

BIBLIOTECA AGROPECUARIA  
DE COLOMBIA

## NUTRICION DE PLANTAS

Jaime Lotero C.\*

Las plantas superiores tienen la habilidad de "fabricar" todos los compuestos orgánicos que necesitan para su normal crecimiento y desarrollo, a partir del agua, sales minerales o nutrientes y del dióxido de carbono que toman del aire, mediante el fenómeno de la fotosíntesis.

Durante el presente siglo mucho se ha progresado en relación con el conocimiento de la nutrición de las plantas, pero aún mucho permanece por hacer. La purificación de medios de cultivo y reactivos, uso de isótopos, cromatografía, etc. han ayudado mucho en el conocimiento de la nutrición de las plantas y de los procesos y reacciones que ocurren dentro de ellas.

### Elementos Esenciales

Los elementos hasta hoy considerados como esenciales para las plantas superiores son el carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu), zinc (Zn), molibdeno (Mo) y cloro (Cl). Los tres primeros elementos son tomados del aire y del agua y los otros del suelo.

Con base principalmente en la cantidad requerida por las plantas, los elementos esenciales se han dividido en elementos mayores o macronutrientes y elementos menores o micronutrientes.

---

\* I.A. Ph.D. Director Nacional del Programa de Pastos y Forrajes del Instituto Colombiano Agropecuario, Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas "Tullo Ospina", Medellín.

Los elementos mayores comprenden el C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S; los elementos menores comprenden el Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo, y Cl.

Probablemente la lista de los elementos esenciales no está completa y en los últimos años se ha sugerido que otros elementos tales como el sodio (Na), silicio (Si), cobalto (Co), vanadio (V) y aluminio (Al) pueden ser esenciales. Existe bastante evidencia para considerar el Na como un elemento esencial, al menos para cierto tipo de plantas, pero hay mucha discrepancia entre diferentes investigadores. Se sabe que en algunas plantas como el brocoli y el pasto pangola, el Na puede reemplazar parcialmente al K; en Inglaterra este elemento se considera esencial para la remolacha azucarera, y en el Japón el Si se considera esencial para el arroz.

Hoy se acepta que para que un elemento sea esencial debe llenar por lo menos tres requisitos: 1) Que la planta no sea capaz de completar su ciclo vegetativo y reproductivo en ausencia del elemento; 2) Que los síntomas de deficiencia solo puedan ser prevenidos o corregidos al suministrar el elemento; y 3) Que el elemento esté involucrado en la nutrición de la planta, desempeñando una ó más funciones específicas y no sea reemplazado totalmente en sus funciones por otro elemento.

### Formas en el Suelo

En general, los elementos esenciales se pueden encontrar en el suelo en cuatro estados o formas:

- 1) Disueltos en la solución del suelo, como por ejemplo los nitratos y los cloruros.
- 2) Adsorbidos en la superficie de los coloides inorgánicos y orgánicos, como las bases intercambiables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{H}^{+}$ ).
- 3) En forma de sales generalmente insolubles, como el fosfato tricálcico ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ) y el sulfato de bario ( $\text{BaSO}_4$ ).

4) Como compuestos orgánicos resultantes de la descomposición de residuos de plantas y animales.

La facilidad de absorción de nutrientes por las plantas, de acuerdo con el estado en que se encuentran, en general sigue el orden de 1 > 2 > 3 > 4. Una vez que los nutrientes son absorbidos por las plantas, entran a formar parte permanente de ellas al combinarse con sustancias orgánicas formadas durante los procesos metabólicos como la fotosíntesis y la respiración.

Cuando las plantas son consumidas por los animales, estos compuestos orgánicos y nutrientes llegan a formar parte del cuerpo del animal y además son esenciales para su crecimiento, mantenimiento y producción de carne, leche ó lana, según el caso.

1. Nitrógeno: Aproximadamente el 97 a 98% del N total del suelo se encuentra en formas orgánicas y 2 a 3% en formas inorgánicas como los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Este último puede encontrarse fijado por las arcillas ó como catión intercambiable.

El N, en forma de compuestos orgánicos complejos, no es "aprovechable" o disponible para las plantas superiores y debe sufrir una serie de transformaciones realizadas por microorganismos heterotróficos y autotróficos, que conducen a la formación de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$  que son las formas más utilizadas por las plantas.

