

2

Nutrición de las plantas

2.1. Constituyentes

La composición de la materia fresca de las plantas incluye cerca de un 80 a 95 por 100 de agua. El exacto porcentaje de ésta dependerá de su especie, así como de la turgencia de la planta en el momento de la toma de la muestra, lo cual será el resultado de la hora del día, de la cantidad de humedad existente en el suelo, de la temperatura, de la velocidad del viento y de otros factores; a causa de la variabilidad del peso en fresco de las plantas, los análisis químicos de ellas se hacen usualmente basándonos en la materia seca, la cual es más estable. La materia fresca de las plantas se seca a 70° C entre veinticuatro y veintiocho horas, el peso de la materia seca que nos quedará será aproximadamente de un 10 a un 20 por 100 del peso inicial en fresco. Aproximadamente el 90 por 100 del peso en seco de la mayoría de las plantas está formado por tres elementos: carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H). El agua proporciona hidrógeno y oxígeno, el cual también proviene del dióxido de carbono de la atmósfera, al igual que el carbono.

Si solamente el 15 por 100 del peso en fresco de una planta es la materia seca, y el 90 por 100 de ésta está representado por carbono, oxígeno e hidrógeno, entonces todos los otros elementos que existen en la planta serán aproximadamente un 1,5 por 100 del peso en fresco de ella ($0,15 \times 0,10 = 0,015$).

2.2. Elementos minerales y esenciales

De los 92 elementos naturales que se conocen, solamente 60 de ellos han sido encontrados en diversas plantas; no obstante, muchos de éstos no se consideran esenciales para su crecimiento, y su existencia probablemente se debe a que las raíces de las plantas absorben en su entorno algunos elementos que existen en forma soluble. Las plantas, no obstante, tienen la habilidad de poder seleccionar la cantidad de los diversos iones que absorben, no siendo normalmente esta absorción directamente proporcional a la cantidad de nutrientes que existen; es más, según las especies, puede variar esta habilidad de seleccionar cada uno de los iones en particular.

Un elemento deberá cumplir cada uno de los tres criterios que expondremos a continuación para ser considerado esencial en el crecimiento de las plantas (Arnon y Stout, 1939; Arnon, 1950-1951): 1) La planta no podrá completar su ciclo de vida en ausencia del elemento. 2) La acción del elemento debe ser específica y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente. 3) El elemento deberá estar directamente implicado en la nutrición de la planta; esto es, ser un constituyente de un metabolito esencial o, por lo menos, ser necesaria su presencia para la acción de una enzima esencial, y no ser simplemente la causa de que otros elementos sean más fácilmente asimilables, o ser al menos un antagonista de un efecto tóxico de otros elementos.

Solamente 16 elementos están generalmente considerados como esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Estos están arbitrariamente divididos entre macronutrientes (macroelementos), aquellos requeridos en relativamente gran cantidad por las plantas, y los micronutrientes (elementos traza o menores), aquellos que son necesitados en considerablemente menor cantidad.

Los macroelementos incluyen carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), azufre (S) y magnesio (Mg). Los microelementos incluyen hierro (Fe), cloro (Cl), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu) y molibdeno (Mo). La concentración relativa de estos elementos encontrada en la mayoría de las plantas se da en la tabla 2.1.

Aunque la mayoría de las plantas requieren solamente estos 16 elementos esenciales, algunas especies pueden necesitar otros, pudiendo, por lo menos, acumular estos

TABLA 2.1
Elementos esenciales para la mayoría de las plantas

Elemento	Símbolo	Forma disponible	Peso atómico	ppm	Concentración en tejido seco %
Hidrógeno	H	H ₂ O	1,01	60.000	6
Carbono	C	CO ₂	12,01	450.000	45
Oxígeno	O	O ₂ , H ₂ O	16,00	450.000	45
Macronutrientes					
Nitrógeno	N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	14,01	15.000	1,5
Potasio	K	K ⁺	39,10	10.000	1,0
Calcio	Ca	Ca ⁺⁺	40,08	5.000	0,5
Magnesio	Mg	Mg ⁺⁺	24,32	2.000	0,2
Fósforo	P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	30,98	2.000	0,2
Azufre	S	SO ₄ ²⁻	32,07	1.000	0,1
Micronutrientes					
Cloro	Cl	Cl ⁻	35,46	100	0,01
Boro	B	BO ₃ ³⁻ , B ₄ O ₇ ⁴⁻	10,82	20	0,002
Hierro	Fe	Fe ⁺⁺⁺ , Fe ⁺⁺	55,85	100	0,01
Manganeso	Mn	Mn ⁺⁺	54,94	50	0,005
Zinc	Zn	Zn ⁺⁺	65,38	20	0,002
Cobre	Cu	Cu ⁺⁺ , Cu ⁺	63,54	6	0,0006
Molibdeno	Mo	MoO ₄ ²⁻	95,95	0,1	0,00001

Fuente: Modificada según P. R. Stout, Actas de la 9.^a Conferencia Anual sobre Fertilizantes de California. 1961, pp. 21-23.

riterios que expondremos a continuación de las plantas (Arnon y Stout, 1961) para establecer su ciclo de vida en ausencia de una especie y ningún otro elemento que no esté directamente implicado en el metabolismo de un metabolito esencial o en la actividad de una enzima esencial, y no ser fácilmente asimilables, o ser alérgicos.

Considerados como esenciales para el crecimiento, se dividen arbitrariamente entre los que en una relativamente gran cantidad (o más), y aquellos que son

hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), magnesio (Mg). Los microelementos (Mn), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), y otros elementos encontrados en la

entre estos 16 elementos esenciales, por lo menos, acumular estos

Concentración de los elementos esenciales en las plantas

		Concentración en tejido seco (%)
	ppm	
1	60.000	6
1	450.000	45
0	450.000	45
1	15.000	1,5
0	10.000	1,0
8	5.000	0,5
2	2.000	0,2
8	2.000	0,2
7	1.000	0,1
6	100	0,01
2	20	0,002
5	100	0,01
4	50	0,005
3	20	0,002
4	6	0,0006
5	0,1	0,00001

es de California. 1961, pp. 21-23.

otros elementos aun en el caso de que sean esenciales para su normal crecimiento; silicio (Si), níquel (Ni), aluminio (Al), cobalto (Co), vanadio (V), selenio (Se) y platino (Pt) son algunos de estos elementos absorbidos por las plantas y usados en su crecimiento.

El cobalto es utilizado por las leguminosas para la fijación del nitrógeno. El níquel se cree ahora que es un elemento esencial. Es esencial para la enzima ureasa. El silicio se necesita como soporte. Añade fuerza a los tejidos, dándoles resistencia a la infección fúngica, especialmente en pepino, donde ahora es una práctica común incluir 100 ppm en la solución nutritiva a través del uso del silicato potásico. El vanadio actúa con el molibdeno (Mo) y puede sustituirlo. El platino puede incrementar el crecimiento de las plantas en un 20 por 100, si se utilizan productos químicos puros (reactivos de laboratorio), que no tienen las impurezas que pueden tener los fertilizantes. Pero es tóxico a niveles muy bajos, de forma que hay que tener mucho cuidado cuando se utilice. Normalmente, los agricultores utilizan sales fertilizantes, que contienen muchos de los elementos indicados en cantidades de trazas.

El papel de los elementos esenciales está resumido en la tabla 2.2. Cada uno de ellos juega algún papel en la preparación y descomposición de los diversos metabolitos necesarios para el crecimiento de las plantas. Algunos de ellos se encuentran en las enzimas y coenzimas que regulan la media de reacciones bioquímicas; otros son compuestos importantes en el aporte de energía y en el almacenamiento de nutrientes.

TABLA 2.2
Funciones de los elementos esenciales que se encuentran en las plantas

1. Nitrógeno

Forma parte de un gran número de compuestos orgánicos necesarios, incluyendo aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos y clorofila.

2. Fósforo

Forma parte también de muchos compuestos orgánicos importantes, donde se incluyen la glucosa, ATP, ácidos nucleicos, fosfolípidos y ciertas coenzimas.

3. Potasio

Actúa como coenzima o activador de muchas enzimas. La síntesis de las proteínas requiere altos niveles de potasio. El potasio no forma parte estable en la estructura de ninguna de las moléculas que se encuentran dentro de las células de las plantas.

4. Azufre

Está incorporado dentro de diversos compuestos orgánicos que incluyen aminoácidos y proteínas. La coenzima A y las vitaminas tiamina y biotina contienen también azufre.

5. Magnesio

Es parte esencial de la molécula de clorofila, y es necesario para la actividad de muchas enzimas, incluyendo aquellos pasos más importantes en la actuación del ATP. Es esencial para mantener la estructura del ribosoma.

6. Calcio

Se encuentra a menudo precipitado como cristales de oxalato cálcico en las vacuolas. Se encuentra también en las paredes de la célula como pectato cálcico, el cual une las paredes primarias de las células adyacentes. Es preciso para mantener la integridad de la membrana y forma parte de la enzima α -amilasa. Algunas veces interfiere la capacidad del magnesio para activar las enzimas.

TABLA 2.2. (Continuación)
Funciones de los elementos esenciales que se encuentran en las plantas

7. Hierro

Es necesario para la síntesis de la clorofila y es una parte esencial del citocromo, el cual actúa como portador de electrones en la fotosíntesis y en la respiración. Forma también parte esencial de la ferridoxina y, posiblemente, de la nitrato reductasa, activando también algunas otras enzimas.

8. Cloro

Necesario para la fotosíntesis, donde actúa como activador de enzimas para la producción de oxígeno a partir del agua. Se le suponen otras funciones adicionales, ya que se ven claros los efectos de su deficiencia en las raíces.

9. Manganeso

Activa una o más enzimas en la síntesis de los ácidos grasos, así como en la enzima responsable de la formación del DNA y RNA, activando también la enzima deshidrogenasa en el ciclo de Krebs. Participa directamente en la producción fotosintética de O_2 a partir del H_2O y puede formar parte en la formación de la clorofila.

10. Boro

Su papel en las plantas no es bien conocido. Puede ser preciso para el transporte en el floema de los carbohidratos.

11. Zinc

Es preciso para la formación de la hormona del ácido indolacético. Activa las enzimas alcohol deshidrogenasa, ácido láctico deshidrogenasa, ácido glutámico deshidrogenasa y carbopeptidasa.

12. Cobre

Actúa como un portador de electrones y es parte de algunas enzimas. Forma parte de la plastocianina, la cual actúa en la fotosíntesis, y también de oxidasa poliphenol y, posiblemente, de la nitrato reductasa. Puede tomar parte en la fijación del N_2 .

13. Molibdeno

Actúa como portador de electrones en la conversión del nitrato de amonio, y también es esencial en la fijación del N_2 .

14. Carbono

Constituyente de todos los compuestos orgánicos encontrados en las plantas.

15. Hidrógeno

Constituyente de todos los compuestos orgánicos en los cuales el carbono también se encuentra formando parte. Es muy importante su acción en el intercambio de cationes en las relaciones planta-suelo.

