica en suspensión y/o sustancias que se depositan o precipitan debido a reacciones químicas que ocurren en el agua de riego, lo que implica que la planta no reciba el recurso hídrico (Figura 6.17) (Sneh, 2006).
- Alto monto de la inversión.
- Volumen restringido de las raíces: la aplicación frecuente del agua a un volumen limitado del suelo conlleva al desarrollo de un sistema radicular restringido y ocasionalmente muy superficial; en consecuencia, el cultivo depende





Figura 6.17. Obturación de emisores donde la planta no recibe agua

de la reposición frecuente del agua consumida y lo hace más susceptible a “estrés hídrico” cuando el clima es más seco y caluroso (Sneh, 2006).

- Las raíces exploran menos suelo en busca de agua y nutrientes (Yoel Bar, 2006).
- Es necesario personal más calificado (Sneh, 2006).

Es importante tener en cuenta que se debe realizar un adecuado mantenimiento a las mangueras después de cada ciclo de cultivo buscando asegurar que no hayan goteros taponados que impidan el paso del agua. De igual manera, durante el desarrollo del cultivo es preciso inspeccionar permanentemente el funcionamiento de cada gotero y evitar taponar las mangueras durante el aporque (Figura 6.18).



Figura 6.18. Taponamiento de las mangueras por aporques de tierra



Factores que afectan la distribución del agua en el suelo

Los principales factores que determinan la distribución del agua y de los solutos en el volumen del suelo mojado por el riego por goteo son:

- **Las propiedades del suelo.** En suelos de textura fina la succión capilar supera la atracción gravitacional, lo cual significa que la dimensión horizontal del volumen del suelo humedecido es mayor que la dimensión vertical. El volumen mojado asemeja la forma de una cebolla; en suelos de textura franca (mediana), el volumen mojado asemeja la forma de una pera; y en suelos de textura gruesa, donde el flujo vertical supera al horizontal, es semejante a la forma de una zanahoria (Sneh, 2006).

En suelos arenosos con gran cantidad de poros grandes, el agua circula con mayor facilidad hacia abajo, mientras que en suelos arcillosos el agua se extiende con más facilidad hacia los lados, por lo cual en suelos arenosos el bulbo tiene forma alargada y en suelos arcillosos forma achatada (Fuentes, 1991).

- **Disposición de laterales de riego.** El diámetro máximo de bulbo húmedo producido por un gotero instalado sobre la superficie del suelo se obtiene a unos 10 - 30 cm por debajo de esta; en cambio, con el riego por goteo BSS (bajo la superficie del suelo) el diámetro máximo de humedecimiento se obtiene al nivel del lateral. La distancia vertical a la cual asciende el agua (por encima de un gotero instalado BSS) es aproximadamente $\frac{1}{4}$ de diámetro mojado en un suelo de textura gruesa y alcanza hasta $\frac{1}{2}$ diámetro en un suelo de textura fina (Sneh, 2006).

- **La descarga del emisor.** Cuando el agua empieza a salir por un emisor se forma un pequeño charco, a la vez que el suelo empieza a absorber agua en toda la superficie del mismo. El tamaño del charco depende del caudal que sale por el emisor: a mayor caudal corresponde una superficie mayor del charco y por ende, un bulbo más extendido en sentido horizontal (Fuentes, 1991). Una tasa de aplicación menor humedece menor diámetro y el agua penetra a mayor profundidad del suelo formando un charco sobre la superficie de pequeñas dimensiones; a su vez, una tasa de más aplicación moja mayor diámetro y alcanza menor profundidad. El charco que se forma sobre la superficie tiene un diámetro más representativo en comparación con un gotero de menor descarga (Sneh, 2006).

- **El tiempo de riego.** A medida que aumenta el tiempo de riego (suponiendo un caudal constante en el emisor) el tamaño del bulbo aumenta en profundidad, pero apenas aumenta su extensión en sentido horizontal (Fuentes, 1991).



- **El espaciamiento entre goteros.** Cuando es pequeño y las áreas mojadas solapan, se forma una franja mojada continua. El diámetro humedecido aumenta durante el transcurso del riego hasta que los círculos solapan; una vez que esto sucede, el flujo es principalmente vertical hacia abajo. Con un mayor espaciamiento entre goteros se obtienen bulbos húmedos, de mayor diámetro y de menor profundidad (Sneh, 2006).

- **El volumen de agua aplicado.** Las dimensiones del volumen mojado aumentan radial y verticalmente a medida que se incrementa la dosis de agua (Sneh, 2006).

- **La composición química del agua.** Las sustancias disueltas en el agua de riego pueden afectar su distribución en el suelo; detergentes y otras sustancias presentes en las aguas servidas y en aguas provenientes de escurrimiento superficial reducen la tensión superficial del agua y también su distribución horizontal alrededor del punto de aplicación (Sneh, 2006).

- **La distribución de sales y nutrientes.** Las sales contenidas en el suelo y las aportadas con el agua de riego se mantienen en disolución en el agua del terreno. La planta absorbe el agua y una pequeña parte de las sales, mientras que el resto no son aprovechadas. A medida que disminuye el agua aumenta la concentración de sales, con lo cual crece la concentración osmótica de la disolución y las plantas encuentran mayor dificultad para absorber el agua (Fuentes, 1991).

El agua que asciende a la superficie del suelo por capilaridad arrastra consigo sales en solución. Conforme avanza la evaporación del agua, las sales se acumulan sobre la superficie y en la periferia del círculo humedecido por el gotero se origina una corona de suelo salino; así mismo, se forma una zona en la cual las sales alrededor del bulbo tienden a acumularse. La posición de esta zona salina depende de la eficiencia con la cual las lixivian (Sneh, 2006).

Un manejo adecuado del riego por goteo repone el agua consumida por el cultivo a la frecuencia debida, de forma que dentro del 'bulbo húmedo' el contenido de agua se mantiene alto y la concentración de sales solubles permanece baja. Los nutrientes aplicados conjuntamente con el agua de riego siguen las mismas reglas (Sneh, 2006).

La concentración de sales dentro del bulbo aumenta progresivamente hacia su periferia, sobre todo en la zona superficial, en donde se presenta con frecuencia una corona blanca de sales. Las raíces en las plantas se agrupan en la parte



más húmeda del bulbo, que corresponde a la de menor concentración de sales, en tanto que su periferia del mismo, con mayor concentración, ofrece una barrera que dificulta el paso de las raíces hacia sus zonas exteriores (Fuentes, 1991).

Mantenimiento del sistema de riego por goteo (Sneh, 2006)

Un sistema de riego por goteo requiere mantenimiento cuidadoso. Se debe prestar especial atención a los puntos débiles del sistema:

- Los estrechos conductos de agua en el interior de los goteros son propensos a su obturación.
- Las cintas fabricadas para resistir bajas presiones de operación son sumamente sensibles a reventarse en el momento en que se las expone a picos de presión.
- Los sistemas de filtrado se pueden obstruir por las partículas retenidas, lo cual reduce la capacidad de destilado y ocasiona pérdidas de presión que redundan en el sistema entero.
- Sedimentos tienden a acumularse cerca del extremo final de los portales laterales, por lo que necesitan ser lavados periódicamente.

La mejor forma de realizar el mantenimiento es revisar el sistema entero habitualmente y en forma sistemática, teniendo claro que el intervalo entre las inspecciones depende de la calidad del agua y las características de los componentes del sistema. Las inspecciones pueden hacerse cada semana, cada mes e inclusive cada semestre, si las condiciones son sumamente favorables.

El monitoreo de un sistema de riego por goteo no es una tarea sencilla. Es difícil observar visualmente la uniformidad de la aplicación del agua por los emisores de bajo caudal; sin embargo, es posible evaluar aproximadamente el comportamiento del sistema.

El primer paso es medir la descarga horaria en el medidor/contador de agua en el cabezal principal y compararla con la descarga de diseño, con el número (aproximado) de emisores y su descarga nominal, y con datos de registro anteriores. Cualquier desviación de la descarga de norma es indicio de algún problema, y una descarga inferior a la del diseño es indicio de obturación. Por otro lado, una descarga superior a la del diseño puede ser síntoma de la ruptura de



alguna tubería, ya sea a nivel de la instalación de conducción, de algún porta-laterales o lateral. Al existir una operación imperfecta del sistema, se manifiesta visualmente en plantas estresadas y escurrimiento superficial del agua.

El segundo paso consiste en chequear todos los manómetros y tomas de presión en el sistema y comparar la presión durante cada turno con la de diseño. Tanto los reguladores mecánicos como los hidráulicos emplean resortes, los cuales se debilitan con el tiempo, por lo que deben ser revisados y calibrados por lo menos cada dos años.

Si el sistema incluye una unidad de bombeo, es recomendable darle el mantenimiento indicado por el fabricante con respecto a su lineamiento, lubricación, engrasado, etc. Siendo que la bomba y el motor se desgastan, lo mejor es realizar una evaluación periódica, por lo menos cada 5 años o en un tiempo menor si el agua llegase a acarrear arena. Estos cuidados garantizan la prolongación de la vida útil del equipo.

El lavado periódico de las tuberías de conducción, los porta-laterales y laterales, es una tarea necesaria e indispensable para el mantenimiento del sistema. La mejor forma de realizar este lavado manualmente es abrir gradualmente, uno a uno, los extremos finales de las tuberías mencionadas y dejar fluir el agua hasta que comienza a salir limpia. También es posible instalar válvulas de lavado automático al extremo de los laterales, las cuales permanecen abiertas por corto tiempo al inicio de cada turno de riego.