2. Fósforo: Este elemento se encuentra en el suelo en forma de compuestos orgánicos e inorgánicos. Los compuestos orgánicos complejos deben ser mineralizados para que el P pueda ser absorbido por las plantas. En suelos ácidos el P se encuentra principalmente en forma de fosfatos de Fe y Al como la estrengita ( $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y la variscita ( $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). En suelos neutros y alcalinos ó calcáreos, este elemento se encuentra principalmente en forma de fosfatos de Ca (mono, di y tricálcicos) y apatitas; también se pueden encontrar fosfatos de Mg y en algunos casos de Na. En la mayoría de los suelos, gran parte del P se encuentra fijado en la superficie y entre

los latices de las partículas de arcilla.

3. Potasio: Las principales fuentes de este nutriente en los suelos son los feldspatos, como la ortoclasa y microclina; las micas, como la moscovita y biotita, y la illita. Gran parte del elemento se encuentra en forma de catión intercambiable y en algunos casos fijado entre los latices de las partículas de arcilla.

4. Otros Nutrientos: El Ca y Mg se encuentran principalmente como carbonatos, sulfatos, feldspatos, fosfatos, etc. Entre las bases intercambiables son de las más importantes del suelo, bajo condiciones normales. Las principales fuentes de S son la materia orgánica, los sulfatos y los sulfuros. El Fe se encuentra ampliamente distribuido en los suelos, especialmente en forma de óxidos hidratados e hidróxidos. Aparentemente las principales fuentes de Mn para las plantas son los óxidos como el MnO, MnO<sub>2</sub> y Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El Cu también se puede encontrar en forma de óxido. La turmalina y el tetra-borato de Na (bórax) son las principales fuentes de B; también parece que se encuentra en la materia orgánica. Aparentemente el Zn se encuentra en los suelos en forma de óxido y también puede encontrarse en menor cantidad como fosfato. El Mo se puede encontrar en pequeñas cantidades en forma de molibdato de Na. La principal fuente de Cl en el suelo indudablemente la constituyen los cloruros de Na, Ca, Mg, etc. Se cree que parte del Mn, Cu, Zn, Fe y Mo, se pueden encontrar adsorbidos a la superficie de los coloides, como cationes intercambiables.

Absorción de Nutrientes

Las plantas, por medio de las raíces, absorben los elementos esenciales presentes en el suelo. Debido a que en las plantas superiores se han encontrado más de 60 elementos, es de suponer que todos o casi todos los elementos que se encuentran en el medio de las raíces son absorbidos.

No hay muy buena información acerca de la absorción de iones  $\pm$  nutrientes por las plantas. La mayoría de los investigadores dicen que los iones entran a la raíz en solución y que pueden entrar por procesos pasivos como la difusión, al menos hasta cierto punto en la raíz, pero de ahí en adelante hay un proceso activo que requiere el uso de energía proveniente de la respiración. A veces la absorción de iones es dependiente de la absorción del agua y otras veces no, aunque la mayoría de los autores dicen que los iones entran en solución.

Las células son eléctricamente neutras. Por ejemplo, el ión  $K^+$  del  $K_2SO_4$  puede moverse dentro de las células de la raíz no acompañado por iones  $SO_4^{2-}$  desde que cada ión  $K^+$  esté acompañado en su paso por un ión  $OH^-$ . Cada ión  $SO_4^{2-}$  podría entonces aparearse con dos iones  $H^+$  que pueden resultar de la disociación del agua. Similarmenete, los iones  $NO_3^-$  del  $Ca(NO_3)_2$  podrían entrar a la célula acompañados por un ión  $H^+$  originado del agua, y los aniones del agua,  $OH^-$ , apareados con el ión  $Ca^{++}$ . Tal mecanismo permite una absorción más rápida de un ión que de su compañero original y continuamente trae un cambio en la concentración de iones  $H^+$  de la solución en la cual las raíces están sumergidas. Los iones  $H^+$  y  $HCO_3^-$ , del ácido carbónico, los cuales están casi invariablemente presentes en las soluciones, pueden actuar en una manera análoga a los iones  $H^+$  y  $OH^-$  del agua, facilitando la entrada de aniones y cationes dentro de las células de la planta.