16. Oxígeno

Forma parte de la mayoría de los compuestos orgánicos de las plantas. Solamente unos pocos de estos compuestos orgánicos, como, por ejemplo, el caroteno, no contienen oxígeno. También da lugar al intercambio de aniones entre las raíces y el medio exterior. Es, por último, receptor terminal del H^+ en la respiración aerobia.

entran en las plantas

ial del citocromo, el cual actúa como también parte esencial de la ferridoxina otras enzimas.

nzimas para la producción de oxígeno ven claros los efectos de su deficien-

como en la enzima responsable de la enzasa en el ciclo de Krebs. Participa puede formar parte en la formación de

para el transporte en el floema de los

co. Activa las enzimas alcohol deshí- nasa y carbopeptidasa.

mas. Forma parte de la plastocianina, posiblemente, de la nitrato reductasa.

de amonio, y también es esencial en la

en las plantas.

el carbono también se encuentra for- nes en las relaciones planta-suelo.

antas. Solamente unos pocos de estos oxígeno. También da lugar al inter- receptor terminal del H^+ en la respi-

2.3. Obtención de los minerales y del agua por las plantas

Las plantas obtienen normalmente sus necesidades de agua y elementos minerales a partir del suelo. En un medio sin suelo, las plantas deberán también proveerse de agua y elementos minerales; así pues, en orden a entender las relaciones de las plantas en un sistema hidropónico, deberemos también tener en cuenta las relaciones que existen en su crecimiento en el suelo.

2.3.1. El suelo

El suelo provee cuatro necesidades importantes de las plantas: 1) el aporte de agua; 2) un aporte de los nutrientes esenciales; 3) un aporte de oxígeno, y, por último, 4) un soporte para el sistema radicular de las plantas. Los suelos minerales están formados de cuatro componentes principales: los elementos minerales, la materia orgánica, el agua y el aire. Por ejemplo, una composición en volumen de un suelo que podríamos representar como franco limoso en condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas estará formado por 25 por 100 de agua, 25 por 100 de aire, 45 por 100 de materia mineral y 5 por 100 de materia orgánica. La materia mineral (inorgánica) está compuesta por pequeñas rocas fragmentadas y también por varias clases de minerales. La materia orgánica representa una acumulación de residuos vegetales y animales parcialmente descompuestos. La materia orgánica del suelo podríamos considerarla formada por dos grupos: 1) tejidos originales y otros equivalentes parcialmente descompuestos, y 2) humus. Los tejidos originales incluyen materias animales y vegetales aún no descompuestas, las cuales están sujetas al ataque de los organismos del suelo tanto animales como vegetales, que las utilizan como una fuente de energía para la construcción de su propio tejido. El humus es el producto más resistente de la descomposición, tanto de la efectuada por la sintetización a través de los microorganismos como aquellas que se obtienen por la modificación de los tejidos originales de las plantas.

El agua del suelo se obtiene en los poros del suelo, y, junto con las sales que se encuentran disueltas en ellas, dan lugar a las soluciones del suelo, que son muy importantes como medio para suministrar los nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. El aire del suelo está también situado en los poros de éste y tiene un mayor contenido de dióxido de carbono y menor de oxígeno del que se encuentra normalmente en la atmósfera. El aire del suelo es muy importante para suministrar el oxígeno y el dióxido de carbono a todos los organismos del suelo y también a las raíces de las plantas.

La **posibilidad** del suelo de suministrar una nutrición adecuada a las plantas depende de **cuatro** factores: 1) la cantidad de los diversos elementos esenciales presentes en el suelo; 2) sus formas y combinaciones; 3) el proceso por el cual estos elementos se convierten en utilizables por las plantas, y 4) la solución del suelo y su pH. La cantidad de los diversos elementos presentes en el suelo dependerá de la naturaleza de éste y del contenido que tenga en materia orgánica, puesto que ésta es la fuente de muchos de los elementos nutريente. Los nutrientes del suelo existen tanto en una forma completa de compuestos insolubles como en forma simple, usualmente soluble en el agua del suelo y lista para ser utilizada por las plantas. Las formas complejas deberán ser rotas por descomposición, para así obtener formas simples más fácilmente dispuestas para ayudar a las plantas, estas formas de más fácil utilización por las plantas están resumidas en la tabla 2.1. La reacción de la solución del suelo (pH) determinará la disponibilidad de los diversos elementos de la planta. El pH se medirá en acidez o alcalinidad. Un

suelo es ácido si su pH es menor que 7, neutro si tiene un valor de 7 y alcalino si su pH es superior a 7. Dado que el pH es una función logarítmica, el cambio de una unidad en el pH supone un cambio de diez veces en la concentración del H^+ . Por tanto, cualquier cambio de unidad en el pH puede tener un amplio efecto en la disponibilidad de iones para las plantas. La mayoría de las plantas prefieren un nivel de pH superior, entre 6 y 7, como pH óptimo para la absorción de los nutrientes. El efecto del pH en las disponibilidades de elementos esenciales se muestra en la figura 2.1. Hierro, manganeso y zinc se convierten en menos disponibles si su pH se eleva de 6,5 a 7,5 u 8; el molibdeno y el fósforo, por el contrario, están aceptados en su poder de absorción por las plantas mientras mayores sean los niveles de pH. En valores muy altos del pH, el ion bicarbonato (HCO_3^-) puede estar presente en suficiente cantidad como para interferir la normal disponibilidad de otros iones, y, por tanto, causar detimento para un crecimiento óptimo.

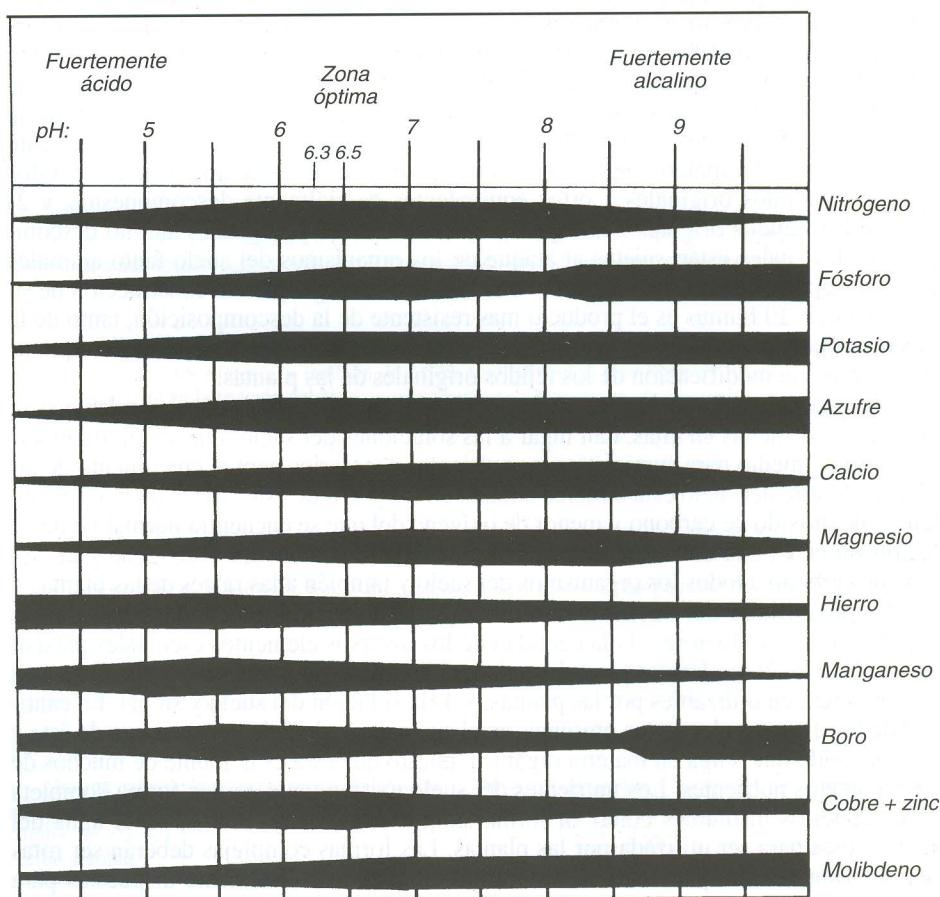
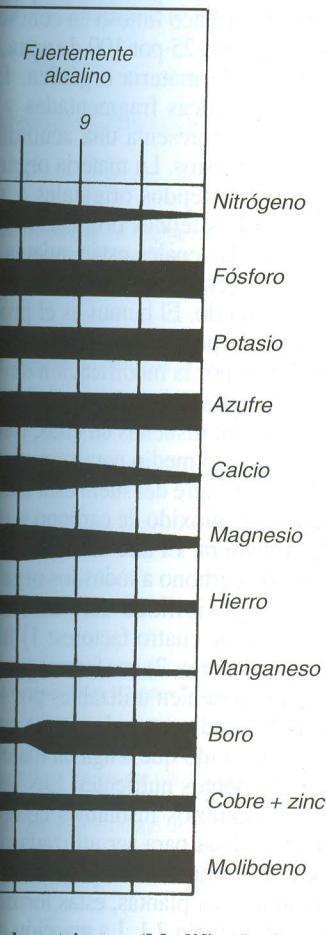


Fig. 2.1. Efecto del pH del suelo en la disponibilidad de nutrientes. (Modificado de Hunger Signs in Crops, editado por H. B. Sprague, 1964, p. 18.)

un valor de 7 y alcalino si su pH es superior. El cambio de una unidad en la concentración del H^+ . Por tanto, cualquier efecto en la disponibilidad de iones se produce en el nivel de pH superior, entre 6 y 8. El efecto del pH en las disponibilidades es figura 2.1. Hierro, manganeso y zinc se absorben entre 6,5 a 7,5 u 8; el molibdeno y el hierro absorben por las plantas mientras que los iones de pH altos del pH, el ion bicarbonato no interfiere la normal absorción para un crecimiento óptimo.



de nutrientes. (Modificado de prague, 1964, p. 18.)

Cuando las sales inorgánicas están colocadas en una solución diluida, se disocian en unidades cargadas eléctricamente llamadas iones. Estos iones son disponibles para las plantas a partir de la superficie de los coloides del suelo y también de las sales en la solución de éste.

Los iones cargados positivamente (cationes), como, por ejemplo, el potasio (K^+) y el calcio (Ca^{++}), son, la mayoría de las veces, absorbidos por los coloides del suelo, mientras que los iones cargados negativamente (aniones), tales como el cloro (Cl^-) y el sulfato ($SO_4^{=}$) suelen encontrarse en la solución del suelo.

2.3.2. Interrelación suelo-planta

Las raíces de las plantas y los pelos radiculares de éstas están en un íntimo contacto con la superficie de los coloides del suelo. La absorción de nutrientes por las plantas tiene lugar a través de sus raíces tanto en la superficie de los coloides del suelo como a través de la propia solución de éste; esto se ve en la figura 2.2. Los iones se intercambian entre los coloides del suelo y la solución de éste; este movimiento de iones tiene lugar entre la superficie de las raíces de las plantas y los coloides del suelo, así como entre estas raíces y la solución del suelo en una y otra dirección.