Durante el lavado se libera el aire atrapado en los laterales, sobre todo si el terreno tiene ondulaciones. Para expulsar el aire se requiere de una velocidad mínima de 0,5 a 0,6 m/s a la salida del lateral.

Así mismo, se ha de chequear la operación del equipo para la inyección de agroquímicos al sistema. Una concentración excesiva de fertilizantes puede ocasionar daños por exceso de sales, y un desperfecto de operación puede combinar agroquímicos incompatibles o producir antagonismo entre ellos (Sneh, 2006).

Taponamientos del sistema de riego

Uno de los problemas más frecuentes en los sistemas de riego por goteo es el taponamiento de los emisores, lo que causa una deficiente operación de dichos sistemas principalmente por el tamaño de los conductos hidráulicos en los emisores, la baja velocidad del agua en varias partes del sistema y los contaminantes que viajan junto con el líquido de riego (Zazueta, 1992).



Las obstrucciones en el sistema de riego tienen como consecuencia una disminución en la uniformidad de la aplicación del agua y los fertilizantes. Un taponamiento severo lleva a una pérdida del control sobre el manejo del agua y, en casos extremos, inutiliza el sistema de riego. Las causas del atascamiento pueden ser de origen físico, químico o biológico (Rodríguez, 2004).

Los contaminantes físicos pueden entorpecer el sistema simplemente por ser de un tamaño mayor al del conducto por donde circulan, o por sedimentarse dentro de la tubería y reducir la sección hidráulica.

Entre las causas químicas de taponamiento está la calidad química del agua o los productos que se introducen al sistema para la fertirrigación, mientras que los atascos de origen biológico son más persistentes y requieren de un manejo de mayor intensidad. Tanto la actividad bacteriana como sus subproductos originan depósitos de lama en las paredes de las tuberías y emisores, y las partículas suspendidas tienden a aglutinarse con las lamas, teniendo como resultado una obstaculización interna en el sistema de riego (Rodríguez, 2004).

Para el control de los taponamientos originados por causas biológicas existen diversos tratamientos: el mejor método para el control de algas es evitar que a estas les llegue la luz cerrando los depósitos de agua y las tuberías de transporte, lo cual trae como ventaja adicional que se puedan evitar contaminaciones de agua por fitopatógenos. Por otro lado, el cloro para el control de algas y microorganismos es una de las formas más recomendadas, aplicando el hipoclorito al 10% a razón de 200 cc por cada m³ de agua (Zazueta, 1992).

Descripción de Sistema de Riego por Goteo (Terán *et al.*, 2007)

- **Cabezal de bombeo**

Compuesto por el equipo de bombeo, el dispositivo de inyección de fertilizantes, el sistema de filtrado, los controles de los tanques, las válvulas, etc.

- **Equipo de bombeo**

Tiene como función suministrar la energía necesaria para que trabaje la instalación.

- **Equipo de inyección de fertilizantes**

Permite la incorporación de elementos nutritivos directamente al agua de riego.



- **Sistema de filtrado:** incluye todos los elementos necesarios para evitar la entrada de sustancias en suspensión en las redes de riego. Entre los más conocidos se encuentran los filtros de arena, de mallas y de discos.

-Los filtros de arena son tanques a presión que se llenan con algún tipo de arena con gradación de partículas. La mayoría de los filtros de arena usados en agricultura son del tipo vertical en lugar de horizontal; en ellos, la arena es retenida en el tanque por un drenaje subyacente, el cual tiene orificios pequeños que impiden la salida de las partículas, aunque sí permiten que el agua limpia pase hacia el sistema de riego. La entrada al interior del tanque está equipada con una platina difusora, cuya función es esparcir uniformemente el agua que ingresa sobre el lecho de arena.

Los filtros han sido tradicionalmente los sistemas más populares cuando se deben depurar aguas sucias. Son excelentes para la remoción de elevada suciedad de material orgánico y/o inorgánico. La profundidad del lecho de arena proporciona entonces un proceso de filtrado en tres dimensiones, en comparación con el filtro de mallas, lo que permite mayor capacidad de retención de basuras. Las arcillas y los limos muy finos usualmente no son removidos por los filtros de arena usados en agricultura.

-Los filtros de mallas están constituidos por cilindros metálicos o de material plástico anticorrosivo que llevan en su interior una serie de discos concéntricos de redes finas, las cuales deben atravesar el agua depositando en ellas las partículas en suspensión.

-En los filtros de discos el elemento filtrante consta de anillos ranurados múltiples con un hueco en el centro; cuando estos discos se disponen herméticamente juntos forman un cuerpo filtrante cilíndrico, el cual tiene alguna semejanza con una malla tubular profunda. El grado de filtrado depende del número de ranuras en cada uno de los anillos, que comúnmente se codifican por color para fines de identificación; las opciones típicas corresponden al tamaño de tamaños 40, 80, 120, 140 y 200. La posición de las ranuras de cada disco en relación con los discos adyacentes es al azar, de manera tal que se forme algo así como una matriz de varias mallas.

Los filtros de discos se seleccionan con frecuencia para caudales muy pequeños, menores de 5,7 m³/ha (25 galones/minuto, GPM), puesto que tienen una capacidad de retención de suciedad mucho mayor que las mallas y a que los filtros de tanques de arena no se encuentran generalmente a precios razonables



para pequeños caudales. Las unidades pequeñas a menudo están compuestas de solo un elemento de filtro, el cual debe desensamblarse y limpiarse manualmente con una manguera y agua a presión.

Controles: existe un conjunto de controles orientados a múltiples usos y que cumplen variadas funciones dentro del sistema de riego, como los controles de presión y las válvulas de distribución y de aire.

Para obtener una buena eficiencia de riego, los reguladores de presión son imprescindibles, ya que buscan evitar en los ramales de riego variaciones de presión, las que ocurren por las diferentes condiciones de funcionamiento.

Las válvulas de distribución se usan para sectorizar el riego y evitar que, en caso de mal funcionamiento o roturas, ocurran pérdidas innecesarias; así mismo, permiten el correcto trabajo de las zonas o sectores no afectados en los que no se irrumpe el riego.

Por su parte, las válvulas de aire son esenciales en los sistemas de riego por goteo, ya que:

1. Regulan la salida de grandes volúmenes de aire al arrancar el sistema, previniendo roturas y bloqueos por acción del aire y el golpe de ariete. Esto ocurre con válvulas especiales, las cuales funcionan solamente antes de que el sistema esté bajo presión.
2. Salida continua de aire después de que el sistema ha sido presurizado. De nuevo, las válvulas son necesarias para prevenir el golpe de ariete y los bloqueos por aire, lo que requiere una válvula de aire especial que tiene un orificio más pequeño que el de las válvulas de salida de grandes volúmenes de aire.
3. Previenen la creación de vacíos en las líneas después de apagado el sistema. En general, la función de alivio de vacíos es parte del diseño de las válvulas de salida de grandes volúmenes de aire.

Red de distribución: comprende las tuberías principales y secundarias que conducen el agua desde el cabezal a la red de riego. Dichas tuberías suelen ser de PVC o mangueras de polietileno de baja densidad, y sus diámetros dependen del diseño previo, el cual debe ser proporcional al tamaño de la instalación, la distancia respecto de la toma de agua y al caudal manejado.



Red de riego: comprende el múltiple y las líneas de riego, que son las conducciones que tienen los emisores o dispositivos que suministran el agua. La selección de las líneas de riego depende de su longitud y de las necesidades de cada cultivo. Los diámetros comerciales más utilizados son de 12 y 16 mm, y el material más utilizado es el polietileno, sobre el cual pueden ir insertados los emisores; sin embargo, previamente se debe especificar al fabricante la separación entre estos. Para estas mangueras se utilizan goteros con caudales que van desde 1 L/h hasta 12 L/h, siendo los de 2 L/h los más comunes. En el caso de cultivos más extensivos como frutales y árboles, se utilizan caudales más altos (Terán *et al.*, 2007).

Requerimientos de agua del cultivo

La cantidad de agua a aplicar al cultivo de tomate dependerá de factores como: las condiciones climáticas del lugar (temperatura, humedad relativa, radiación y vientos), tipo de suelo, estado de desarrollo del cultivo y pendiente del terreno. El primer riego debe realizarse inmediatamente después de que se trasplantan las plántulas y luego es conveniente realizar riegos periódicos para mantener un adecuado nivel de humedad durante todo el ciclo de desarrollo de la planta. Los riegos no se deben efectuar en las horas de la tarde, porque la evaporación del agua aumenta la humedad relativa dentro del invernadero en las horas de la noche y la madrugada, lo que conlleva a problemas de enfermedades en las plantas, siendo ideal regar el cultivo en horas de la mañana (Medina *et al.*, 2001; Shany, 2007).

El periodo crítico para el tomate comienza a los 15 días después de iniciada la floración, si bien se debe regar desde el momento del trasplante con la frecuencia adecuada según el tipo de suelo, la evapotranspiración y la fonología del cultivo (Shany, 2007).

La frecuencia de irrigación varía de acuerdo con el tipo de suelo, ya que en terrenos arenosos la irrigación es aplicada una o dos veces por día, en los medianamente pesados el intervalo de riegos es más largo según el contenido de humedad en la zona de raíces, y en suelos medianos, la frecuencia de irrigación puede ser de tres a cinco días. En general, los intervalos de la irrigación no deben ser muy cortos, porque estos no facilitan el desarrollo de un sistema de raíces bien profundo y ramificado como respuesta de la planta a la búsqueda de agua (Shany, 2007).