Por muchos años se consideró que la entrada de sales minerales a las células periféricas de la raíz ocurría por difusión. Aunque es indudablemente verdadero que cantidades limitadas de sales minerales pasan dentro de algunas clases de células por difusión, en general esto es un mecanismo de absorción de iones de poca importancia comparado con otros. Hoy día se reconoce que hay dos mecanismos más importantes de absorción de sales minerales: 1) El mecanismo de intercambio iónico, y 2) El mecanismo de acumulación de sales.

1. Mecanismo de intercambio iónico: Fundamentalmente este mecanismo consiste en el cambio de aniones o cationes de dentro de las células por iones del mismo signo y carga equivalente en el ambiente de la célula absorbente.

El proceso de intercambio de cationes por el cual los cationes adsorbidos en las superficies de los coloides orgánicos e inorgánicos (arcillas) se intercambian por cationes en la solución del suelo, es ampliamente conocido. Mecanismos similares de intercambio operan entre la raíz y el suelo. Las puntas de la raíz, bajo condiciones favorables, son colosales órganos rápidos de crecimiento, sino también centros de alta actividad metabólica. El dióxido de carbono es continuamente liberado en la respiración. La mayoría de él reacciona con el agua, formando ácido carbónico, una gran parte del cual se escapa al suelo. Alrededor de cada punta de raíz usualmente existe una zona localizada de relativamente alto contenido de ácido carbónico. Iones de  $H^+$  provenientes de este ácido, están adsorbidos en la superficie de las raíces. Presumiblemente tales iones  $H^+$  pueden cambiar lugares con otros cationes presentes en la solución del suelo, algunos de los cuales han sido previamente liberados de las micelas de arcilla por intercambio de cationes. Una posible explicación alternativa es la de que algunos ácidos orgánicos, liberados por las raíces, funcionen en el mecanismo de intercambio en una manera análoga a la del ácido carbónico.

Un intercambio similar de cationes puede también tener lugar directamente entre las raíces y las micelas de arcilla, sin la operación de la solución del suelo como un intermediario. Este proceso es llamado "cambio por contacto". Los cationes no son adsorbidos rigidamente, sino que oscilan dentro de un rango, controlado por las fuerzas atractivas entre ellos y la superficie adsorbente. Las órbitas de oscilación de los iones adsorbidos en las superficies de una raíz, la cual está en contacto íntimo con una micela de arcilla, pueden extenderse sobre las órbitas de los iones adsorbidos en la micela. Cuando esto ocurre los iones adsorbidos pueden cambiar lugares. Un  $H^+$  adsorbido en la superficie de la raíz puede, por ejemplo, moverse dentro de la órbita ocupada por un ión  $K^+$  adsorbido en una partícula de arcilla, y el ión  $K^+$  reemplaza el ión  $H^+$  en la superficie de la raíz.

Cualquier catión adsorbido en la superficie de la raíz, ya sea adquirido por intercambio con la solución del suelo o directamente de un coluido, puede moverse a través de la pared celular (probablemente por difusión ó por intercambios posteriores) con otros iones  $H^+$ . Una vez en contacto con el protoplasma

el movimiento posterior del ión en la célula puede ocurrir por el mecanismo de acumulación.

Varios resultados experimentales indican que es muy probable que el primer paso en la absorción de cationes por las células periferales de las raíces es un proceso de intercambio iónico. Esto es también posiblemente verdadero en cuanto a los aniones.

2. Acumulación de sales por las células de la raíz: Este proceso es llamado así porque resulta en la acumulación de concentraciones de sales en las células de las raíces de las plantas las cuales son más grandes, frecuentemente, que la concentración de las mismas sales en el medio que las rodea. Es probablemente el más importante mecanismo simple de absorción de sales.

Un aumento en la concentración de iones libres en la savia de la célula a un valor muchas veces más grande que su concentración en la solución externa, puede obtenerse solamente como resultado del movimiento de estos iones contra un gradiente de concentración, por ejemplo, de una región de menor concentración a una región de más alta concentración por cada ión que se acumula.