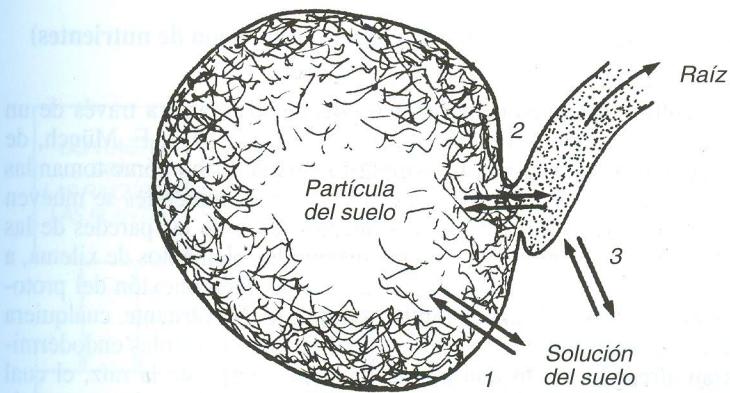


Fig. 2.2. Movimiento de nutrientes entre las raíces y las partículas del suelo.
 (1) Intercambio entre las partículas del suelo y la solución del suelo. (2) Movimiento de los iones desde los coloides del suelo (partículas) a la superficie de las raíces de la planta, y viceversa. (3) Intercambio entre la solución del suelo y la superficie absorbente del sistema radicular de la planta.

2.3.3. Intercambio de cationes

La solución del suelo es la más importante fuente de nutrientes para ser absorbida por las raíces de las plantas, y conforme ésta se va haciendo cada vez más diluida, al tomar las plantas los nutrientes de ella, éstos deberán irse reponiendo a partir de las partículas del suelo. La fase sólida del suelo proporciona elementos minerales a la solución de éste, parcialmente por medio de la solubilización de los elementos minerales y de la materia orgánica y parcialmente por la solución de sales solubles, así como en parte por el intercambio de cationes. Las partículas de arcilla cargadas negativamente y la materia orgánica sólida del suelo toman cationes tales como el calcio (Ca^{++}), magnesio

(Mg⁺⁺), potasio (K⁺), sodio (Na⁺), aluminio (Al⁺⁺⁺) y también iones de hidrógeno (H⁺). Aniones tales como el nitrato (NO₃⁻), fosfato (HPO₄²⁻), sulfato (SO₄²⁻), cloruro (Cl⁻) y otros se encuentran casi exclusivamente en la solución del suelo. Los cationes también se encuentran en la solución del suelo, y su capacidad de intercambio libre con los cationes absorbidos en los coloides del suelo da lugar a que se pueda efectuar este intercambio catiónico.

2.3.4. El suelo frente a los cultivos hidropónicos

No existe una diferencia fisiológica entre las plantas que crecen en un cultivo hidropónico y aquellas que lo hacen en el suelo. En el suelo, tanto los componentes orgánicos como inorgánicos, deberán ser descompuestos en elementos inorgánicos tales como calcio, magnesio, nitrógeno, potasio, fósforo, hierro y otros, antes que ellos estén a disposición de las plantas (fig. 2.3); estos elementos están adheridos a las partículas del suelo y se intercambian en la solución de éste, donde son absorbidos por las plantas. En los cultivos hidropónicos, las raíces de las plantas son humedecidas con una solución de nutrientes que contienen estos elementos; por tanto, el proceso de utilización de los minerales por las plantas es el mismo, como se detalla en 2.3.5 y 2.3.6.

2.3.5. Transferencia del agua y solutos desde el suelo (o solución de nutrientes) a la raíz

La discusión del cultivo orgánico o inorgánico puede clarificarse a través de un estudio de cómo toman las plantas los elementos minerales. En 1932, E. Münch, de Alemania, introdujo el concepto de apoplasto-symplasto para describir cómo toman las plantas el agua y los minerales. Sugirió que el agua y los iones minerales se mueven dentro de las raíces de las plantas a través de una interconexión de las paredes de las células y también de los espacios intercelulares, incluyendo los elementos de xilema, a los cuales llamó el apoplasto, o bien, a través del sistema de interconexión del protoplasma (excluyendo las vacuolas), el cual denominó symplasto. No obstante, cualquiera que sea este movimiento, la absorción está regulada por la capa de células endodérmicas que se encuentran alrededor de lo que podría llamarse cuerpo de la raíz, el cual constituye una barrera que evita el libre movimiento del agua y de los solutos a través de la célula. Existe una capa cérea, la capa de Casparyan, alrededor de cada una de las células endodérmicas, la cual aísla la parte interior de la raíz, de las regiones epidérmicas exteriores y corticales, en las cuales el agua y los diversos minerales pueden moverse con relativa libertad.

Si las raíces están en contacto con una solución del suelo o nutrientes, los iones penetrarán dentro de la raíz a través del apoplasto, cruzando la epidermis a través de la corteza hasta la capa endodérmica. Algunos iones pasarán desde el apoplasto hasta el symplasto a través de un proceso necesario de respiración activa. Puesto que el symplasto es continuo en toda la capa endodérmica, los iones se pueden mover libremente dentro del periciclo y de otras células vivientes de la raíz (fig. 2.4).

2.3.6. Movimiento del agua y de los minerales a través de las membranas

Si una sustancia se mueve cruzando una membrana celular, el número de partículas que se mueven por unidad de tiempo a través de un área dada de dicha membrana se denomina «flujo». El flujo es igual a la permeabilidad de la membrana multiplicada por

también iones de hidrógeno (H^+), sulfato (SO_4^{2-}), cloruro (Cl^-) y n del suelo. Los cationes también dad de intercambio libre con los a que se pueda efectuar este inter-

plantas que crecen en un cultivo el suelo, tanto los componentes tos en elementos inorgánicos tales ero y otros, antes que ellos estén s están adheridos a las partículas de son absorbidos por las plantas. s son humedecidas con una solutanto, el proceso de utilización de allá en 2.3.5 y 2.3.6.

el suelo (o solución de nutrientes)

puede clarificarse a través de un nerales. En 1932, E. Münch, de esto para describir cómo toman las y los iones minerales se mueven erconexión de las paredes de las yendo los elementos de xilema, a tema de interconexión del protoplasto. No obstante, cualquiera or la capa de células endodérmicas cuerpo de la raíz, el cual del agua y de los solutos a través an, alrededor de cada una de las la raíz, de las regiones epidérmicas diversos minerales pueden

del suelo o nutrientes, los iones zando la epidermis a través de la sarán desde el apoplasto hasta el nación activa. Puesto que el ymnes se pueden mover libremente íz (fig. 2.4).

avés de las membranas

a celular, el número de partículas rea dada de dicha membrana se de la membrana multiplicada por

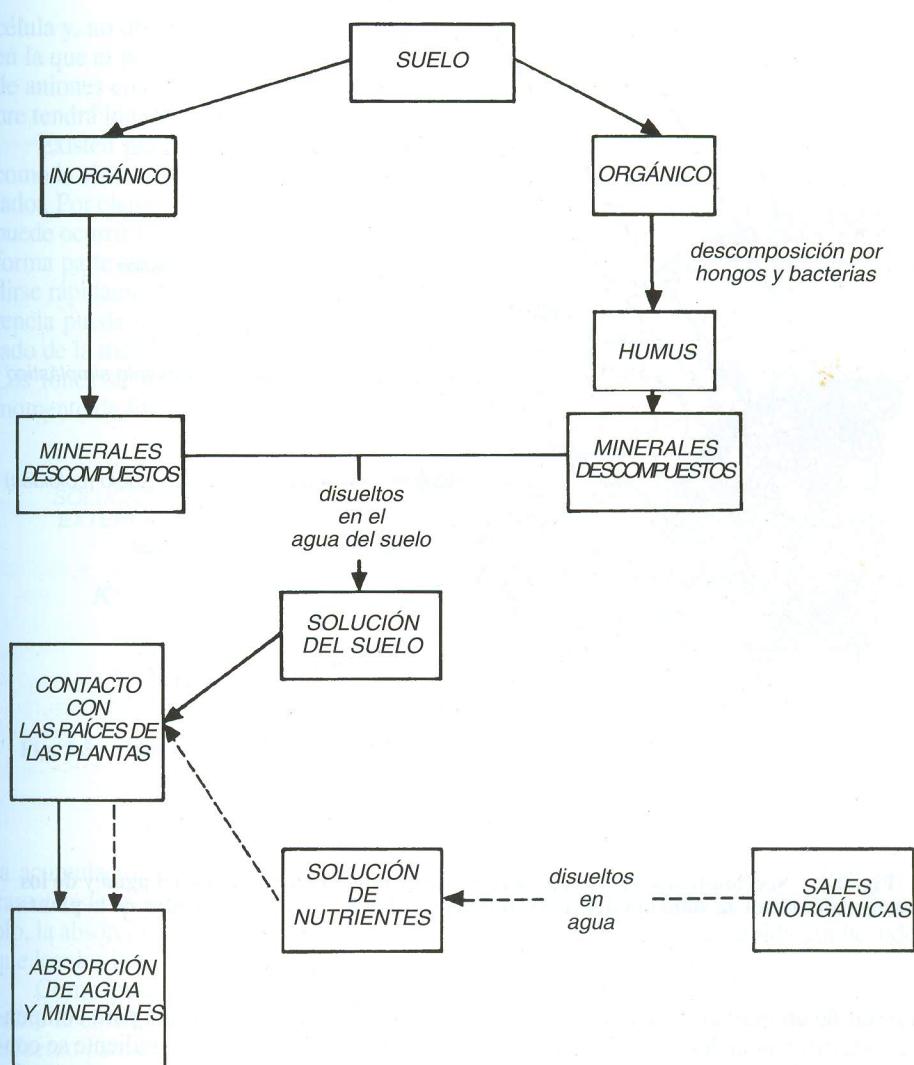


Fig. 2.3. Origen de los elementos esenciales en los cultivos en suelo y los hidropónicos.

la fuerza portadora que causa la difusión de la sustancia. Esta fuerza es debida a la dif- ferente concentración de estos iones en ambas partes de la membrana (potencial quí- mico). Si el potencial químico del soluto es mayor en la parte exterior de la membrana que en la interior, el movimiento hacia dentro se denomina pasivo, o sea, que la planta no utilizará su energía para tomar estos iones. Si, no obstante, una célula acumula iones