La parte aérea de la planta nunca debe mojarse, preservando así su sanidad y evitando la proliferación de enfermedades, razón por la que se debe evitar la irrigación por aspersion.



El exceso de agua provoca un crecimiento acelerado en las plantas, retarda la maduración de los frutos e incrementa la humedad relativa en el invernadero, puesto que se presentan la caída de flores, la aparición de disturbios fisiológicos en los frutos y la presencia de enfermedades radiculares y del follaje. La solución en el cultivo de tomate bajo invernadero es implementar la tecnología de riego por goteo, que es la más eficiente, tiene menos pérdida de agua y evita humedecer el follaje. Es importante implementar el uso de tensiómetros para determinar el momento oportuno del riego del cultivo.

Durante todo el ciclo del cultivo –principalmente antes de la formación de frutos– el riego debe ser en periodos cortos pero frecuentes, buscando así mantener la humedad del suelo cuando la planta inicia el cuajado de frutos. Si hay deficiencia de agua durante la época de formación y llenado de frutos se dificultará la absorción de nutrientes (en especial de calcio), además de producirse aborto floral, caída de frutos pequeños, malformación de frutos, reducción del número de racimos florales y en general disminución de la productividad de la planta y la vida productiva de la misma. El consumo de agua se incrementa, manteniéndose esta alta demanda de agua hasta la época de mayor carga de frutos, y poco a poco va disminuyendo hasta el final del cultivo (Medina *et al.*, 2001; Zeidan, 2005).

La mayor necesidad de agua por parte del cultivo ocurre cuando se realiza el trasplante y al estar en periodo de floración, continuando hasta el llenado de los últimos racimos (Tabla 6.8). La literatura menciona que una planta de tomate consume diariamente de 1 a 1,5 litros de agua diarios, dependiendo de la variedad y del estado de desarrollo de la planta, por lo que nunca se debe dejar que el suelo se seque demasiado y luego, repentinamente, aplicar grandes cantidades de agua, pues esto ocasiona daños en las plantas, como por ejemplo, el agrietamiento en los frutos.

Estimación de las necesidades de agua

Existen diversos aparatos para estimar la necesidad del agua de riego, siendo el tensiómetro el más utilizado en nuestro medio.

- **Tensiómetro:** el tensiómetro mide la mayor o menor fuerza de succión que tienen que ejercer las raíces para absorber el agua del suelo. Consta esencialmente de un tubo lleno de agua, una cápsula de cerámica porosa en un extremo y un manómetro o medidor de vacío en el otro extremo. El tubo se instala en el



Tabla 6.8. Guía para estimar las necesidades de agua para el cultivo de tomate bajo invernadero

Necesidad diaria (litros/m²/día)

Semana de trasplante	Estado de desarrollo	Mínimo	Máximo
1	Enraizamiento	0,6	1,25
2 - 5	1 ° a 4° racimo floral	1,5	3,0
6	5° racimo floral	3,5	3,5
7 - 9	6° racimo floral	3,5	4,0
10 - 11	7 ° a 8° racimo floral	4,0	4,5
12 - 15	Inicio de cosecha	4,5	5,5
16 - 17		5,0	6,5
18 - 20		5,5	6,0
21 - 23		5,0	5,0
24 - 25		5,0	5,0
25		5,0	5,0
27		5,0	5,0

Fuente: Medina *et al.*, 2001

suelo, colocando la punta de cerámica a la profundidad que se desea medir la humedad; lo ideal es ubicarlo a una profundidad de 25 a 50 cm y a una distancia de 10 cm después de los góteros y de la planta, y el manómetro va por encima de la superficie (Figura 6.19) (Fuentes, 1991).



Figura 6.19. Ubicación del tensiómetro en campo

A medida que el terreno se seca, el agua del tubo pasa hacia el suelo a través de la cápsula de cerámica, con lo cual se crea un vacío dentro del tubo que es



registrado por el manómetro. Cuanto más seco está el suelo, mayor cantidad de agua sale del tubo, la cual es registrada por el manómetro. El tensiómetro lleva una escala dividida de 1 a 100 centibares, lecturas que indican el vacío creado en el tubo, indirectamente proporcional al contenido de humedad: las lecturas altas indican un suelo con poca humedad, mientras que las lecturas bajas indican un suelo con mucha humedad (Fuentes, 1991; Aparecido *et al.*, 1998).

El tensiómetro se coloca en el suelo de tal forma que la cápsula de porcelana porosa esté en contacto íntimo con la tierra. Para ello, se abre en el suelo un agujero con la ayuda de una barra del mismo grosor que el tensiómetro y a continuación se introduce el tubo, se aprieta y por último se humedece la tierra de alrededor (Fuentes, 1991; Aparecido *et al.*, 1998).

Los tensiómetros deben ser leídos diariamente en una hora fija, preferiblemente en la mañana, haciéndose necesario llevar un registro que permita sacar conclusiones para el manejo de la irrigación.

La interpretación de las lecturas del tensiómetro es:

- De 0 a 10: indica suelo saturado. Esta lectura se da después de un riego.
- De 10 a 20: indica que el suelo está a la capacidad de campo. Es la lectura que se debe mantener en riego por goteo.
- De 30 a 60: humedad útil pero escasa para el riego por goteo
- Superior a 70: las plantas no disponen de toda el agua necesaria para su crecimiento.

El mantenimiento de los tensiómetros en el campo debe ser realizado semanalmente o cuando se encuentren problemas de mal funcionamiento y/o presencia de aire en la parte superior del tubo después de la irrigación; es ahí cuando se debe retirar la tapa y completar el agua faltante con agua destilada o hervida. En caso de que el tensiómetro no funcione correctamente, se recomienda verificar su calibración, y de seguir fallando, debe sustituirse. Es preciso evitar el pisoteo alrededor del equipo para evitar alterar las características físicas del suelo (Aparecido *et al.*, 1998).

Disponibilidad y calidad del recurso agua

El suministro de recursos de agua fácilmente accesibles está limitado actualmente a nivel mundial. Considerando que no toda el agua puede ser utilizada sino que una parte de las aguas superficiales debe ser dejada en los ríos para



salvaguardar el medio ambiente, más de la mitad de la escorrentía accesible está ya comprometida; en las regiones áridas y semiáridas, en países densamente poblados y en la mayoría del mundo industrializado existe una competencia por los escasos recursos de agua (Chanduvi y Prieto-Celi, 2000).

La calidad del agua de uso agrícola varía especialmente entre las aguas superficiales que pueden estar expuestas a contaminación temporal e intermitente, como descargas de aguas de desagües contaminados procedentes de la crianza de ganado en terrenos situados en la parte alta de la corriente. El agua subterránea que se ve afectada por el agua superficial, como la de los pozos viejos con grietas en su revestimiento, también puede estar expuesta a contaminación. Entre las fuentes típicas de agua para la agricultura se encuentran: el agua de corrientes superficiales como los ríos, riachuelos, acequias y canales descubiertos; el agua de reserva como los pantanos, estanques y lagos; el agua subterránea procedente de pozos y el agua de suministro municipal (Usda, 1998).

Una vez que se haya identificado la fuente de agua de riego se deben reconocer las posibles causas de contaminación para así evitarlas, tomando medidas preventivas o utilizando algún tipo de tratamiento como medida correctiva para tener mejor calidad de agua. Entre las fuentes de contaminación podemos mencionar las siguientes:

- Los desechos orgánicos de los seres humanos y/o animales que habitan en los alrededores de la fuente de agua y a lo largo de la misma.
- El mal drenaje de las letrinas que llega a contaminar la fuente de agua.
- La cercanía de crianza de ganado, cerdos, aves u otros tipos de animales a lo largo de la fuente de agua.

No todos los agricultores cuentan con la suerte de tener agua de riego de buena calidad, y muchas veces no se pueden controlar los factores externos que la contaminan, por lo que es necesario buscar otras fuentes, cambiar estas prácticas y/o tratar el agua para lavar el producto cosechado con un agua de mejor calidad.

Algunas opciones en el caso de no tener agua de buena calidad son:

- Utilizar agua de pozo o de acueducto: los pozos manuales o mecánicos deben estar cubiertos con sello hermético, ser impermeables para evitar la infiltración, y tener un brocal para evitar infiltración y un ribete que impida charcos de agua alrededor del pozo o agua estancada.



- Cambiar las prácticas de riego: adoptar prácticas que minimicen el contacto entre el agua y la parte comestible de la planta, como el riego por goteo, surcos, mangueras bajo tierra y el uso de aspersores de bajo volumen.
- Utilizar agua tratada para lavar los productos: almacenar el agua en tanques para que pueda ser tratada, ya sea con filtros y/o cloro, dejándola a una concentración de 0,5 a 1 ppm de cloro.

Aspectos legales del uso del agua

En Colombia existen dos decretos importantes acerca del uso de dicho recurso: el 1594 y el 1541 del Ministerio de Justicia. Sobre el primero, en el artículo 40 básicamente se contemplan los criterios admisibles del agua para uso agrícola, la cantidad de coliformes fecales admitida y los análisis que se le deben realizar al agua para uso agrícola.