El fenómeno de acumulación de sales ocurre especialmente en las células que han retenido la capacidad para la división y el crecimiento. Las células meristemáticas y las células en las etapas iniciales de alargamiento son particularmente activas en la absorción de iones. A medida que las células pierden su capacidad para crecer ellas también pierden su capacidad para la acumulación de sales minerales. Es probable que todas ó la mayoría de las células de la planta sean capaces de acumular sales minerales cuando están en una condición meristemática, pero esa capacidad disminuye a medida que las células maduran.

El metabolismo de las células meristemáticas es muy activo.

Se ha propuesto una hipótesis para explicar la acumulación de iones en las vacuolas de las células; según esta hipótesis, hay una substancia "transportadora" X en el citoplasma de la célula que forma un complejo con el ión, lo transporta a la superficie de la membrana vacuolar y el ión pasa a través de ésta, mediante el uso de energía, proveniente probablemente de la respiración.

Parece que tanto en las células como en las raíces existe lo que se denomina "espacio libre" y "espacio interior". Como su nombre lo indica, en el "espacio libre" los iones se pueden mover libremente por procesos pasivos como la difusión, pero para pasar al "espacio interior" necesitan la intervención de la energía proveniente probablemente de la respiración y la acción de los "transportadores".

Para que un elemento esencial entre del suelo al xilema, tiene que atravesar una serie de tejidos como la epidermis, la corteza, la endodermis y el periciclo. Parece que en la endodermis se encuentra la barrera al paso libre de los elementos y es el límite entre el "espacio libre" y el "espacio interior". Para cruzar la barrera se necesita una fuente de energía, que como antes se mencionó probablemente proviene de la respiración. Cuando los elementos esenciales se encuentran en el xilema, son transportados en solución a la parte aérea de la planta, en donde son utilizados en los procesos metabólicos de la planta. Algunos autores dicen que parte de los elementos pueden ser transportados por el floema.

### Antagonismo e Interacciones de Iones

El efecto de un ión o sal al neutralizar o aún invertir el efecto usual de otro ión o sal es llamado antagonismo. Algún grado de antagonismo existe entre casi cualquier par de sales o iones. El NaCl, por ejemplo, causa un aumento en la permeabilidad de las membranas del citoplasma a varios solutos, bajo ciertas condiciones. Si el CaCl<sub>2</sub> es introducido dentro del medio, este efecto de aumento es disminuido. Se dice que los iones Ca<sup>++</sup> han actuado como antagonistas del aumento de

permeabilidad producido por los iones  $\text{Na}^+$ . Efectos antagonísticos similares son evidentes en fenómenos de toxicidad. Por ejemplo, en un experimento se encontró que las raíces de lupino podían extenderse 3,5 mm. por día, en una solución de  $\text{CuCl}_2$  0,000015 M, pero si se agregaba suficiente  $\text{CaCl}_2$  0,0070 M las raíces se extendían a una rata de 10,5 mm. por día. El antagonismo entre los iones  $\text{Cu}^{++}$  y  $\text{Ca}^{++}$  fue suficiente para reducir grandemente la toxicidad de los iones  $\text{Cu}^{++}$ .

En el caso de elementos como el K, Ca y Mg no es raro comprobar que la disminución de uno de ellos se ha compensado, en términos generales, con un aumento en la absorción de los demás. No siempre ocurre esto, pues muchos tipos de plantas absorben el K con mayor facilidad que el Ca o el Mg, en cambio en algunas leguminosas la absorción del Ca se realiza más fácilmente que la del K.

En la Tabla 1 se puede apreciar el efecto antagonístico del K, Ca y Mg. Se observa que al aumentarse la aplicación de cualquiera de los elementos, se disminuye el contenido de los otros dos en la planta. Si se aplica un fertilizante potásico al suelo, se hace ascender su concentración en las hojas y disminuye la de Ca y Mg.

TABLE 1. Efecto del aumento de un catión en el suelo sobre la composición de la planta. Miliequivalentes de catión por 100 gramos de materia seca\*.

Tratamiento	Pasto Azul				Trébol Dulce			
	Ca	Mg	K	Total	Ca	Mg	K	Total
Basal	35	42	54	131	102	62	47	211
" +Ca	41	37	53	131	124	57	45	226
" +Mg	30	63	50	143	100	97	42	239
" +K	23	24	95	142	72	38	102	212

\* Russell, E.W. 1961.