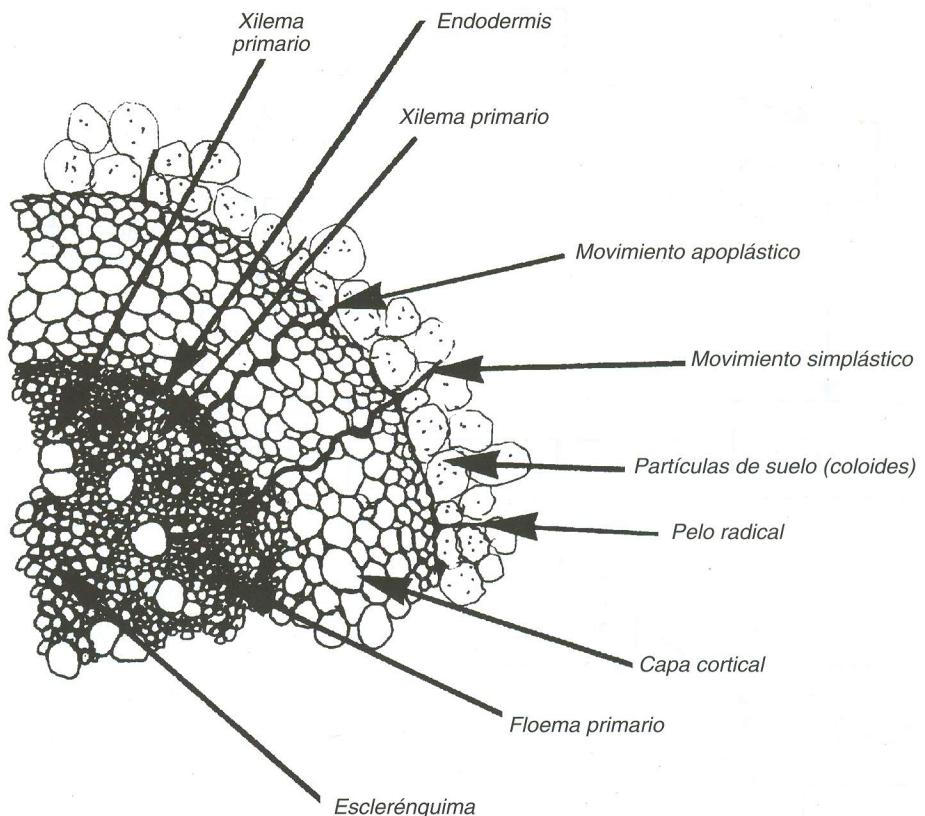


Fig. 2.4. Sección transversal de una raíz, mostrando el movimiento del agua y de los minerales desde la solución del suelo (nutrientes) hasta el sistema vascular de la planta.

a pesar de un gradiente de potencial, se deberá proveer suficiente energía para compensar esta diferencia del potencial químico. El transporte en contra de un gradiente se considerará activo desde el momento en que la célula metabolice activamente para poder llevar a cabo la absorción del soluto.

Cuando los iones son transportados a través de las membranas, la fuerza portadora estará compuesta tanto de una diferencia de potencial químico como eléctrico. Eso es, un gradiente de potencial electroquímico existirá a través de la propia membrana. La diferencia de potencial eléctrico se origina a partir de una difusión a través de la membrana de los cationes de una sal, más rápidamente que la de sus correspondientes aniones; es decir, la parte interior se convertirá en positiva con relación a la parte exterior. Así pues, que el transporte de un ion sea activo o pasivo dependerá de la contribución tanto de la diferencia de potencial eléctrico como de potencial químico; algunas veces ambos factores actuarán en la misma dirección, mientras que en otros casos su efecto será opuesto. Por ejemplo, un cation puede tener una alta concentración dentro de cada

célula y, no obstante, ser transportado sin gasto de energía en aquella parte de la célula en la que el potencial eléctrico es suficientemente negativo. Por otra parte, la absorción de aniones en contra de un gradiente de potencial, tanto químico como eléctrico, siempre tendrá lugar en un proceso activo.

Existen gran número de teorías para explicar cómo se acopla tanto la respiración como la absorción activa, pero la mayoría de ellas emplean el mecanismo de un transportador. Por ejemplo, cuando un ion alcanza la parte exterior de la membrana de una célula, puede ocurrir una neutralización, ya que el ion se adhiere a alguna entidad molecular que forma parte de la membrana. El ion adherido a este transportador puede entonces difundirse rápidamente a través de la membrana, siendo liberado en la cara opuesta. Esta adhesión puede necesitar el gasto de energía metabólica y puede ocurrir solamente en un lado de la membrana, mientras que la liberación ocurre solamente en el otro lado de ésta. Los iones se separan y mueven dentro de la célula, y el transportador vuelve, en el momento de liberar a éstos, a ser capaz de mover más iones (fig. 2.5). La selectividad en

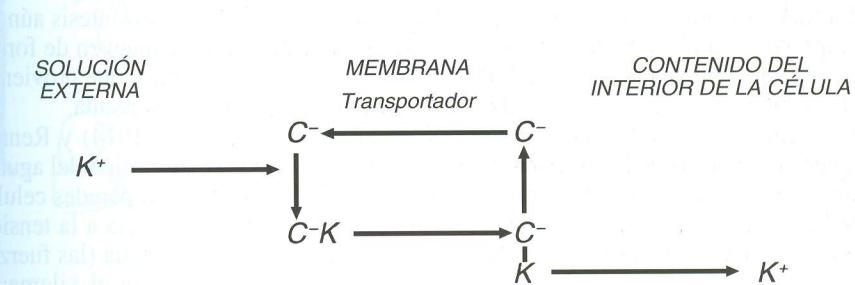


Fig. 2.5. Movimiento de los iones por un portador a través de las membranas de las células.

la acumulación de iones puede ser controlada por los portadores, según sus diferentes características, para formar combinaciones específicas con los diversos iones. Por ejemplo, la absorción de potasio puede ser inhibida competitivamente por el rubidio, indicando que los dos iones utilizan el mismo transportador o el mismo sitio en éste.

Como previamente hemos indicado, todas las explicaciones hechas hasta aquí sobre la absorción de los minerales por las raíces de las plantas se han efectuado en un esfuerzo para clarificar el problema de los cultivos orgánicos o inorgánicos. La existencia de relaciones específicas entre los iones y sus portadores, que son capaces de su transporte en las membranas de las células para entrar en éstas, demuestra que la absorción de los minerales funciona de la misma forma tanto si la fuente de éstos proviene de la materia orgánica como de los fertilizantes. La mayor parte de los compuestos orgánicos que dan lugar al humus no son absorbidos por las plantas hasta que, por medio de su descomposición, se han transformado en los elementos básicos inorgánicos, pudiendo acumularse por medio de su contacto con las membranas celulares de las plantas solamente en su forma iónica. Así pues, la jardinería que pudiéramos llamar orgánica no provee ningún compuesto a las plantas que no pudiera existir en un sistema hidropónico. La función de la materia orgánica en el suelo es suministrar elementos inorgánicos a las plantas y, al mismo tiempo, mantener la estructura del suelo en óptimas condiciones para que estos minerales estén a su disposición.

La aplicación indiscriminada de grandes cantidades de fertilizantes en el suelo, sin adición de materia orgánica, da como resultado una alteración de la estructura del suelo y, consecuentemente, hace inaprovechable para las plantas este abundante suministro de mineral. Esto último no será culpa de los fertilizantes, sino de la forma de suministrar éstos en el manejo de los suelos.

2.4. El movimiento ascendente del agua y de los nutrientes

El agua, con los minerales que lleva disueltos, se mueve principalmente hacia arriba en las plantas, a través de los tejidos de xilema. El xilema está compuesto de distintos tipos de células, formando un sistema conductor en la planta. Este tejido vascular se denomina comúnmente vena o vaso. Los vasos están compuestos actualmente de xilema y floema. El tejido de floema es el principal conductor de los alimentos ya preparados.

La translocación en el floema de elementos que provienen de la fotosíntesis aún no se comprende completamente; en general, el agua y los minerales se mueven de forma ascendente en el xilema hacia el lugar de las fotosíntesis, y los elementos que provienen de ésta se mueven desde esta fuente de manufactura a otras partes de la planta.

La ascensión de la savia en las plantas fue sugerida por Dixon (1914) y Renner (1911) en su hipótesis de la cohesión. Opinaban que las fuerzas de absorción del agua y los nutrientes desde el suelo a las raíces de las plantas provenían de las paredes celulares de las hojas. La fuerza de cohesión se basa en la inherente resistencia a la tensión del agua, propiedad que proviene de la cohesión de las moléculas del agua (las fuerzas de atracción entre las moléculas del agua). Esta cohesión del agua en el xilema es debida a las dimensiones capilares de los elementos del xilema. La absorción del agua desde el suelo proviene del potencial negativo de ésta, el cual se transfiere desde la parte inferior de la planta a las células de las raíces y al suelo por la fuerza ascendente de evaporación.

Las hojas de las plantas tienen una cutícula cérea que cubre su superficie externa para evitar una excesiva pérdida de agua o evaporación (fig. 2.6). Pequeños poros (estomas) en la epidermis, particularmente numerosos en la zona baja de ésta, regulan el paso del dióxido de carbono y oxígeno dentro y fuera de las hojas. El vapor de agua también se mueve a través de esta fuerza. Así pues, las pérdidas de agua se regulan principalmente por los estomas. El agua se mueve desde los vasos del xilema a las células del mesofilo en las hojas, evaporándose y distribuyéndose a través de los estomas en la atmósfera. Esta pérdida del agua en la evapotranspiración debe ser reemplazada por un aporte de agua a las raíces de las plantas o, si no, ocurrirá un estrés hídrico, el cual, si permanece, llegará a causar la muerte de la planta. En el proceso de absorción del agua, los minerales son transportados hasta las células que contienen clorofila (parénquima en empalizada, mesófilo esponjoso y células del haz conductor que están presentes), donde son utilizados en la elaboración de alimentos por medio del proceso fotosintético.