En la Tabla 6.9 se describen los criterios admisibles para la destinación del recurso agua para uso agrícola:

Tabla 6.9. Criterios admisibles del agua para uso agrícola

REFERENCIA	EXPRESADA COMO	VALOR mg/Lt
Aluminio	Al	5
Arsénico	As	0,1
Berilio	Be	0,1
Cadmio	Cd	0,01
Zinc	Zn	2
Cobalto	Co	0,05
Cobre	Cu	0,2
Cromo	Cr	0,1
Flúor	F	1
Hierro	Fe	5
Litio	Li	2,5
Manganeso	Mn	0,2
Molibdeno	Mo	0,01



Níquel	Ni	0,2
Ph	Unidades	4,5 - 9
Plomo	Pb	5
Selenio	Se	0,02
Vanadio	V	0,1
Boro	B	0,3 - 0,4

El Nivel Máximo Permitido de coliformes fecales no deberá exceder de 1.000 cuando se use para riego de cultivos y tendrán que hacerse mediciones al agua sobre las siguientes características:

- a. Conductividad.
- b. Relación de absorción de sodio (RAS).
- c. Porcentaje de sodio posible (PSP).
- d. Salinidad efectiva y potencial.
- e. Carbonato de sodio residual.
- f. Radionucleidos.

Así mismo, el artículo 71 del Decreto 1495 hace relación al control de la contaminación del agua por la aplicación de agroquímicos, donde:

- a. Se prohíbe la aplicación manual de agroquímicos dentro de una franja de tres (3) metros, medida desde las orillas de todo cuerpo de agua.
- b. Se prohíbe la aplicación aérea de agroquímicos dentro de una franja de treinta (30) metros, medida desde las orillas de todo cuerpo de agua.
- c. La aplicación de agroquímicos en cultivos que demanden áreas anegadas artificialmente requerirá concepto previo del Ministerio de Salud o de la entidad encargada del manejo y la administración del recurso.

Finalmente, el artículo 130 del Decreto 1495 hace mención de que todo usuario del recurso hídrico para efectos de vertimientos requiere autorización sanitaria de funcionamiento, expedida por el Ministerio de Salud o por la entidad encargada del manejo y la administración del recurso, y que se cobrarán multas a quienes utilicen de forma directa o indirecta los ríos, arroyos, lagos y aguas subterráneas para introducir o arrojar en ellos desechos o desperdicios agrícolas.



Calidad del agua y su influencia en la fertirrigación

Cualquiera que sea la estructura de riego que tenga cada agricultor, es necesario hacer el análisis microbiológico del agua en forma periódica (cada 3 a 6 meses).

Un análisis típico en laboratorio de la calidad del agua incluye la determinación de la conductividad eléctrica (CE), el total de sólidos disueltos (TSD), un recuento total de bacterias (RCT) y coliformes totales; y si se sospecha de algún brote de enfermedad también se debe analizar la presencia de dicho microorganismo (virus o parásitos), la concentración de cationes y aniones individuales (tales como calcio, magnesio, manganeso, sodio, carbonato, bicarbonato, nitrato, cloruro, hierro y sulfato). Además, se debe evaluar la concentración de boro, pH y la tasa de absorción de sodio (Nathan, 2005).

La evaluación del agua para microrriego debe incluir también el análisis de contaminantes biológicos, químicos y físicos que contribuyen a obstruir el orificio de los emisores (Figura 6.20).



Figura 6.20. Toma de muestra de aguas para evaluación de contaminantes biológicos, químicos y físicos

pH

El pH del agua es probablemente el indicador más importante de problemas potenciales. Este expresa la concentración de los iones de hidrógeno (H^+) y la acidez relativa del agua. Valores de pH del agua por encima de 7,8 generalmente indican problemas potenciales con los iones carbonato (CO_3^{2-}) o bicarbonato (HCO_3^-) precipitando dentro de los accesorios del sistema (Nathan, 2005).



Conductividad eléctrica (CE)

La CE del agua de riego nos da una estimación de problemas potenciales de salinidad del suelo, la cual se expresa en términos de CE medida en un extracto tomado en una pasta de suelo saturado. Debido a la evaporación desde la superficie del suelo y la transpiración de las plantas, gran parte del agua aplicada al suelo se pierde, dejando a la mayoría de las sales solubles en él. En regiones áridas y semiáridas es importante aplicar grandes cantidades de agua para mantener la productividad de la mayoría de los suelos regados (Nathan, 2005).

Sales disueltas

En una muestra típica de agua de riego existen muchas sales disueltas, por lo que un análisis completo mostrará la concentración de cada uno de los iones individuales.

Calcio y magnesio

El calcio y el magnesio son los cationes divalentes principales tanto en el agua de riego como en la solución del suelo. Su concentración afecta enormemente la estructura y la tasa de infiltración del terreno, por lo que el calcio juega un rol preponderante en la formación de precipitados del agua aplicada sobre el follaje de las plantas.

Sodio

El efecto principal del sodio es su influencia negativa sobre la estructura del suelo. El sodio puede también tener un efecto negativo sobre las plantas cuando la absorción es excesiva.

Potasio

No es común que se presenten altos niveles de potasio en el agua de riego. En algunas regiones se usa para regar agua con una concentración muy baja de sal; en estos casos, el potasio monovalente puede comportarse como el sodio, causando la descomposición de la estructura del suelo y el sellado de su superficie.

Azufre y nitrógeno

El azufre, tanto en estado de sulfuro (S^{-}) como de sulfato (SO_4^{2-}), es analizado en el agua. El sulfato es la forma de azufre absorbida por las plantas. El agua de riego puede aportar una cantidad significativa de los requerimientos de azufre de la planta. Por su parte, el nitrato (NO_3^{-}) es la forma de nitrógeno que se analiza en el agua de riego, debido a que altos niveles de este pueden contribuir de forma significativa a la cantidad de nitrógeno disponible para la planta.



Carbonato y bicarbonato

Tanto los iones de carbonato (CO_3^{2-}) como los de bicarbonato afectan en forma significativa sobre el agua, el pH del suelo y la relación calcio/sodio. El agua de los canales porta una gran parte del flujo de retorno, mientras que pozos profundos pueden contener altos niveles de bicarbonato. La concentración relativa de carbono (en forma de carbonato) y del bicarbonato, depende del pH del agua, por lo que para un pH de 10,5 las concentraciones de carbonato y bicarbonato serán aproximadamente iguales en la muestra de agua.

A medida que el pH asciende, la proporción de bicarbonato aumenta continuamente hasta que todo el carbono se encuentra en esa forma. A un pH aproximado de 8,5 la totalidad del carbono se encuentra en forma de bicarbonato. El agua con una alta concentración de bicarbonato causa un incremento continuo del pH del suelo debido a que el carbonato de calcio (CaCO_3) precipita, es decir que un pH elevado puede causar deficiencias en micronutrientes, especialmente de hierro.

Boros y cloruros

En muchas regiones el agua de riego contiene una elevada concentración de boro y de cloruros, lo que puede representar un peligro específico (Nathan, 2005).

Interacción calidad de agua y fertilizantes

El agua de riego lleva sales en disolución, haciéndose preciso conocer las concentraciones de esas sales y las posibles interacciones para emplearlas en el fertirriego. El agua como vehículo de los fertilizantes debe tener ciertos requisitos para su uso, aun cuando el fertirriego nos permite el empleo de aguas con alta conductividad eléctrica (CE) como parte de las bondades del sistema, pero puede que algunas de esas interacciones causen diversos problemas, como son la formación de precipitados en el tanque de fertirrigación y la obstrucción de los goteros y filtros.

El agua con altos contenidos de calcio y bicarbonato y el uso de sulfatos causa precipitación de CaSO_4 , así como el empleo de urea induce la precipitación de CaCO_3 debido al incremento del pH. Desde el punto de vista químico, es necesario conocer el pH, la CE y la concentración de sales (bicarbonatos, carbonatos, sulfatos, cloruros y boratos), ya que los mismos pueden interactuar en forma negativa en el fertirriego (Moratinos y Zapata, 2004).

Algunos parámetros con sus respectivos valores en un rango normal para las aguas de riego se presentan en la Tabla 6.10.



Tabla 6.10. Análisis de laboratorio necesarios para evaluar las aguas de riego

	PARÁMETROS	SÍMBOLO	UNIDADES	VALORES NORMALES
SALINIDAD	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	C.E.	ds/m	0 - 3
	TOTAL DE SÓLIDOS EN SOLUCIÓN	T.D.S.	mg/l	0,2
	CALCIO	Ca	meq/l	0 - 20
	MAGNESIO	Mg	meq/l	0 - 5
	SODIO	Na	meq/l	0 - 40
	CARBONATOS	CO ₃	meq/l	0 - 0,1
	BICARBONATOS	HCO ₃	meq/l	0 - 10
	COLORO	Cl	meq/l	0 - 30
NUTRIENTES	SULFATOS	SO ₄	meq/l	0 - 20
	NITRÓGENO NÍTRICO	N(NO ₃)	mg/l	0 - 10
	NITRÓGENO AMONICAL	N(NH ₄)	mg/l	0 - 5
	FOSFATO	PO ₄	mg/l	0 - 2
OTROS	POTASIO	K	mg/l	0 - 2
	BORO	B	mg/l	0 - 2
	ACIDEZ O BASICIDAD	Ph	1 - 14	6,8 - 8,5
	R.A.S		meq/l	0 - 15

Fuente: Ayers y Wescot, 1987

FERTIRRIEGO

Es la aplicación de agua combinada con fertilizantes a través del sistema de riego, en la que se inyecta una solución de fertilizante al sistema para que ambos se distribuyan de la forma más uniforme posible en el volumen de suelo húmedo. El objetivo es mantener la disponibilidad de agua y elementos nutritivos en la zona radicular a niveles óptimos (Figura 6.21) (Guzmán y López, 2004; Moratinos y Zapata, 2004).