Si la planta está creciendo en un suelo relativamente bajo en  $K_2O$  asimilable, de tal manera que la concentración de  $K_2O$  en las hojas está cerca del mínimo requerido para un desarrollo normal, la adición del fertilizante potásico puede hacer que la concentración de  $K_2O$  esté por debajo del mínimo, induciendo así una deficiencia de este elemento.

Existen muchos casos de antagonismos e interacciones de iones que no han sido estudiados con suficiente intensidad y que interfieren con la nutrición adecuada de las plantas, pudiendo producir un forraje de calidad no deseada, ya sea porque determinados elementos pueden alcanzar niveles tóxicos a los animales o deficiencias que resultan en una baja producción animal; a continuación se pueden citar algunos ejemplos.

Se sabe que una abundancia de Fe asimilable puede provocar deficiencia de Mn y el exceso de Mn causa deficiencia de Fe. La asimilación del Ca, por lo menos en cierto tipo de plantas, se aumenta por la presencia del B. El P aumenta la absorción del Mo y el  $SO_4^{2-}$  la disminuye. En algunas plantas se ha observado que la aplicación de P provoca deficiencia de Zn y disminuye la toxicidad causada por el Al; este último puede causar deficiencia de P al inactivarlo en el suelo y dentro de la planta. Se sabe que el As es un inhibidor competitivo del P. El  $SO_4^{2-}$  disminuye la toxicidad del Se en el trigo. Se ha encontrado que el Mo acentúa la clorosis causada por deficiencia de Fe en el tomate y el Fe puede acentuar la deficiencia de Mo. En citrus la aplicación de Ca, Mn y Zn pueden causar deficiencia de Fe. Se ha observado que una concentración de Mn de 1,000 ppa. en las hojas de la cebada, es normalmente tóxica, pero este nivel de Mn llega a ser inocuo cuando la planta absorbe Si junto con Mn; se ha sugerido que el Mn forma complejos con el Si y es inactivado.

#### Funciones Generales de los Nutrientes en las Plantas

Una distinción clara debe establecerse entre la absorción de una sal y la subsecuente utilización de ella o sus iones componentes. El término utilización es empleado en un sentido vago para la incorporación de elementos minerales en los

constituyentes relativamente permanentes, de las paredes de la célula y del protoplasma ó para su participación en reacciones metabólicas fundamentales. La absorción de iones no significa necesariamente que serán utilizados. Muchos de los iones absorbidos por una planta permanecen por períodos más ó menos indefinidos en estado iónico en las células. Muchos de estos iones son incorporados en la estructura de moléculas complejas sintetizadas por la planta tales como proteínas, fosfolípidos, etc. Puede haber un lapso considerable entre la absorción de un ión y su utilización y algunos de los iones absorbidos pueden permanecer indefinidamente como tales dentro de las células. Además, algunos elementos minerales pueden ser utilizados en un órgano de la planta y subsecuentemente liberados por desintegración de los constituyentes de la célula, transportados a otros órganos de la planta y allí reutilizados.

1. Constituyentes del protoplasma y la pared celular: Ciertos elementos esenciales son parte de constituyentes permanentes de moléculas que son partes integrales del protoplasma y las paredes de las células. Como ejemplos se pueden citar el S y el N en las proteínas; el P en nucleoproteínas y fosfatos de adenosina; el Mg en la clorofila, y el Ca en el pectato de calcio. Una proporción considerable de elementos minerales en las plantas, sin embargo, actúan en alguna otra forma diferente a la de constituyentes de partes esenciales de las células.
2. Efecto en la presión osmótica: Una porción de la presión osmótica de la savia de las células de la planta resulta de las sales minerales disueltas que contiene. En la mayoría de las células de la planta la concentración absoluta de sales minerales en la savia es tan baja que solamente una pequeña porción de la presión osmótica puede ser atribuida a su presencia.
3. Efecto en la acidez y en la acción "amortiguadora" (Buffer)

Las sales minerales absorbidas del suelo frecuentemente tienen una influencia en el pH de la savia de la célula y otras partes de la célula, aún cuando usualmente son los ácidos orgáni-

cos y otros compuestos resultantes de las actividades metabólicas de las plantas los que ordinariamente ejercen una influencia predominante en los valores del pH dentro de las células. El pH de la savia de la vacuola generalmente cae en el rango de 5,5 a 6,5 y el del citoplasma entre 6,5 y 7,0 aunque hay muchas excepciones; estos sistemas son altamente "amortiguados". Los cationes componentes de los sistemas "buffer" de la planta diferentes al  $H^+$ , son principalmente K, Ca, Mg, y Na.