2.5. Nutrición de las plantas

Como hemos mencionado en el capítulo 1, los cultivos hidropónicos se han desarrollado a través de los estudios de los constituyentes de las plantas, los cuales han per-

de fertilizantes en el suelo, sin
ación de la estructura del suelo
ntas este abundante suministro
s, sino de la forma de suminis-

de los nutrientes

ve principalmente hacia arriba
na está compuesto de distintos
planta. Este tejido vascular se
puestos actualmente de xilema
los alimentos ya preparados.
ien de la fotosíntesis aún no
minerales se mueven de forma
y los elementos que provienen
ras partes de la planta.

a por Dixon (1914) y Renner fuerzas de absorción del agua y provenían de las paredes celulares, resistencia a la tensión molecular del agua (las fuerzas de absorción del agua en el xilema es el xilema. La absorción del agua el cual se transfiere desde la suelo por la fuerza ascendente

que cubre su superficie externa (fig. 2.6). Pequeños poros (estomas) en la capa baja de ésta, regulan el paso de vapor. El vapor de agua también se pierde a través de los estomas en la hoja. La capa debe ser reemplazada por una si existe un estrés hídrico, el cual, si es prolongado, interrumpe el proceso de absorción del agua, ya que la clorofila (parénquima en las hojas que están presentes), donde se produce el proceso fotosintético.

los hidropónicos se han desas plantas, los cuales han per-

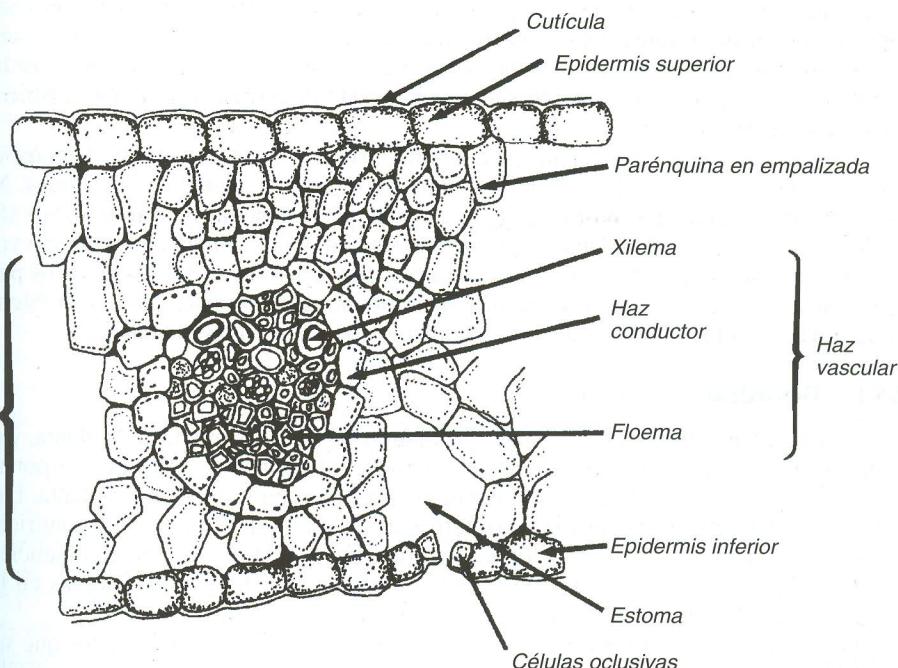


Fig. 2.6. Sección transversal de una hoja mostrando el sistema de movimiento del agua.

mitido descubrir los elementos esenciales de éstos. La nutrición vegetal es, por tanto, la base de la hidroponía. Cualquiera que intente emplear técnicas hidropónicas deberá tener suficientes conocimientos de nutrición vegetal. La nutrición de las plantas por medio de la utilización de soluciones de nutrientes será la llave del éxito en los cultivos hidropónicos. La absorción y transporte de los nutrientes de las plantas en éstas ha sido ya discutido. La siguiente cuestión es cómo mantener las plantas en un estado óptimo de nutrición. Los cultivos hidropónicos nos permiten obtener esto, pero también presentan un riesgo de error, que puede dar como resultado una rápida carencia de nutrientes u otros efectos adversos en las plantas. Es muy importante el disponer de un programa de diagnosis que nos permita conocer el nivel nutricional de la planta en cualquier momento, para así poder evitar los desequilibrios nutricionales, que, como ya se ha dicho, limitaría el crecimiento de estas plantas. El método ideal para efectuar este diagnóstico es el análisis foliar periódico (una o dos veces por semana) y, juntamente con este test, analizar la producción de nutrientes. El nivel de cada uno de los elementos esenciales en los tejidos de las plantas y en la solución de nutrientes deberá, al determinarse, llevar de forma conjunta un ajuste en la solución de nutrientes, si es necesario, para evitar los problemas potenciales de nutrición. Desde luego, un programa de este tipo es muy costoso en tiempo y trabajo, y no es siempre económicamente asequible. Para efectuar dicho análisis es necesario un laboratorio apropiado completamente equipado, con un horno, un analizador de absorción atómica, material de vidrio y otros materiales. El coste para construir y equipar adecuadamente un laboratorio de este tipo

sería muy grande; así pues, esto podría estar solamente justificado por un gran complejo de invernaderos que tuviesen un área mínima de 4 ó 5 acres. A menudo, estos análisis podrían ser hechos por laboratorios comerciales (ver apéndice 2), pero a veces los resultados son lentos, y un daño en las cosechas podría ocurrir antes de que recibiéramos las recomendaciones.

La alternativa para estos análisis de laboratorio podría consistir en un diagnóstico visual de los síntomas de deficiencias en nutrientes que aparecieran en las plantas. No obstante, deberemos hacer énfasis en que, una vez que las plantas muestran dichos síntomas, ya han ocurrido problemas nutricionales en ella, y nos tomará algún tiempo volver a obtener su estado óptimo después de que hemos tomado los pasos necesarios para remediar el problema. Así pues, es importante identificar correctamente el problema nutricional de forma rápida para evitar una pérdida de vigor en las plantas.

2.5.1. Desórdenes nutricionales

Un desorden nutricional es un mal funcionamiento de la fisiología de la planta, y da como resultado un crecimiento anormal, causado bien por una deficiencia o por un exceso de uno o varios elementos minerales. Este desorden lo muestra la planta, bien externa, o internamente por medio de síntomas. El diagnóstico de un desorden nutricional incluye una detallada descripción e identificación del desorden. Una deficiencia o exceso de cada uno de los elementos esenciales da lugar a diferentes síntomas en las plantas, los cuales pueden utilizarse para identificar dicho desorden.

Los elementos se agrupan básicamente en aquellos que son móviles y los que son inmóviles, siempre teniendo diferentes grados de movilidad. Los elementos móviles son aquellos que pueden translocarse de una parte a otra de la planta, moviéndose desde los lugares originales de situación (hojas viejas) a las regiones de crecimiento activo de la planta (hojas jóvenes) cuando ocurre una deficiencia. Esto da como resultado que los primeros síntomas aparezcan en las hojas más viejas de las partes más bajas de las plantas. Los elementos móviles son el magnesio, fósforo, potasio, zinc y nitrógeno. Cuando ocurre una reducción de los elementos inmóviles, no hay ninguna translocación de éstos a las regiones de desarrollo de las plantas, sino que permanecen en las hojas más viejas donde fueron originariamente depositados. Así pues, los síntomas de deficiencia aparecerán, en primer lugar, en las hojas más jóvenes de la parte superior de la planta. Los elementos inmóviles incluyen el calcio, hierro, azufre, boro, cobre y manganeso.

Es importante el detectar rápidamente los desórdenes nutricionales, ya que, conforme éstos se incrementan, los síntomas se van extendiendo más rápidamente sobre la totalidad de la planta, dando como resultado la muerte de la mayoría de los tejidos de ésta. Los síntomas característicos suelen ser muy generales, tales como clorosis (amarilleamiento) y necrosis (pardeamiento) de los tejidos de las plantas. Además, los desórdenes en un elemento a menudo interfieren la capacidad de la planta para acumular otros elementos, y rápidamente aparece un exceso o deficiencia de dos o más elementos esenciales de forma simultánea; esto es particularmente cierto en las deficiencias nutricionales. Cuando simultáneamente ocurre una deficiencia de dos o más elementos, el síndrome que aparece en los síntomas puede hacernos creer que no existe ninguna deficiencia. Bajo estas condiciones es generalmente imposible el determinar visualmente qué elementos son responsables de dichos síntomas.

A menudo, la deficiencia de un elemento permite un antagonismo hacia la absorción de otro elemento. Por ejemplo, la deficiencia del boro puede causar también una

ante justificado por un gran campo de 4 ó 5 acres. A menudo, estos análisis (ver apéndice 2), pero a veces los síntomas ocurrirán antes de que recibiera-

podría consistir en un diagnóstico de lo que aparecerán en las plantas. No todas las plantas muestran dichos síntomas, y nos tomará algún tiempo volviendo los pasos necesarios para diagnosticar correctamente el problema de vigor en las plantas.

de la fisiología de la planta, y dañan por una deficiencia o por un orden lo muestra la planta, bien diagnóstico de un desorden nutricional del desorden. Una deficiencia o daña a diferentes síntomas en las hojas del desorden.

los que son móviles y los que son inmóviles. Los elementos móviles se trasladan de la planta, moviéndose desde las regiones de crecimiento activo de la planta. Esto da como resultado que los elementos se trasladan de las partes más bajas de las plantas a las más altas, tales como potasio, zinc y nitrógeno. Cuando no hay ninguna translocación de estos elementos, los síntomas de deficiencia aparecerán en la parte superior de la planta. Tales elementos incluyen hierro, boro, cobre y manganeso.

deficiencias nutricionales, ya que, con frecuencia, se manifiestan más rápidamente sobre la superficie de la mayoría de los tejidos de las plantas, tales como clorosis (amarillamiento) de las hojas. Además, los desórdenes de la planta para acumular deficiencias de dos o más elementos a la vez. Aunque es difícil en las deficiencias nutricionales de dos o más elementos, es más fácil de determinar visualmente que no existe ninguna deficiencia.

un antagonismo hacia la absorción del boro puede causar también una

deficiencia en calcio. La deficiencia de calcio puede permitir una deficiencia en potasio, y viceversa. No podemos, pues, dejar de recalcar la importancia de una segura y rápida identificación en la aparición de los síntomas. Normalmente es muy positivo el cultivar plantas indicadoras entre las cosechas regulares. La susceptibilidad de las diferentes especies de plantas a los diversos desórdenes nutricionales varía de gran manera; si una cosecha de tomates está siendo cultivada, el plantar algunos pimientos, lechugas e incluso una o dos malas hierbas, si se conocen que son muy sensibles a los desórdenes nutricionales, nos puede permitir el detectar rápidamente algunos síntomas. Los pepinos son muy sensibles a las deficiencias de boro y calcio; si sucede una de estas deficiencias, los pepinos nos indicarán los síntomas desde unos días hasta una semana antes de que aparezcan en los tomates. Este aviso hará capaz al cultivador de ajustar su solución de nutrientes para prevenir la deficiencia de la cosecha de tomates. Además, se deberá tener en cuenta que las plantas más débiles de una especie muestran antes los síntomas que las más vigorosas. Cualquier táctica que conozcamos deberá ser empleada para evitar los desórdenes nutricionales en las cosechas principales, puesto que, una vez que los síntomas aparecen en dicha cosecha, es inevitable alguna reducción de ésta.

Una vez que un desorden nutricional ha sido identificado, deberemos tomar los pasos precisos para remediarlo; en los cultivos hidropónicos, el primer paso es cambiar la solución de nutrientes. Esto deberá ser hecho tan pronto como sospechemos que ocurre un desorden nutricional, e incluso antes de identificar éste. Si el desorden ha sido diagnosticado como una deficiencia, se podrá aplicar un tratamiento foliar para obtener una respuesta rápida; no obstante, deberá tenerse mucho cuidado de no usar una concentración tan elevada que nos pueda quemar las plantas. Lo mejor será utilizar el tratamiento foliar recomendado en unas pocas plantas, y entonces observar los resultados durante varios días antes de tratar la cosecha completa. La formulación de nutrientes, probablemente, deberá ser ajustada (ver capítulo 3) para evitar el desorden. Si existe una deficiencia en la nutrición, el nivel de este nutriente del que existe deficiencia deberá incrementarse por encima del nivel normal (hasta un 25 ó 30 por 100). Cuando la deficiencia desaparezca en la planta, el incremento del nutriente identificado deberá bajarse cerca de un 10 a 15 por 100 del nivel en el cual ocurrió esta deficiencia. Según la severidad del desorden, así como de las condiciones de cada uno de los elementos, las plantas pueden necesitar de siete a diez días antes de que aparezca una respuesta favorable al tratamiento efectuado.