La aplicación del fertilizante por medio de un sistema de riego que no humedezca toda la superficie del terreno evita desperdicios y pérdidas de fertilizante en la zona seca (Sapir y Sneh, 2005).

La fertirrigación realizada en un sistema de riego por goteo ofrece las siguientes ventajas y limitaciones con respecto a la fertilización edáfica (Guzmán y López, 2004; Nathan, 2005):





Figura 6.21. Equipo mínimo de riego

Ventajas (Nathan, 2005)

- **Mayor eficiencia:**

- Mejor distribución y mayor uniformidad en la aplicación de los materiales como consecuencia de su previa disolución en el agua de riego.
- Cada planta en el campo recibe los nutrientes en forma exacta
- La penetración al suelo es mejor y más rápida
- Tiene la posibilidad de dividir la dosis anual de los fertilizantes en muchas porciones; de esta manera, se incrementa la disponibilidad de los nutrientes.
- Las pérdidas de nutrientes desde la superficie serán inferiores, por ejemplo, el detrimento de nitrógeno por volatilización.
- La posibilidad de adaptar la nutrición a las distintas etapas del desarrollo fenológico del cultivo, como la floración, cuajado, crecimiento vegetativo, etc.
- La fertirrigación permite aplicar los nutrientes según las necesidades del cultivo, posibilitando modificar la relación entre ellos.
- El reducir las dosis recomendadas en pequeñas porciones puede minimizar la cantidad total de fertilizantes en un tercio.

- **Control y dosificación:**

- Se pueden aplicar cantidades exactas de fertilizante a través de sistemas de control automáticos, según un programa preestablecido.
- Existe la posibilidad de controlar el proceso en forma absoluta, lo que permite la aplicación de micronutrientes a través del sistema de riego. Los mi-



cronutrientes son sustancias caras y, por medio de la aplicación continua y repetida en pequeñas porciones durante un periodo de tiempo prolongado, se puede incrementar la disponibilidad de los mismos en forma significativa, especialmente en suelos marginales, reemplazando el tratamiento de las aplicaciones foliares.

- La fertirrigación se adapta fácilmente a sistemas de control de riego automáticos, lo que incrementa la exactitud.

- **Control de profundidad y momento de aplicación:**

- Las frecuentes aplicaciones en pequeñas dosis evita la pérdida de fertilizantes; esta reducción en las pérdidas se debe a una disminución de la lixiviación por efecto de fuertes lluvias por debajo del sistema radicular de la planta. En muchas zonas tropicales se practica la fertirrigación únicamente con este objetivo.
- Existen situaciones en las cuales –dependiendo del tipo de suelo, fertilizante y cultivo– es importante aplicar el fertilizante hacia el final del ciclo de riego para evitar la lixiviación; por consiguiente, la fertirrigación permite mantener un nivel nutritivo adecuado en los suelos pobres (con baja capacidad de retención de nutrientes) posibilitando el cultivo en suelos marginales, además de la posibilidad de controlar la profundidad y el momento de aplicación, evitando que sustancias químicas contaminen las aguas subterráneas.

Se puede añadir a todo esto que:

- La operación de los sistemas es rápida y cómoda
- Se ahorra mano de obra y energía
- No se necesita maquinaria especial para la aplicación de los fertilizantes

Otras aplicaciones:

- La aplicación de otras sustancias químicas a través del sistema de riego constituye una ventaja más.

Limitaciones (Nathan, 2005)

- **Toxicidad:**

Muchas estructuras de riego están ligadas a sistemas de agua potable. El agua que contiene sustancias químicas no debe ser bebida por seres humanos



ni por animales, por lo que es importante advertir en forma visible, tanto a los trabajadores como a los transeúntes, del peligro de beber esta fuente de agua. Así mismo es necesario que una fuente de agua esté disponible.

- **Contaminación de aguas subterráneas:**

Lo que antes fue mencionado como una ventaja puede constituirse en una limitación cuando no se emplean sistemas exactos de monitoreo de riego, puesto que el exceso de agua con sustancias químicas puede llegar a aguas subterráneas.

- **Adaptabilidad del fertilizante:**

La fertirrigación exige el uso de fertilizantes líquidos o sólidos solubles. Los fertilizantes que no sean fácilmente solubles, no se adaptan a esta tecnología.

- **Interacciones entre sustancias inyectadas y el agua de riego:**

- Todas las sustancias a inyectar en el sistema de riego deben ser evaluadas para determinar si causarán alguna reacción química indeseada. Por ejemplo, las fuentes comunes de cloro son agentes oxidantes, lo que causa precipitación de carbonato de calcio y de magnesio, al igual que la de óxidos de hierro (herrumbre), etc.
- Los fertilizantes fosfatados, tales como el superfosfato, pueden reaccionar con el calcio presente en el agua de riego y precipitar.
- Muchos fertilizantes causan un incremento en el pH del agua de riego, aumentando el riesgo de las precipitaciones.

- **Peligro de corrosión:**

La corrosión de los componentes del sistema puede ser un problema serio. Todas las partes que entran en contacto con soluciones concentradas y/o con sustancias químicas inyectadas deben estar hechas con materiales resistentes a la corrosión para reducirla al mínimo (Nathan, 2005).

Manejo de la fertirrigación

Para que la fertirrigación sea eficiente, el sistema de riego debe ser manejado apropiadamente. Tanto el intervalo como la lámina de riego deben ser determinados utilizando procedimientos científicos. La aplicación de un exceso de agua a la planta no solo constituye un uso ineficiente de este recurso sino que traerá



como consecuencia el lavado de sustancias químicas y de nutrientes necesarios para el sistema radicular. Esto tiene un efecto negativo doble, ya que por un lado se están desperdiciando sustancias químicas de valor para la planta y además se está aumentando la polución de las aguas subterráneas (Nathan, 2005).

Igualmente, las aplicaciones de sustancias químicas deben ser planeadas según el calendario de riego y no viceversa. Los riegos tienen que ser aplicados de acuerdo con las necesidades del cultivo y no por un calendario arbitrario preestablecido. Es necesario conocer la lámina a aplicar, lo mismo que el intervalo para poder proceder a la calibración y operación apropiada del sistema de inyección. Es por eso que el productor recibe recomendaciones en términos de la cantidad de fertilizante a aplicar en forma de tablas basadas en análisis de laboratorio de suelo o unidades: cantidad de fertilizante por peso y por volumen, cantidad de nutrientes a aplicar por unidad de terreno, concentración de los nutrientes en el agua de riego y concentración del fertilizante en el agua de riego, entre otros. Con el fin de poder implementar estas recomendaciones, es indispensable traducirlas en instrucciones prácticas, tomando en cuenta el equipo disponible en cada parcela; por lo tanto, se requiere calibración (Nathan, 2005).

Como parte integral del paquete tecnológico, también la fertilización tiene que ser precisa e intensiva. Cuando la aplicación de los fertilizantes es a través del riego (fertirrigación o fertirriego), las dosis a aplicar se pueden determinar según el método cuantitativo o el método proporcional, teniendo los dos finalmente similares objetivos: acompañar el requerimiento nutricional diario del cultivo según su ritmo de desarrollo y aportar la cantidad de elementos que necesita la planta en un ciclo completo de cultivo (Shany, 2007).

- **La fertilización cuantitativa:** en el método cuantitativo, el cálculo se basa en las cantidades de nutrientes que la planta requiere en cada etapa del cultivo, las cuales deben ser suministradas según los días que han pasado desde el último riego. Si, por ejemplo, en tomate sabemos que la cantidad diaria de nitrógeno que requiere el cultivo en su segunda etapa (floración hasta el cuaje del tercer piso) es de 250 - 300 g N por día por 1.000 m² y si el riego se realiza cada tres días, entonces la cantidad de nitrógeno puro por 1.000 m² a aplicar en cada riego será de 750 - 900 g (esta cantidad es del elemento puro y hay que traducirla a términos de fertilizante comercial). Ya en la tercera etapa (la principal de la producción) la cantidad se duplica. Este cálculo se basa en la cantidad total del nutriente que la planta aprovecha en un ciclo completo del cultivo, dividida por los días efectivos del cultivo y ajustada a la etapa específica del mismo.



En tomate y en pimiento en invernaderos la cantidad puede ser de 40 - 50 kg de nitrógeno puro por 1.000 m² (los cálculos se basan en la cantidad de cada elemento en la materia seca de una planta desarrollada, multiplicada por el factor de la eficiencia del elemento en el suelo).

En hortalizas, las relaciones recomendables entre los elementos principales son:

$$\text{N:P:K:Ca:Mg} = 2:1:3:2:1$$

El calcio en general existe de manera natural en el suelo (o en el agua), y su nivel se mantiene a través de la fertilización básica que se da al cultivo (con el superfosfato por ejemplo), por lo tanto, se suministra solo una parte del calcio vía fertirrigación en la época del cuaje. En sustratos es preciso suministrar toda la cantidad necesaria.

La mayor dosis de potasio y de nitrógeno se aplica en la época de llenado de frutos, mientras que el fósforo se mantiene en el mismo nivel durante todas las etapas del cultivo y su mayor importancia es en la época de la floración y el cuaje. El magnesio se aplica junto con los microelementos (fertilizante compuesto), si es que no se encuentra presente en la fórmula de los macroelementos. En la primera etapa del cultivo (postrasplante) se mantiene la relación de NPK a 1:1:1 y las cantidades son bajas (100 g de nitrógeno por día por 1.000 m²). Una parte significativa de los fertilizantes debe ser aplicada como fertilización de base, es decir, debe ser incorporada al suelo antes del trasplante (Shany, 2007).