#### 4. Efecto en la permeabilidad de las membranas del citoplasma.

La permeabilidad de las membranas del citoplasma es afectada por los cationes y aniones con los cuales ellas están en contacto. El Ca y otros cationes di y trivalentes usualmente tienen un efecto decreciente en la permeabilidad de las membranas citoplásmicas de muchas células, por lo menos inicialmente, mientras que los iones univalentes comúnmente aumentan la permeabilidad de las membranas.

5. Efectos tóxicos: Muchos elementos minerales en su forma iónica tienen un efecto tóxico muy marcado en el protoplasma, que con frecuencia resulta en su desorganización y muerte, aún cuando se presentan en concentraciones muy bajas. Entre los elementos tóxicos para las plantas, el menos bajo ciertas condiciones, están el Al, As, B, Cu, Fb, Hg, Mo, Ni, Se, Ag y Zn. Se incluyen en esta lista ciertos de los elementos esenciales en el metabolismo de las plantas, los cuales ejercen efectos tóxicos cuando se presentan dentro de los tejidos en concentraciones que excedan los requerimientos fisiológicos.

6. Efectos catalíticos: Ciertos efectos de los minerales en las plantas resultan de su participación en una forma u otra en sistemas catalíticos. Se sabe que el Fe, Cu y Zn, hacen parte de grupos prostéticos de ciertas enzimas lo mismo que otros elementos minerales. El Fe es también un constituyente de los citocromos. Otros elementos minerales, tales como el Mg y el Mn actúan como activadores en uno o más sistemas enzimáticos.

## Funciones Específicas de Los Nutrientes en las Plantas

Aquí se enunciarán algunas funciones específicas de los elementos esenciales; otros elementos, los cuales son aparentemente necesarios solamente para ciertas especies, pero no considerados como esenciales para las plantas en general, no se discutirán.

1. Nitrógeno: Las funciones del N en la planta son muchas.

Esencialmente todos los procesos de la vida dependen directamente de él. El N ocurre principalmente como proteínas y nucleoproteínas y en pequeñas cantidades como ácidos nucleicos, aminas, aminoácidos, azúcares, aminados, polipéptidos y muchos compuestos misceláneos.

Los compuestos nitrogenados más activos se presentan principalmente en el protoplasma y en el núcleo de las células. Entre ellos están las enzimas que regulan los procesos biológicos; ellas son proteínas.

Un suministro abundante de N es requerido en cada célula de la planta para una tasa adecuada de reproducción, crecimiento y respiración. Los pigmentos clorofílicos de las hojas verdes, los cuales capacitan a la planta para usar la energía del sol para formar azúcares, almidones y grasas, son compuestos de N; de modo que este elemento se requiere para la síntesis de los carbohidratos y grasas.

El N se encuentra principalmente en las partes jóvenes y tiernas de los tejidos de las plantas como las extremidades de los tallos, yemas y hojas que se están formando. Este N presente principalmente como proteínas está constantemente en actividad y sometido a cambios químicos.

A medida que las células se van formando, mucha de la proteína puede moverse de las células más viejas a las más nuevas, especialmente cuando el suministro total de N a las plantas es demasiado bajo. El paso del N de célula a célula puede llegar a tal punto que solamente las extremidades que están creciendo están funcionando propiamente. Las hojas más viejas pueden volverse amarillas y muchas de ellas, aún hojas enteras, mueren y se caen. Este amarilleamiento y caída de las hojas

distantes de los puntos en crecimiento es el síntoma principal de la deficiencia de N. El crecimiento entonces es de un tipo pequeño, no suculento, alto en carbohidratos. El N en forma de proteínas se puede acumular en las semillas.

**2. Fósforo:** El P es absorbido por las plantas principalmente como el ión  $H_2PO_4$ . En forma diferente al N y al S, el P no se reduce en los tejidos de las plantas sino que es vinculado dentro de combinaciones orgánicas en forma altamente oxidada. El P entra dentro de la composición de los fosfolípidos y de los ácidos nucleicos.