Si tiene lugar una toxicidad, el medio de cultivo deberá ser lavado con gran cantidad de agua limpia para reducir los niveles residuales en dicho medio. Este lavado puede ser hecho a lo largo de una semana a diez días, dependiendo de la severidad del desorden. No obstante, las deficiencias nutricionales son mucho más comunes que las toxicidades en los cultivos hidropónicos. Por esta razón, las deficiencias nutricionales serán tratadas con más énfasis en los siguientes apartados sobre sintomatología.

2.5.2. Sintomatología

Uno de los primeros pasos para identificar un desorden nutricional es describir el síntoma con términos seguros y claros. La tabla 2.3 nos resume los términos comúnmente usados en la sintomatología. Cuando observemos un desorden, se deberá determinar qué parte de la planta u órgano está afectado. ¿Ocurre éste en las hojas inferiores más viejas o en las superiores más jóvenes? ¿Están los síntomas en el tallo, fruto, flores o en cualquier otro punto de desarrollo de la planta? ¿Cuál es la apariencia de la totalidad

dad de la planta? ¿Está enanizada, deformada o con demasiadas ramas? ¿Cuál es la naturaleza del daño? ¿Está el tejido clorótico (amarillo), necrótico (pardo) o deformado? Así pues, se describirá la apariencia de su coloración y la situación de estas clorosis, necrosis o deformación usando los términos dados en la tabla 2.3.

TABLA 2.3
Terminología usada en la descripción de los síntomas de las plantas

Término-descripción

Localizado: Síntomas limitados a un área de la planta u hoja.

Generalizado: Síntomas no limitados a un área, sino, normalmente, extendidos sobre la totalidad de la planta o de la hoja.

Seca (quemado): Necrosis-acorizado, seco, apariencia de papel.

Marginal: Clorosis o necrosis sobre los bordes de las hojas inicialmente; frecuentemente, se va extendiendo hacia el interior conforme progresan los síntomas.

Clorosis entre los nervios: Clorosis (amarilleamiento) entre los nervios de las hojas.

Manchado: Superficie moteada de forma irregular, aparece un manchado que de forma distinta tiene zonas claras y oscuras; a menudo están asociadas dichas manchas con enfermedades viróticas.

Moteado: Zona descolorida con manchas que se distinguen perfectamente del tejido normal que está junto a ellas.

Coloración del envés de las hojas: A menudo aparece una coloración particular, bien sobre toda la superficie, o bien sobre parte de ella en la zona del envés; por ejemplo, la deficiencia del fósforo da lugar en el envés a una coloración púrpura de las hojas.

Ahuecado: Los bordes de las hojas, o bien su extremo, pueden doblarse hacia arriba o hacia abajo. Por ejemplo, la deficiencia en cobre da lugar a que los márgenes de las hojas se rizan en forma de tubo; la deficiencia en potasio origina un rizado de los márgenes de las hojas hacia abajo.

Retícula: La mayoría de las nerviaturas más pequeñas de las hojas permanecen verdes, mientras que la zona entre dichas nerviaturas amarillea, deficiencia de manganeso.

Fragilidad de los tejidos: Las hojas, peciolos, tallos, pueden perder su flexibilidad, rompiéndose fácilmente cuando se tocan, deficiencia de boro o calcio.

Tejido blando: Hojas muy blandas, que se dañan fácilmente, exceso de nitrógeno.

Marchitamiento: Puede ocurrir, bien en las hojas, bien en los puntos de desarrollo, que mueren rápidamente y se secan, deficiencia de boro o calcio.

Achaparrado: Plantas más cortas de lo normal.

Huso: El crecimiento del tallo y del pecíolo de las hojas es muy fino y en forma suculenta.

Después de que hayamos observado los síntomas y que hayan sido descritos, deberá determinarse si el desorden de la planta puede ser causado por algún otro motivo que no sea el de un mal balance nutricional. Deberá comprobarse la lista que se da a continuación de otros posibles desórdenes: daños por insectos, enfermedades de parásitos, daños por pesticidas, daños por polución, exceso o falta de agua, daños motivados por la luz y por la temperatura. Los daños por pesticidas pueden producirse cuando se efectúa un aporte mayor que el recomendado en las dosis que se aplican a las plantas, produciendo quemaduras. También, el uso de herbicidas, tales como el 2,4 D, cerca de un invernadero puede causar deformaciones en las hojas de las plantas muy parecidas a

demasiadas ramas? ¿Cuál es la (lo), necrótico (pardo) o deformación y la situación de estas clorofitas en la tabla 2.3.

síntomas de las plantas

te, extendidos sobre la totalidad de la

almente; frecuentemente, se va exten-

sivos de las hojas.

chado que de forma distinta tiene zonas enfermidades viróticas.

amente del tejido normal que está junto

on particular, bien sobre toda la superficie la deficiencia del fósforo da lugar en el

oblarlase hacia arriba o hacia abajo. Por las hojas se rizan en forma de tubo; la hojas hacia abajo.

as permanecen verdes, mientras que la rizo.

der su flexibilidad, rompiéndose fácil-

de nitrógeno.

tos de desarrollo, que mueren rápidamente

y en forma suculenta.

as y que hayan sido descritos, o causado por algún otro motivo o comprobarse la lista que se da a sectos, enfermedades de parásitos, falta de agua, daños motivados as pueden producirse cuando se sis que se aplican a las plantas, tales como el 2,4 D, cerca de s de las plantas muy parecidas a

los síntomas del virus del mosaico del tabaco (TMV). Los daños por polución pueden causar quemaduras o manchas en el tejido de las hojas con un efecto de picado en ellas (picaduras producidas en los puntos cloróticos). El estrés hídrico, bien por falta, bien por exceso de agua, puede causar la podredumbre (falta de turgencia) de las hojas. Un exceso de luz del sol o de temperatura puede quemar y secar el tejido de las hojas, particularmente en los márgenes de ellas.

Una vez que los factores arriba indicados han sido comprobados y eliminados como causa potencial, puede sospecharse que existe un desorden nutricional. Normalmente, en los cultivos hidropónicos, los desórdenes nutricionales se muestran a la vez en todas las plantas; no obstante, a veces, los desórdenes por falta de nutrición pueden empezar en algunas plantas y progresar en las más cercanas. El paso siguiente será identificar el desorden nutricional por medio del uso de una «llave» (tabla 2.4). Los síntomas por deficiencia y toxicidad de todos los elementos esenciales se dan en la tabla 2.5. Estas descripciones pueden ser usadas en conjunto con la «llave» para ayudar en la identificación del desorden o desórdenes del nutriente. Estas dos tablas describen los síntomas que normalmente podemos esperar que aparezcan en la mayoría de las plantas. Como ya hemos indicado, las diferentes plantas pueden expresar los diversos síntomas con mayor o menor grado, según su especie. En la tabla 2.6 se incluye como complemento de la 2.5 una completa información sobre los síntomas específicos y sus remedios en los tomates y pepinos.

TABLA 2.4
Llave de los síntomas de las deficiencias minerales

	Síntomas	Elemento con deficiencia
A. Hojas viejas o inferiores afectadas.		
B. Clorosis general y/o secado de las hojas inferiores, crecimiento retardado.		
C. La clorosis avanza de verde pálido a amarillo, desde las hojas viejas hasta el nuevo crecimiento. El crecimiento es restringido y débil, pérdida de hojas viejas		Nitrógeno
CC. Las hojas permanecen de color verde oscuro, crecimiento restringido, coloración púrpura característica del envés de las hojas. Las hojas inferiores se caen. Crecimiento de las raíces restringido. Cuajado del fruto retrasado		Fósforo
BB. Moteado o clorosis localizada con o sin manchas muertas, sin secado de las hojas inferiores.		
C. Clorosis internervial, efecto moteado con nervios verdes. Los márgenes se rizan hacia arriba, manchas necróticas, tallos delgados		Magnesio
CC. Hojas moteadas o cloróticas con manchas de tejido muerto.		
D. Pequeñas manchas muertas en las puntas y entre los nervios. Márgenes rizados hacia abajo con manchas marrones. El crecimiento es restringido, tallos delgados. Raíces pobremente desarrolladas		Potasio
DD. Manchas generalizadas, ensanchándose rápidamente hasta incluir a los nervios, hojas gruesas, tallos con entrenudos cortos. Hojas jóvenes pequeñas, clorosis internervial. moteado, rizado hacia abajo		Zinc
E. Moteado de hojas viejas con nervios que permanecen verde pálido. Los márgenes de las hojas se hacen necróticos, pudiéndose rizar hacia arriba. Manchas necróticas de las puntas y márgenes de las hojas. Los síntomas se extienden a las hojas jóvenes cuando avanza la deficiencia.....		Molibdeno

TABLA 2.4. (Continuación)
Llave de los síntomas de las deficiencias minerales

<i>Síntomas</i>	<i>Elemento con deficiencia</i>
AA. Los síntomas aparecen primero en las hojas jóvenes - crecimiento terminal. B. Yemas terminales deformadas, hojas jóvenes cloróticas en las puntas, con manchas necróticas que se extienden por los márgenes de las hojas que mueren. C. Las yemas terminales no presentan tejidos frágiles, hojas jóvenes cloróticas, las hojas viejas permanecen verdes, tallos gruesos y leñosos, yemas terminales necróticas que mueren, podredumbre apical del fruto	Calcio
CC. Yemas terminales -hojas y peciolos- de color verde pálido a amarillo, tejido frágil, con frecuencia deformado o torcido. Rosetado del crecimiento terminal debido al acortamiento de los entrenudos. La yema terminal muere y se puede formar un nuevo crecimiento en las axilas inferiores de las hojas, pero estos brotes chupones (especialmente en tomate) muestran síntomas similares de clorosis, necrosis, ennegrecimiento y fragilidad. Ennegrecimiento interno, maduración con manchas del tomate	Boro
BB. Yemas terminales vivas, no deformadas, marchitamiento o clorosis con o sin manchas muertas, nervios de color verde pálido u oscuro. C. Hojas jóvenes marchitas, clorosis, necrosis, crecimiento retardado, yemas terminales inclinadas.....	Cobre
CC. Hojas jóvenes no marchitas, clorosis con o sin necrosis y manchas muertas. D. Clorosis internervial, los nervios permanecen verdes produciendo un efecto de reticulado. Las superficies cloróticas se vuelven marrones para formar después manchas necróticas de tejido muerto	Manganeso
DD. Sin manchas internerviales muertas, la clorosis de los tejidos puede aparecer o no en los nervios. E. Las hojas uniformemente de color verde pálido se vuelven amarillas, nervios no verdes, crecimiento pobre y débil, tallos duros y leñosos	Azufre
EE. El tejido entre los nervios se vuelve amarillo, nervios verdes, eventualmente los nervios se hacen cloróticos. El tejido internervial amarillo se vuelve blanco, pero sin necrosis. Tallos delgados y cortos. Las flores abortan y se caen, los racimos de flores del tomate son pequeños y con tallos finos	Hierro

2.5.3. Utilización de una llave

La llave que hemos presentado es una tabla dicotoma. Deberá tomarse una decisión en cada uno de los caminos alternativos y, finalmente, encontraremos una sola explicación. La llave para un desorden nutricional está basada en los síntomas observados en la planta, de aquí la importancia de estar muy seguros en la descripción de dicho síntoma. La llave (tabla 2.4) nos servirá en determinadas deficiencias minerales, pero no en toxicidades.