La fertilización de base es una práctica muy importante. Su objetivo es dejar más tiempo los elementos para que se establezcan y lleguen a un equilibrio con los demás componentes del suelo. Debe recordarse que también en cultivos en sustratos desconectados hay que saturar el sustrato con una solución de fósforo antes del primer trasplante.

La fertilización con microelementos tiene un alto grado de importancia porque estos son esenciales para la planta y tienen que ser parte integral de la fertilización del cultivo, lo que significa que una deficiencia de hierro, manganeso o zinc se refleja inmediatamente en la planta y puede afectar el desarrollo normal del cultivo.

Lo recomendable es realizar antes de cada estación de cultivo un análisis del suelo y, con base en los resultados completar las deficiencias observadas. De vez en cuando también se debe llevar a cabo un análisis foliar. Existen hoy en día



datos precisos para cada cultivo acerca de sus requerimientos de macro y microelementos. En caso de una deficiencia específica, es aconsejable completarla en forma de 'quelatos', a razón de 1 kg de quelato por 1.000 m². En caso de no observarse una deficiencia particular, hay que suministrar semanalmente una cierta cantidad de microelementos, usando abonos compuestos o quelatos separados y teniendo como cantidad recomendable 100 - 200 g por 1.000 m² cada semana, de un fertilizante completo de microelementos. En países donde existen formulaciones de fertilizantes compuestos, se puede pedir que el fertilizante que contiene los macroelementos llegue ya mezclado con los microelementos. De todas formas, hay que suministrar los microelementos vía sistema de riego y no basarse únicamente en la fertilización foliar, pues esta no viene a reemplazar la fertirrigación (Shany, 2007).

- **La fertilización proporcional (en sustratos):** mediante este método de fertilización los nutrientes se suministran permanentemente a las plantas vía su presencia en la solución de la fertirrigación. Se puede emplear este método también en cultivos plantados en el suelo, siendo el único a utilizar en cultivos en sustratos desconectados. La fertilización proporcional se basa en la concentración de los diferentes macro y microelementos en la solución de la fertirrigación. Esta concentración tiene que ser la correcta para cada cultivo y adecuada a cada etapa de desarrollo del mismo. La concentración se expresa en términos de ppm (partes por millón) del elemento puro en la solución. 1 ppm es igual a 1 g del elemento puro en 1.000 litros de agua (1.000 L = 1 m³) (1 ppm = 0,0001% = 0,000001). Una concentración de 100 ppm es igual a 100 g en 1 m³ de agua (hay que destacar que se refiere a elementos puros y debe hacerse el ajuste para los fertilizantes comerciales) (Shany, 2007).

En la Tabla 6.11 se presenta la concentración deseada en ppm de los macroelementos en las diferentes etapas de un cultivo de tomate:

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 (Fuentes, 1991):

- **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 deter-



Tabla 6.11. Concentración deseada en ppm de los macronutrientes en las etapas del cultivo de tomate

Etapa	N	P	K	Ca	Mg
Trasplante hasta inicio de la floración	100 - 200	40 - 50	150 - 180	100 - 120	40 - 50
Floración hasta cuaje de tercer piso	150 - 180	40 - 50	250 - 350	100 - 120	40 - 50
Principal cuaje y desarrollo de frutos	200 - 220	40 - 50	300 - 400	100 - 120	50 - 60
En zonas o en épocas cálidas*	150 - 180	35 - 40	250 - 300	100 - 120	40 - 500

*En zonas o en épocas cálidas la cantidad total de los elementos que se suministran no varía, pero el volumen de agua regado se eleva, por lo que baja la concentración de los elementos en la solución.

Fuente: Shany, 2007

minada cantidad de agua. La solubilidad depende de la temperatura del agua: a mayor temperatura mayor solubilidad.

- **Salinidad.** 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 del suelo afecta el esfuerzo de succión que la planta tiene que hacer para absorber el agua, y esto lleva a una reducción del tamaño de las células, tamaño del fruto y la cantidad de producción. Cuando el agua es de buena calidad se pueden utilizar, sin peligro grave, concentraciones altas en el abonado, pero cuando el agua es de mala calidad resulta indispensable utilizar concentraciones bajas, lo que requiere aplicaciones frecuentes.

Las plantas de tomate son consideradas tolerantes a la salinidad y capaces de crecer y producir comercialmente cuando son cultivadas en suelos salinos, aun cuando son regadas con aguas salinas; no obstante, cuando la salinidad es incontrolada, se pueden crear situaciones que tienen un efecto negativo sobre la planta y el suelo como resultado de la acumulación de sales en este último.

En situaciones cuando hay un aumento de ciertos elementos dañinos en el suelo como el sodio y el cloro, los cuales son absorbidos, se produce toxicidad en el follaje. El indicador de salinidad en el suelo es la conductividad eléctrica (CE), la que es medida 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, tales como el potasio, fósforo y nitrógeno, y algunos son elementos dañinos, como el cloro y el sodio, los que no son absorbidos por la planta pero pueden incrementar la CE e incluso cambiar la textura del suelo. El análisis de suelo permite conocer la composición de cada uno de los iones requeridos por las plantas y aprender la composición específica de las sales en la solución de la tierra, así como cuáles factores influyen en el incremento de los valores de la CE en el suelo. Así, los principales factores que promueven la acumulación de sales en el terreno son:

- La concentración de sales en el agua, la cual es un indicador de su calidad.
- Los tipos y calidad de los fertilizantes.
- La nutrición sin control (aplicación de grandes cantidades de fertilizantes).
- Volumen y 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, y la repentina deficiencia de agua favorece la aparición de la pudrición apical del fruto. Al mismo tiempo, en suelos con alto contenido de arcilla (suelos pesados) hay mayor riesgo de acumulación de sales, principalmente sodio (Na), siendo difícil el lavado de las mismas en este tipo de suelos.

- **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 (Fuentes, 1991).

Los fertilizantes tienen un efecto considerable sobre el pH del agua de irrigación en la que se disuelve. El pH óptimo de la solución del suelo está entre 5,5 y 7,0. Valores demasiado altos de pH (<7,5) disminuyen la disponibilidad de fósforo, hierro y zinc para las plantas, con lo que se pueden formar precipitados de carbonatos y ortofosfatos de calcio y magnesio en tuberías y emisores.

Cuando aumenta el pH de 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 a las plantas de nitrógeno y fósforo, respectivamente.



- **Grado de pureza.** Los fertilizantes utilizados en fertirrigación deben tener un alto grado de pureza para evitar sedimentos o precipitaciones que obstruyan la instalación. Hay que evitar 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 llegar a dosis perjudiciales.

- **Compatibilidad de las mezclas.** Hay que evitar las reacciones químicas en donde se originen productos sólidos insolubles, así como se debe evitar la mezcla de productos que contienen sulfatos (sulfato amónico, sulfato potásico y sulfato magnésico, entre otros) o fosfatos (fosfato amónico, superfosfato y demás) y los que contienen calcio (nitrato cálcico, cloruro cálcico, etc.) (Tabla 6.12) (Fuentes, 1991; Jaramillo *et al.*, 2007).

Tabla 6.12. Compatibilidad de algunos fertilizantes

	Nitrato amónico	Sulfato amónico	Solución nitrogenada	Urea	Nitrato cálcico	Nitrato potásico	Fosfato Monoamo	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

Fertilizantes compuestos o solución de fertilizantes pueden ser usados o preparados a partir de la mezcla de diferentes tipos de fertilizantes, por lo que uno o dos tanques deben ser utilizados con un tamaño que sea compatible con la dimensión del área a fertilizar. Si se dispone de un solo tanque se debe garantizar el lavado correcto del mismo; sin embargo, el uso de más de un tanque facilita la aplicación de fertilizantes que no pueden ser mezclados porque se sedimentan, produciendo taponamiento del sistema de riego o desintegración de alguno de los elementos nutritivos (Tabla 6.13).



Tabla 6.13. Composición de los fertilizantes recomendados en dos tanques (una bomba por tanque)

<i>Tanque A</i>	<i>Tanque B</i>
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)

Fuente: Zeidan, 2005

La preparación de las soluciones nutritivas concentradas es una tarea que requiere mucha atención y conocimiento, especialmente en los puntos críticos como 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 requiere de un especialista en la formulación y estabilización de concentrados solubles que se utilicen en fertirrigación; en otras palabras, en el caso de no tener dicho conocimiento y experiencia lo más aconsejable es nutrir el cultivo mediante fertilizaciones edáficas hasta adquirir dicha práctica.

La aplicación de fertilizantes en terrenos cultivables debe estar orientada al uso racional de estos, disminuyendo el impacto económico y al medio ambiente. Es necesario que el manejo de la fertilización sea cuidadoso con el fin de evitar la contaminación del suelo y del agua, por consiguiente, los cuidados en el uso de fertilizantes abarcan desde el manejo en bodegas y calibración de los equipos, hasta la aplicación de fertilizantes en sí.

Entre las normas de Buenas Prácticas Agrícolas para la aplicación y almacenamiento se tienen:

Recomendaciones técnicas para la aplicación de fertilizantes

- Se debe tener un programa de aplicación de fertilizantes realizado por personal capacitado que apunte a tener el máximo beneficio productivo, disminuyendo las pérdidas del productor y evitando tanto la contaminación ambiental como la presencia de sustancias dañinas al consumidor (Gobierno de Chile, 2003).