El P es un constituyente de los fosfatos de adenosina; estas sustancias de alta energía participan en muchos procesos metabólicos en las plantas, principalmente en la fotosíntesis, respiración, síntesis de grasas y proteínas.

Una gran proporción del P en una planta madura está localizada en las semillas y frutos. En plantas que están creciendo, el P es más abundante en los tejidos característicos, donde es utilizado en la síntesis de nucleoproteínas y otros componentes que contienen P, algunos de los cuales operan en el mecanismo de la respiración.

La síntesis de proteínas aparentemente no ocurre a tasas normales en plantas deficientes en P. Correlacionado con esta disminución en la síntesis de proteínas hay con frecuencia acumulación de azúcares en los órganos vegetativos de la planta. La coloración púrpura de las hojas asociada con la deficiencia de P en ciertas variedades de maíz, tomate y otras especies, refleja las concentraciones relativamente altas de azúcares en los tejidos de la hoja, que con frecuencia favorecen la síntesis de antocianinas.

El P es fácilmente redistribuido en las plantas de un órgano a otro. Tales redistribuciones probablemente ocurren mayormente en la forma de fosfatos. Durante los períodos de deficiencia de P, una gran proporción del P en las hojas más viejas pueden moverse a otros tejidos. Estudios con P radiactivo han contribuido a dar evidencia adicional de la alta movilidad del P y de la rápida tasa a la cual puede moverse fuera de las hojas y dentro de los tejidos que están en crecimiento cuando los

suministros externos son deficientes. El P ayuda en la asimilación del Mo.

3. Potasio: En forma diferente a los otros elementos macro-sintéticos requeridos por las plantas, el K parece que no hace parte de ningún compuesto orgánico esencial para la vida de la planta. Se presenta principalmente en las plantas en forma de sales inorgánicas solubles; las sales de K de ácidos orgánicos también se encuentran en las células de las plantas. Las partes jóvenes de las plantas que crecen activamente, especialmente las yemas, hojas jóvenes y puntas de las raíces, son altas en el contenido de K, mientras que la proporción de K en las semillas y en los tejidos maduros es relativamente baja. Las funciones fundamentales de este elemento en el metabolismo de la planta son indudablemente de tipo regulador o catalítico.

Las funciones específicas del K en las plantas no son bien conocidas. Sin embargo, un gran número de estudios que incluyen muchas especies de plantas han dado considerable información acerca de lo que pasa a las plantas cuando son deficientes en K. Las plantas deficientes en este elemento usualmente contienen un porcentaje más alto de compuestos nitrogenados solubles (aminoácidos y azúcares) que las plantas adecuadamente suplidas con K. El contenido de proteínas de las plantas deficientes en K, es relativamente bajo. Estos hechos sugieren que el K está en alguna forma relacionada con la síntesis de proteínas a partir de aminoácidos.

El metabolismo de los carbohidratos es también alterado por suministros inadecuados de K. Hay evidencia de que la fotosíntesis se detiene y que la respiración se aumenta cuando hay deficiencia severa de K.

Generalmente los efectos de un suministro bajo de K son aparentes primero en el metabolismo irregular del N el cual, por la falta de la síntesis de proteína, puede conducir a un aumento inicial de carbohidratos en los tejidos. A medida que la deficiencia de K continúa, los carbohidratos rápidamente disminuyen en cantidad, probablemente como un resultado de la disminución de la fotosíntesis y aumento de la respiración.

El K es altamente móvil dentro de las plantas. Las redistribu-

ciones internas de este elemento ocurren fácilmente y más o menos continuamente durante la vida de la planta. Las hojas más viejas y otros órganos pierden K frecuentemente, el cual es trasladado a las partes en crecimiento. Aquellos tejidos de la planta que están en crecimiento más activo parecen tener una capacidad mayor para acumular K, en contraste con células que son fisiológicamente menos activas.

El ión K es usualmente el catión monovalente más abundante en las células de la planta. Aunque no puede ser remplazado enteramente por ningún otro elemento, los síntomas de deficiencia de K pueden aparecer más pronto y ser más severos en la cebada, en la ausencia de Na que cuando éste está presente en la solución de cultivo. Es probable, por lo tanto, de que por lo menos durante las primeras etapas de crecimiento, el K pueda ser remplazado parcialmente por el Na, al menos en algunas especies de plantas.