La primera decisión que debemos tomar será con relación a los efectos en las hojas más viejas (A) frente a los efectos en las hojas más jóvenes y superiores (AA). Una vez que esta elección ha sido hecha, continúa otra serie de elecciones. El siguiente paso es (B) frente a (BB) bajo la previa elección de (A) o (AA). Entonces (C) frente a (CC), (D)

TABLA 2.5

Elemento con deficiencia	Síntomas de deficiencia	Síntomas de toxicidad
Calcio	Parte terminal del fruto pálido a amarillo, tejido o del crecimiento termina- l muere y se inferiores de las hojas, ate) muestran síntomas fragilidad. Ennegreci- to o clorosis con o sin	Síntomas de deficiencia: Se reduce el crecimiento y las plantas, generalmente se vuelven amarillas (cloróticas) a causa de la pérdida de clorofila especialmente las hojas más viejas. Las hojas más jóvenes permanecen verdes más tiempo que el indicado para las más viejas. El tallo, los pecíolos y las superficies de las hojas del maíz y del tomate pueden volverse púrpuras. Síntomas de toxicidad: Las plantas, normalmente, toman un color verde oscuro, con follaje abundante pero a menudo con un sistema muy reducido de raíces. Las patatas forman solamente pequeños tubérculos y se les retarda la floración y producción de semillas.
Boro
Cobre
Manganoso
Azufre
Hierro

na. Deberá tomarse una decisión encontraremos una sola explicación en los síntomas observados en la descripción de dicho síntoma. Fijas minerales, pero no en toxicidad.

lación a los efectos en las hojas superiores (AA). Una vez realizadas las elecciones. El siguiente paso es Entonces (C) frente a (CC), (D)

TABLA 2.5. (Continuación)
Síntomas de deficiencia y toxicidad en los elementos esenciales

8. Cloro

Síntomas de deficiencia: Hojas marchitas que posteriormente se vuelven cloróticas y necróticas; algunas veces aparece un color bronceado. El desarrollo de la raíz es pobre y ésta se engruesa cerca de sus extremos.

Síntomas de toxicidad: Quemado de los bordes y extremos de las hojas. Bronceado, amarillo y algunas veces clorosis de las hojas, que a su vez pueden dividirse. Se reduce el tamaño de las hojas y el desarrollo general es muy bajo.

9. Manganese

Síntomas de deficiencia: Los síntomas iniciales son a menudo una clorosis de la zona entre las nerviaturas de las hojas, tanto jóvenes como viejas, según la especie. Con posterioridad pueden aparecer lesiones necróticas y caída de las propias hojas. Desorganización del cloroplasto.

Síntomas de toxicidad: Algunas veces aparece clorosis, existiendo una distribución irregular de la clorofila y provocándose una deficiencia en hierro (piña). Reducción en el crecimiento.

10. Boro

Síntomas de deficiencia: Los síntomas varían según las especies. A menudo suelen morir los tallos y la zona meristemática apical de las raíces. Los vértices de las raíces a menudo se vuelven descoloridos y se hinchan. Los tejidos internos suelen desintegrarse (o decolorarse) (por ejemplo, «corazón rojo» de la remolacha). Las hojas muestran síntomas variados, incluyendo engrosamiento, brillantez, rizado, marchitez y moteado clorótico.

Síntomas de toxicidad: El amarillo del vértice de las hojas es seguido por una necrosis progresiva de éstas desde la zona basal hasta los márgenes y vértices.

11. Zinc

Síntomas de deficiencia: Reducción de la longitud de los internodos y del tamaño de las hojas. Los bordes de las hojas se distorsionan a menudo. Algunas veces aparece una clorosis entre las nerviaturas.

Síntomas de toxicidad. El exceso de zinc produce comúnmente clorosis férrica en las plantas.

12. Cobre

Síntomas de deficiencia: Esta deficiencia es rara de forma natural. Las hojas más jóvenes se vuelven comúnmente verde oscuro y se enrollan, frecuentemente aparece un moteado necrótico.

Síntomas de toxicidad: Desarrollo reducido seguido por síntomas de clorosis férrica, achaparramiento, se reduce la formación de las ramas, engrosamiento y oscurecimiento anormal de la zona de las raíces.

13. Molibdeno

Síntomas de deficiencia: A menudo se desarrolla una clorosis entre las nerviaturas, primero en las hojas más viejas y después, de forma progresiva, en las más jóvenes (semejante a la deficiencia en nitrógeno). A veces, las hojas se ahuecan y aparecen quemaduras en sus bordes.

Síntomas de toxicidad: Se observan raramente. Las hojas de tomate pueden volverse amarillo brillante; las plantas de coliflor, en su primer estado, pueden aparecer con un color púrpura brillante.

frente (DD), etc. Por ejemplo, usemos la llave para encontrar los siguientes síntomas: Las hojas más jóvenes (superiores) de una planta están cloróticas, las nerviaturas verdes y no se ve ningún moteado de tejido muerto. Las yemas terminales están vivas y no marchitas. Las hojas más viejas (superiores) no muestran síntomas. La zona de desarrollo terminal está ligeramente alargada y existe algún aborto de flores. Como las hojas superiores están afectadas, la primera elección será (AA), la yema terminal está viva;

TABLA 2.6

Elementos móviles (primeros síntomas en las hojas más viejas)

1. NITROGENO:

Tomates	Pepinos
Plantas alargadas.	Crecimiento achaparrado.
Las hojas inferiores, verde amarillento.	Hojas inferiores, verde amarillento.
Casos severos, toda la planta verde pálido.	Casos severos, toda la planta verde pálido.
Nerviatura principal, color púrpura.	Parada del crecimiento de las hojas más jóvenes.
Fruto pequeño.	Frutos pequeños, gruesos, verde pálido, espinosos.

Remedios:

1. Pulverización foliar de 0,25 a 0,5 por 100 de una solución de urea.
 2. Añadir nitrato cálcico o potásico a la solución de nutrientes.

2. FOSFORO:

Tomates
Reducción del crecimiento de los ramos laterales.
Tallos finos.
Casos severos, hojas pequeñas, duras, dobladas
hacia abajo.
Haz, verde azulado.
Envés con nerviáduras, púrpura.
Hojas viejas, amarillas, con zonas púrpuras y mo-
teado de puntos secos, prematura caída de éstas.

Pepinos

Achaparrados.
Casos severos, hojas jóvenes, pequeñas, duras, verdes oscuras.
Hojas viejas y cotiledones, burbujas acuosas en las nerviáduras y la zona internervial.
Las hojas afectadas se decoloran, aparece un punteado que se va volviendo pardo y se desechará arrugándose todo, excepto el peciolo.

Remedio:

1. Añadir fosfato monopotásico a la solución de nutrientes.

3. POTASIO:

Tomates

- Hojas viejas, acorcharamiento de las hojillas, márgenes rizados, clorosis entre las nerviaduras, moteado pequeño y seco.
- Hojas medianas, clorosis entre las nerviaduras con pequeños puntos de secado.
- El desarrollo de la planta se reduce, las hojas permanecen pequeñas.
- Últimos estados de desarrollo, las clorosis y necrosis se extienden sobre grandes superficies de las hojas, así como de la parte superior de la planta, las hojas se secan.
- Frutos cubiertos con manchas, maduran de forma irregular, áreas verduscas.

Pepinos

Hojas viejas, descoloridas, amarillo verdosas en los márgenes, más tarde pardean y se secan. El crecimiento de la planta se para, los internodos se acortan, las hojas permanecen pequeñas. Últimos estados de desarrollo, las clorosis marginales y entre las nerviaciones se extienden al centro de las hojas progresando también a la parte superior de las hojas, los márgenes superiores de las hojas se desecan, se extiende la necrosis, las nerviaciones principales permanecen verdes.

Remedios:

1. Pulverización foliar de sulfato potásico al 2 por 100.
 2. Añadir sulfato potásico a la solución, o bien cloruro potásico, si no está presente en el agua de ésta el cloruro sódico.

TABLA 2.6. (Continuación)
Resumen de las deficiencias minerales en tomate y pepino y su control

Elementos móviles (primeros síntomas en las hojas más viejas)

4. MAGNESIO:

Tomates

Hojas viejas, clorosis marginales que van progresando hacia el centro como una clorosis internervial, aparece un moteado necrótico en las hojas cloróticas.

Nervios pequeños, casi sin color verde.

Efectos severos, muerte de las hojas viejas, toda la planta se vuelve amarilla, se reduce la producción de fruto.

Pepinos

Hojas viejas, clorosis internervial desde los márgenes de las hojas hacia la parte interior, se desarrolla un moteado necrótico.

Nervios secundarios, casi sin color verde.

Efectos severos, los síntomas progresan desde las hojas más viejas a las más jóvenes, la totalidad de la planta amarillea, las hojas más viejas se arrugan y mueren.

Remedios:

1. Pulverización foliar de alto volumen con sulfato de magnesio al 2 por 100, o de bajo volumen con sulfato de magnesio al 10 por 100.
2. Añadir sulfato de magnesio a la solución de nutrientes.

5. ZINC:

Tomates

Hojas viejas y terminales, más pequeñas de lo normal. Pequeñas clorosis, aunque irregular desarrollo de un moteado pardo acorulado, especialmente en los pequeños peciolos de las hojillas y en los nervios o las zonas entre las nerviaturas de éstas. Peciolos rizados hacia abajo, hojas completamente enrolladas.

Efectos severos, necrosis rápida, marchitez de la totalidad del follaje.

Pepinos

Hojas viejas, moteado entre las nerviaturas; los síntomas progresan desde las hojas más viejas a las más jóvenes; no aparece ninguna necrosis.

Internodos en el extremo de la planta, paran su crecimiento; al producir un acercamiento de las hojas superiores dan una apariencia de arbusto.

Remedios:

1. Pulverización foliar con una solución de sulfato de zinc del 0,1 al 0,5 por 100.
2. Añadir sulfato de zinc a la solución de nutrientes.