- Es preciso adquirir las cantidades de fertilizante que se demandará durante la temporada, reduciendo el riesgo de pérdidas y de contaminación durante el almacenaje de los mismos.
- 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 sustrato por un laboratorio especializado previo a la plantación, al inicio de la temporada, o bien, anualmente. Además, se debe conocer el historial de manejo del terreno.
- Las cantidades de fertilizante a aplicar son un punto crítico; por esto la dosificación, pesaje de los productos y preparación de las mezclas deben ser efectuadas por un técnico capacitado para ello.
- Se debe aplicar una fertilización balanceada para evitar el desarrollo de enfermedades tanto de tipo infecciosas como fisiológicas en las plantas, así como impedir la generación y acumulación de sustancias dañinas para los consumidores.
- 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 al momento de la aplicación de fertilizante y posterior a ella con el fin de evitar las pérdidas por escorrentía, *ergo* una 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 de este, teniendo especial cuidado en las características de solubilidad del producto, su dosificación y las necesidades del cultivo.



- Mantener limpias y en buen estado las maquinarias usadas para la aplicación de fertilizantes. Es recomendable chequear su correcto funcionamiento cada vez que se usen y hacerles un mantenimiento por lo menos una vez al año.

Almacenamiento de fertilizantes y abonos orgánicos

(Gobierno de Chile, 2003)

- El área de almacenamiento de los fertilizantes y abonos orgánicos debe ser techada, estar limpia y seca.
- Los fertilizantes deben almacenarse separados de otros productos, especialmente de los fitosanitarios. Lo mejor es mantenerlos alejados de paredes para evitar la proliferación de plagas y roedores, y sobre estibas o tarimas para evitar que se humedezcan.
- Los fertilizantes y los abonos orgánicos deben ser almacenados separadamente.
- Los fertilizantes se deben almacenar en sus envases originales o en un lugar debidamente identificado si se encuentra a granel.
- Es recomendable que la zona de almacenamiento de fertilizantes se encuentre debidamente señalizada.
- El área de almacenamiento de fertilizantes es necesario incluirla en el programa de roedores del predio.
- Obligatorio mantener, en el área de almacenamiento, un registro de las existencias de fertilizante actualizada (Jaramillo *et al.*, 2007).

Características de algunos nutrientes y su uso en fertirriego

(Moratinos y Zapata, 2004)

Nitrógeno: en fertirrigación su movilidad en la zona húmeda del bulbo es tan alta como en otros métodos de riego empleados.

Fósforo: su dificultad de asimilación en suelos alcalinos es compensada por su alto movimiento en la fase líquida saturada y por su progresiva neutralización e incluso acidificación del volumen del suelo próximo al gotero. Se ha demostrado que su movilidad es superior a 55 cm alrededor del punto de goteo.



Potasio: bajo condiciones de disponibilidad de agua y nitratos, es bien conocida la alta absorción de potasio.

Calcio: la abundancia de agua y regularidad de aplicación causa una importante reducción en la asimilación de este elemento, y a pesar de su alta cantidad en el suelo, su antagonismo con el potasio, la acidificación y lavado pueden causar un aparente decrecimiento de asimilación del calcio.

Magnesio: este nutriente es esencial y su absorción puede ser fuertemente reprimida por otros cationes, tales como K^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mn y por H^+ , es decir, bajo pH.

Micronutrientes: la concentración de los micronutrientes Mg, Fe, Zn y Cu en la solución del suelo depende principalmente del pH de la tierra, el potencial redox (oxidorreducción) y el contenido de materia orgánica. Por encima de 6,5 el pH puede disminuir la asimilabilidad de Fe, Zn, B y Cu. Los óxidos metálicos de Fe, Mn, Cu y Zn se hacen más solubles al bajar el pH, pudiendo llegar a resultar fitotóxicos (Zapata, 2004).

Ejercicio práctico para aplicación de fertirriego

Los agricultores pueden preparar sus soluciones madre nutritivas disolviendo y mezclando dichos fertilizantes simples, para obtener así formulaciones “a la medida” con distintas concentraciones y relaciones N:P:K de acuerdo con las necesidades nutricionales del cultivo y con cada etapa fisiológica. Lo primero al momento de fertirrigar es saber cuáles son las necesidades nutricionales y demandas de agua, según el desarrollo fenológico del cultivo (Tabla 6.14).

Tabla 6.14. Requerimientos para la etapa vegetativa, floración y producción establecida para los invernaderos tradicional, climatizado y semiclimatizado

Elemento	ppm 0-30 días	ppm 31-90 días	ppm 90-adel.
N	40	40	40
P	120	80	60
K	40	80	120
Ca	20	30	30
Mg	7	10	10



Las fuentes usadas para la fertirrigación por ciclo y por etapa fenológica, de 0 a 30 días en invernaderos, son:

- Ácido fosfórico (85% P).
- Fosfato monoamónico (11% NH_4 y 50% P_2O_5).
- Nitrato de calcio (15,5-0-0-19).
- Nitrato de potasio 13% NO_3 y 46% K_2O .
- Sulfato de magnesio técnico 16% MgO .
- Sulfato de potasio (50% K_2O y 16% S).

Ejemplo para la primera etapa del ciclo de tomate

Los requerimientos en ppm para la etapa fenológica de 0 a 30 días en el cultivo de tomate son: 40 ppm de N, 120 ppm de P, 40 ppm de K, 20 ppm de Ca y 7 ppm de Mg.

- La fórmula aplicada para encontrar a partir de unas ppm establecidas la cantidad de gramos/cc por litro de producto que se necesita, es la siguiente:

0,1 x ppm a aplicar / % del elemento dentro de la fuente

Entonces:

a) Para K – fuente nitrato de potasio (13% N; 46% K_2O):

$$0,1 \times 40 / 46 = \mathbf{0,0869 \text{ gramos/litro}}$$

Además, esto aporta unas ppm de N, las cuales se pueden obtener de acuerdo con la siguiente fórmula:

Gramos por litro de K x porcentaje de N dentro del compuesto/0,1

$$0,0869 \times 13/0,1 = \mathbf{11 \text{ ppm de N}}$$

Esto quiere decir que el nitrato de potasio cuando aporta 40 ppm de K igualmente está aportando 11 ppm de N.

b) Para Ca – fuente nitrato de calcio (15,5% N; 19% CaO)

$$\mathbf{0,1 \times 20 / 19 = 0,1053 \text{ gramos/litro}}$$



Esta fuente también aporta unas ppm de N:

$$0,1053 \times 15,5 / 0,1 = \mathbf{16 \text{ ppm de N}}$$

c) Hasta ahora tenemos que el nitrato de potasio aporta 11 ppm de N y el nitrato de calcio 16 ppm; es decir que se tienen **27 ppm de N**.

Es así como se ajusta la cantidad de nitrógeno con la fuente **fosfato monoamónico (11% N; 50% P₂O₅)**, que también aporta N:

La fórmula se realiza con 13 ppm de N que hacen falta:

$$0,1 \times 13 / 11 = \mathbf{0,12 \text{ gramos/litro}}$$

Esta fuente a su vez aporta unas ppm de P, las cuales son:

$$0,12 \times 50 / 0,1 = \mathbf{60 \text{ ppm de P}}$$

d) Se ajustan las ppm de P para este ciclo con la fuente ácido fosfórico:

$$0,1 \times 60 / 62 = \mathbf{0,10 \text{ cc/litro}}$$

e) Para Mg – fuente sulfato de magnesio (16% MgO)

$$0,1 \times 7 / 16 = \mathbf{0,04375 \text{ gramos/litro}}$$

En resumen, la Tabla 6.15 muestra las cantidades necesarias de las fuentes para cada una de las etapas fenológicas de un ciclo de tomate. Además, se tienen las cantidades totales de cada una de las fuentes, asumiendo que se va a aplicar 1 litro de agua al día en un invernadero de 1.000 m² donde caben 2.124 plantas.

Luego de tener las necesidades del cultivo establecidas y las cantidades de fuentes simples que se requiere aplicar para obtener las ppm consideradas, el paso siguiente es saber en qué cantidad de agua se deben disolver estos fertilizantes para llevarlos al cultivo, por lo que posteriormente es preciso calcular la solución madre para hacer la mezcla.

La solución madre se calcula de la siguiente forma:

Si se va a tomar como referencia que el cultivo necesita un litro de agua diario, se hace el siguiente cálculo en un invernadero que tiene un área de 1.000 m² y una cantidad de 2.124 plantas:



FUENTE	CANTIDAD DE AGUA A APLICAR EN LITROS	0-30 DÍAS		31-90 DÍAS		90-ADELANTE	
		G/L	Total fuente (gramos)	G/L	Total fuente (gramos)	G/L	Total fuente (gramos)
Ácido fosfórico	2124	0,100	212,4	0,02	42,48		
Fosfato monoamónico	2124	0,12	254,9	0,14	297,36	0,1	254,88
Nitrato de calcio	2124	0,10323	219,3	0,16	339,84	0,2	339,84
Sulfato Mg técnico	2124	0,04	85,0	0,06	127,44	0,1	127,44
Nitrato de potasio	2124	0,09	191,2				
Sulfato de potasio	2124			0,16	339,84	0,2	509,76

Tabla 6.15. Cantidades de cada una de las fuentes asumiendo una cantidad de agua de un litro día y una población de 2.124 plantas

2.124 plantas x 1 litro de agua día/planta = 2.124 litros de agua día para todas las plantas.

Es indispensable tener en cuenta los siguientes datos:

- Número de surcos por válvula: 18 surcos.
- Longitud de surco: 47,5 m.
- Descarga por metro lineal de la cinta de riego: 5 litros metro lineal.

18 surcos x 47,5 m cinta = 855 metros lineales de cinta

855 m lineal x 5 litros/m lineal/hora = 4.275 litros hora/todo el invernadero

Ahora la pregunta es: si en 60 minutos la cinta riega 4.275 litros de agua, ¿en cuánto regará 2.124 litros de agua, que es lo que realmente se necesita?

2.124 litros de agua x 60 minutos/ 4.275 litros totales = 30 minutos

Esto quiere decir que se riegan los 2.124 litros de agua necesarios en 30 minutos.

Teniendo estos datos únicamente queda saber la cantidad de agua requerida para mezclar el fertilizante, lo que lleva al término ‘tasa de inyección’, que es la cantidad de agua que el inyector absorbe en un minuto.



Para el caso de este ejemplo, la tasa de inyección es de 1 litro por minuto, conclusión a la que se llega después de un aforo hecho a la válvula de fertirriego para saber cuánta solución absorbe en un minuto; de allí se puede deducir la tasa de inyección para cada uno de los diferentes sistemas.

Se hace entonces lo siguiente:

30 min x 1 litro/min = 30 litros de solución madre

Esto quiere decir que se deben mezclar, de acuerdo con las compatibilidades, los fertilizantes en 30 litros de agua para asegurarse de que toda planta reciba las ppm que necesita de todos los elementos que se le están aportando, al tiempo que cada una de las plantas esté recibiendo el litro de agua que necesita para esta etapa.

Finalmente, es importante tener en cuenta el cultivo a sembrar, las necesidades de dicho cultivo en cuanto a agua y nutrientes para realizar estas fórmulas, y las condiciones del suelo donde esté ubicado el cultivo.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparecido M., W.; Ribeiro da Silva, H.; Carvalho e S., W. y Alves C., O. (1998). *Tensiómetros para manejo da irrigação em hortaliças*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças. Brasília D.F.
- Ayers, R. S. y Westcot, D. W. (1984). *Calidad del agua de riego para la agricultura*. Estudio FAO: Riego y Drenaje No. 29. FAO, Roma.
- Barreto O., J. D.; Miranda L., D.; Aguirre G., M. C.; Echeverri A., L. A.; Caicedo, A. M. y Campos V., Y. Y. (2002). *Manual del cultivo de tomate tipo milano, pimentón, maíz dulce y frijol en el sistema de siembra en camas plastificadas, bajo las condiciones agro ecológicas de la meseta de Ibagué*. Colciencias, Cooperativa Serviarroz, Corpoica, Sena. Ibagué. P. 3-42.
- Chanduvi, F. y Prieto-Celi, M. (2000). *Taller Internacional: Gestión de la Calidad del Agua y Control de la Contaminación en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile. 313 p.
- Flores, I. (1986). *Cultivos de Hortalizas*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. División de Ciencias Agropecuarias y Marítimas. Departamento de Agronomía. Monterrey, México. 170 p.
- Fuentes Y., J. L. (1991). *Características agronómicas del riego por goteo*. Hojas Divulgadoras num. 17/90 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Dirección General de Investigación y Capacitación Agrarias. Madrid. 26 p.
- Gobierno de Chile. (2003). *Especificaciones Técnicas de Buenas Prácticas Agrícolas. Hortalizas de frutos, cultivadas en invernadero*. Comisión Nacional de Buenas Prácticas Agrícolas. Ministerio de Agricultura. 48 p.
- Guzmán, M. (2004). *Población, agua, suelo y fertilizantes: El fertirriego*. Cyted; Fertirriego: Tecnologías y Programación en Agroplasticultura (1-5). P. 5-10.
- Guzmán Palomino, J. M.; López Galvez, J. (2004). *Fertirriego: Tecnologías y Programación en Agroplasticultura*. Cyted. Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Almería, España. 23 p.
- Instituto Colombiano Agropecuario - ICA. (1992). *Fertilización en diversos cultivos, quinta aproximación*. Manual de asistencia técnica N° 25. Centro de Investigación Tibaitatá. Bogotá, Colombia. 64 p.
- ITAA. (2004). *El boro*. En: Información Técnica Agrícola Especializada. Volumen 2, Número 11. P. 11-12.
- Jaramillo, J.; Rodríguez, V.; Guzmán, M.; Zapata, M. y Rengifo, T. (2007). *Buenas Prácticas Agrícolas en la producción de tomate bajo condiciones protegidas*. Manual técnico Corpoica, Fao, Mana. Colombia. Primera edición. 314 p.
- Lobo, M. A.; Jaramillo, V. J. (1984). *Tomate*. En: Hortalizas, Manual de Asistencia Técnica. Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. P. 41-47.
- Lora S., R. (1984). *Fertilidad de suelos, diagnóstico y control. Factores que afectan la disponibilidad de los nutrientes para las plantas*. Bogotá, Colombia. 418 p.



- Marouelli, W. A.; Silva, C., W. L.; Moretti, C. L. (2001). *Gotejamento: Opção para irrigação do tomateiro para processamento nos cerrados*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Hortaliças Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 4 p.
- Medina, A.; Cooman, A.; Escobar, H. (2001). *Riego y Fertilización*. En: Producción de tomate bajo invernadero. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Colciencias. Centro de Investigaciones y Asesorías Agroindustriales. Bogotá, Colombia. P. 29-42.
- Microfertisa. *Manual Técnico* ----. Bogotá. Colombia. 100 p.
- Moratinos P., H.; Zapata Navas, F. (2004). *Bases nutritivas del fertirriego*. Fertirriego: Tecnologías y Programación en Agroplasticultura. Almería, España. P. 13-16.
- Muñoz A., R. (1995). *Fertilización del tomate (Lycopersicon esculentum) en Colombia*. En: Memoria seminario fertilización de cultivos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del suelo. Comité regional de Antioquia. P. 56-75.
- Muñoz A., R. (1996). *Toma de muestra de suelos e interpretación de análisis químicos*. En: Memorias Curso Pasturas Tropicales. Medellín. Abril 6 de 1996. Centro de Investigación Agropecuaria, Corpoica, C.I. La Selva. 20 p.
- Nathan, Roberto. (2005). *La fertilización combinada con el riego*. Ministerio de Relaciones Exteriores, Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Servicio de Extensión. Edición. Estado de Israel. 79 p.
- Noticias Agrícolas Colinagro S.A. *Colinagro. Boro: Su singular función*. Departamento Técnico. 8 p.
- Noticias Agrícolas Colinagro S.A. *Nitrógeno, Fósforo y Potasio, Elementos de Descuento*. Departamento Técnico. 8 p.
- Rodríguez D., E. (2004). *Componentes de los sistemas de fertirriego*. Cyted; Fertirriego: Tecnologías y Programación en Agroplasticultura. P. 115-140.
- Rodríguez, M.; Flórez, V. (2004). *Elementos Esenciales y Beneficiosos. Fertirriego: Tecnologías y Programación en Agroplasticultura*. Cyted. P. 25-36.
- Sapir, Elimelech y Sneh, Moshe. (2005). *Riego por Aspersión*. Ministerio de Relaciones Exteriores Centro de Cooperación Internacional Mashav. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Centro de Cooperación Internacional para el Desarrollo Agrícola. Servicio de Extensión Departamento de Riego y Suelos. Estado de Israel. 121 p.
- Semillas Latinoamericanas Chile. (2003). *Impulsores Internacionales*.
- Shany, Meir. (2007). *Tecnología de producción bajo cobertura*. Estado de Israel. Ministerio de Relaciones Exteriores. Centro de Cooperación Internacional Mashav. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Centro de Cooperación Internacional para el Desarrollo Agrícola. Cinadco. Israel. 69 p.
- Sneh, Moshe. (2006). *El riego por goteo*. Ministerio de Relaciones Exteriores. Centro de Cooperación Internacional Mashav. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Centro de Cooperación Internacional para el Desarrollo Agrícola. Estado de Israel. 19.5 p.
- Terán Chávez, César; Valenzuela M., Miguel; Villaneda V., Édgar; Sánchez L., Germán y Hío P., Juan. (2007). *Manual Técnico. Manejo del Riego y la Fertirrigación en Tomate Bajo Cubierta en la Sabana de Bogotá*. Corpoica. P. 48-53.



- U. S. Department of Agriculture –Usda–. Centers for Disease Control and Prevention. (1998). *Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards for Fresh Fruits and Vegetables*. 45 p.
- Vega, C.; Molina, J. A. (2003). *¿Qué es el riego? ¿Por qué, cuándo y cuánto regar?* Universidad Nacional Experimental de Táchira. Departamento de Ingeniería Agronómica. Plegable informativo. San Cristóbal. Venezuela.
- Yoel Bar. (2006). *Planificación y manejo del fertirriego*. Curso internacional sobre planificación y manejo del fertirriego. Shefayim, Israel.
- Zazueta, R.F.S. (1992). *Micro irrigación*. Icfa Internacional, ONC. Guadalajara, Jal. México. 202 p.
- Zeidan. (2005). *Tomato production under protected conditions*. Mashav, Ciudadco. Ministry of Agriculture and Rural Development Extension Service. Israel. 99 p.