Elementos inmóviles (primeros síntomas en hojas jóvenes)

1. CALCIO:

Tomates

Hojas superiores, amarillo de los bordes; el envés se vuelve pardo oscuro, especialmente en los bordes; las hojas en formación permanecen finas, deformes y sus bordes se curvan hacia arriba.

Desarrollo en estados posteriores, los ápices y bordes se blanquean y los peciolos se rizan y mueren.

Mueren las yemas vegetativas.

Hojas viejas, se forman finalmente puntos cloróticos y necróticos.

Fruto, podredumbre de la yema floral (parecido a un declaimiento en las yemas terminales fructíferas).

Pepinos

Hojas superiores, manchas blancas junto a los bordes y entre las nerviaturas, clorosis marginal internervial que progresiva hacia el interior.

Hojas más jóvenes (en la zona de crecimiento) permanecen pequeñas, bordes profundamente divididos rizados hacia arriba, más tarde se arrugan hacia el interior y mueren los puntos vegetativos. Crecimiento se detiene, internodos cortos, especialmente junto al ápice.

Yemas florales abortan, finalmente las plantas van muriendo hacia abajo desde el ápice.

Hojas más viejas, se curvan hacia abajo.

y pepino y su control
TABLA 2.6. (Continuación)
Resumen de las deficiencias minerales en tomate y pepino y su control

hojas más viejas) Elementos inmóviles (primeros síntomas en las hojas más viejas)

Remedios:

1. Pulverización foliar, en los casos agudos, con una solución del 0,75 al 1,0 por 100 de nitrato cálcico. Se puede utilizar también una al 0,4 por 100 de cloruro de calcio.
2. Añadir nitrato cálcico a la solución de nutrientes, o cloruro cálcico si no se quiere incrementar el nivel de nitrógeno, pero se ha de estar seguro de que existe poco o nada de cloruro sódico en la solución si vamos a utilizar este último.

2. AZUFRE:

Tomates

Hojas superiores, rígidas, curvadas hacia abajo eventualmente aparecen puntos necróticos alargados, las hojas amarillean. Tallos, nervios, pecíolos, púrpuras viejas, hojas nuevas, necróticas en los vértices y bordes, pequeños puntos púrpuras entre los nervios.

Pepinos

Hojas superiores, permanecen pequeñas, dobladas hacia abajo, de verde pálido a amarillo, márgenes muy aserrados. El desarrollo de la planta se reduce, hojas viejas, muy pequeñas, amarilleando.

Remedios:

1. Añadir sulfatos a la solución de nutrientes. El sulfato potásico será el más seguro, puesto que las plantas requieren altos niveles de potasio.

NOTA: Las deficiencias en sulfato son muy raras, ya que normalmente se añaden sulfato de potasio, magnesio y otros en las fórmulas normales de las soluciones nutritivas.

3. HIERRO:

Tomates

Hojas terminales, comienza la clorosis en los márgenes y se extiende por toda la hoja, al principio las nervaduras secundarias permanecen verdes dando una apariencia de retícula de nervios verdes sobre un fondo de tejido amarillo, las hojas se vuelven de forma eventual completamente amarillo pálido, no hay necrosis.

Avance, los síntomas empiezan por las hojas terminales y progresan hacia abajo a las hojas más viejas.

Crecimiento se para, tallos alargados, hojas más pequeñas de lo normal. Flores, abortan.

Pepinos

Hojas jóvenes, retícula fina de nervios verdes con tejido internervial amarillo, más tarde la clorosis se extiende a las nervaduras y la totalidad de la hoja se vuelve amarillo limón, pueden aparecer algunas necrosis en los bordes de las hojas.

Avance, de arriba a abajo. Crecimiento, se detiene, tallos alargados. Brotes axilares y frutos, también se vuelven amarillo limón.

Remedios:

1. Pulverización foliar con una solución de quelato férrico (FeEDTA) del 0,02 al 0,05 por 100 cada tres o cuatro días.
2. Añadir quelato férrico a la solución de nutrientes.

CULTIVOS HIDROPONICOS

TABLA 2.6. (Continuación)
Resumen de las deficiencias minerales en tomate y pepino y su control

Elementos inmóviles (primeros síntomas en las hojas más viejas)

4. BORO:

Tomates

Puntos vegetativos, se reduce el desarrollo de los brotes, van palideciendo y acaban por morir. Hojas superiores, clorosis internervial moteado en las hojas más pequeñas se pardean y mueren. Hojas intermedias, amarillo naranja, nervios amarillos o púrpuras. Hojas viejas, verde, amarillas. Brotes laterales, mueren los puntos vegetativos. Peciolas, muy quebradizos, apariencia extraña del tejido vascular.

Pepinos

Apice, en los puntos más jóvenes de crecimiento de las hojas no llegan a abrirse, se rizan y mueren. Brotes axiales, blanquean y mueren. Hojas más viejas, se doblan hacia arriba comenzando por los márgenes, duras, moteado internervial. Yemas terminales, para su desarrollo, tienden a achaparrarse.

Remedios:

1. Aplicar una pulverización foliar tan pronto como se detecte, con una solución de bórax del 0,1 al 0,25 por 100.
2. Añadir bórax a la solución de nutrientes.

5. COBRE:

Tomates

Hojas medias y jóvenes, márgenes rizados como un tubo, no hay clorosis ni necrosis, color verde azulado, hojas terminales pequeñas rígidas y dobladas. Peciolas, doblados hacia abajo, las hojas más pequeñas opuestas se rizan en forma de tubo unas con otras. Tallo, paran el desarrollo. Avance, en los últimos estados aparece un moteado junto, y en las nervaduras.

Pepinos

Hojas jóvenes, permanecen pequeñas. Desarrollo de la planta, se reduce, se acortan los internodos, aspecto achaparrado. Hojas viejas, manchas de clorosis entre las nervaduras. Avance, las hojas se vuelven de verde oscuro a tono bronce, necrosis, toda la hoja blanquea, la clorosis se extiende de las hojas más jóvenes a las más viejas.

Remedios:

1. Pulverización foliar con una solución de sulfato de cobre del 0,1 al 0,2 por 100, a la cual se ha añadido un 0,5 por 100 de caliza hidratada.
2. Añadir sulfato de cobre a la solución de nutrientes.

6. MANGANESO:

Tomates

Hojas medias y viejas, se vuelven pálidas, más tarde, también las jóvenes; es característico un reticulado de nervaduras verdes, así como sus bordes y el resto de la zona internervial de color amarillo. Más tarde aparecen puntos necróticos en zonas decoloradas, la clorosis es menos severa que con la carencia de hierro, y también se observa que la clorosis no es sólo en las hojas jóvenes, como es el caso del hierro.

Pepinos

Hojas jóvenes o terminales, moteado amarillento internervial, al principio los nervios permanecen verdes pareciendo una malla verde sobre fondo amarillo. Avance más tarde, con excepción de los nervios principales, toda la hoja se vuelve amarilla, con puntos profundos necróticos entre éstos. Brotes, cortos, y las hojas nuevas permanecen muy pequeñas. Hojas viejas, se vuelven pálidas y son las primeras en morir.

TABLA 2.6. (Continuación)
Resumen de las deficiencias minerales en tomate y pepino y su control

Elementos inmóviles (primeros síntomas en las hojas más viejas)

Remedios:

1. Pulverización foliar al 0,1 por 100 con alto volumen o 1 por 100 con bajo volumen, de una solución de sulfato de manganeso.
2. Añadir sulfato de manganeso en la solución de nutrientes.

7. MOLIBDENO:

Tomates

Todas las hojas, las hojas muy jóvenes presentan zonas de color amarillo-pálido entre nervaduras, los bordes se rizan hacia arriba en forma de tubo, los nervios secundarios no permanecen verdes, las necrosis empiezan en las zonas amarillas y los bordes de las hojas nuevas terminales, para acabar por todas las hojas que se acorchan.

Avance, de las más viejas a las más jóvenes, aunque los cotiledones permanecen verdes durante mucho tiempo.

Pepino

Hojas viejas, se decoloran especialmente entre las nervaduras, más tarde las hojas se vuelven verde pálido, finalmente amarillas y mueren. Avance, desde las hojas más viejas hacia las más jóvenes de la parte superior, las hojas más jóvenes permanecen verdes.

Desarrollo normal, pero las flores son pequeñas.

Remedios:

1. Pulverización foliar con una solución del 0,7 al 0,1 por 100 de una solución de molibdato sódico o amónico.
2. Añadir molibdato amónico o sódico a la solución.

así pues, la elección siguiente será (BB). La siguiente decisión es (C) frente (CC); como existe clorosis, pero no marchitez, la elección correcta será (CC). La alternativa de (D) o (DD) puede hacerse en base a la falta de puntos secos o muertos. La elección propia será la (DD). La elección entre azufre (E) frente al hierro (EE) será un poco difícil. En el caso de azufre, el tejido entre las nerviaturas suele estar ligeramente verde, sin que aparezca el amarillo brillante de la deficiencia de hierro. El aborto de flores y alargamiento del tallo indica también que existen más probabilidades de una deficiencia en hierro que en azufre. Como resultado, la elección final será una deficiencia en hierro.

Referencias

- Arnon, D. I.: «Inorganic micronutrient requirements of higher plants». *Proc. 7th Int. Bot. Cong.* Stockholm, 1950.
- «Growth and function as criteria in determining the essential nature of inorganic nutrients». In *Mineral nutrition of plants*. Ed. E. Truog. Madison: Univ. Wisconsin Press, 313-41, 1951.
- Arnon, D. I., y Stout, P. R.: «The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper». *Plant Physiol.*, 14: 371-75, 1939.
- Buckman, H. O., y Brady, N. C.: *The nature and properties of soils*. 6th ed. New York: Macmillan, 1966.
- Epstein, E.: *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. New York: Wiley, 1972.
- Gauch, H. G.: *Inorganic plant nutrition*. Stroudsburg, Pa.: Dowden, Hutchinson and Ross, 1972.
- Kramer, P. J.: *Plant and soil water relationships: a modern synthesis*. New York: McGraw-Hill, 1969.

CULTIVOS HIDROPONICOS

- Roorda van Eysinga, J. P. N. L., y Smilde, K. W.: *Nutritional disorders in cucumbers and gherkins under glass*. Wageningen: Center for Agric. Publ. and Documentation, 1969.
- *Nutritional disorders in glasshouse lettuce*. Wageningen: Center of Agric. Publ. and Documentation, 1971.
- Salisbury, F. B., y Ross, C.: *Plant physiology*. Belmont, Calif.: Wadsworth, 1969.
- Smilde, K. W., y Roorda van Eysinga, J. P. N. L.: *Nutritional diseases in glasshouse tomatoes*. Wageningen: Center for Agric. Publ. and Documentation, 1968.
- Sprague, H. B.: *Hunger signs in crops: a symposium*. 3rd ed. New York: David McKay, 1964.