**4. Calcio:** Una gran parte del Ca en la mayoría de las plantas está localizado en las hojas, y en contraste al P y al K, hay mayor cantidad de Ca en las hojas más viejas que en las más nuevas. Mucha parte del Ca en los tejidos de las plantas puede estar permanentemente fijo en las paredes de la célula como pectato de Ca que forma parte de la laminilla media. En muchas especies de plantas el Ca está presente en forma de cristales insolubles de oxalato de Ca. Este elemento también forma sales con otros ácidos orgánicos y probablemente entra en combinación química con moléculas de proteínas. Los iones de Ca están generalmente presentes como constituyentes de la savia vacuolar. El Ca es necesario para el crecimiento continuado de los meristemas apicales. En la ausencia de Ca, las divisiones mitóticas (mitosis) llegan a ser anormales o se suprimen. También se sabe que el Ca tiene una función en el metabolismo del N de las plantas. En su ausencia algunas especies no son capaces de absorber ó asimilar los nitratos. Las formas orgánicas de N, tales como la urea, parecen servir como fuentes de N cuando el Ca es deficiente. Estas observaciones han sido interpretadas en base a que el Ca es importante en la reducción de los nitratos en los tejidos de la planta. Se sabe que el Ca actúa como un activador de varias enzimas en las plantas.

El Ca es relativamente inmóvil y no es fácilmente redistribuido

en los tejidos de la planta. Las hojas más viejas de una planta pueden ser relativamente altas en el contenido de Ca, al mismo tiempo que las hojas más nuevas en la misma planta pueden ser deficientes en Ca. Sin embargo, los cristales de oxalato de Ca en las hojas viejas de plantas no van desapareciendo en casos de una deficiencia severa de Ca y son reforzados en hojas más jóvenes, indicando que la redistribución ocurre en cierto grado. Observaciones similares han sido reportadas en otras especies, pero la redistribución del Ca no parece ser lo suficientemente rápida o completa para satisfacer los requerimientos metabólicos de los tejidos más jóvenes, cuando hay deficiencia de este elemento.

5. Magnesio: Este elemento es el único mineral constituyente de la molécula de clorofila. Una gran proporción del Mg presente en las plantas está en los órganos que tienen clorofila; las semillas también son relativamente ricas en este elemento. El Mg generalmente está presente en los suelos en abundancia suficiente para suplir las necesidades de las plantas, aunque se han encontrado excepciones ocasionales a esta generalización.

La deficiencia de Mg usualmente resulta en el desarrollo de una clorosis característica y en algunas especies en la aparición de una coloración púrpura en el follaje. La redistribución del Mg de los órganos más viejos a los órganos más nuevos de las plantas ocurre fácilmente.

El Mg juega un papel en el metabolismo del P en las plantas e indirectamente en consecuencia en el mecanismo respiratorio, síntesis de proteínas, grasas, etc. Los iones Mg parecen ser activadores específicos para un gran número de enzimas, incluyendo principalmente ciertas transaminasas y deshidrogenasas.

Cantidades excesivas de Mg pueden ser tóxicas en soluciones nutritivas; este efecto puede ser contrarrestado con las presencia de cantidades suficientes de Ca. La toxicidad del Mg en los suelos no es común pero puede ocasionalmente aparecer en suelos alcalinos ó derivados de serpentina (suelos rojos).

6. Azufre: Como una regla general este elemento está bien distribuido a través de los tejidos y órganos de las plantas. El S es un constituyente de los aminoácidos cistina, cisteína y metionina, los cuales son parte de las proteínas de las plantas y también es parte de la tiamina y biotina, las cuales son hormonas importantes en las plantas.

El S es usualmente absorbido por las raíces como ión  $SO_4^{2-}$ , pero también puede entrar a las hojas como  $SO_2$  cuando este gas está presente en la atmósfera. Debe tenerse presente, sin embargo, que el gas  $SO_2$  puede ser tóxico para las plantas aún a bajas concentraciones. Aunque el S entra a la planta en forma oxidada, se reduce usualmente al grupo sulfidril en la formación de aminoácidos y otras moléculas orgánicas. El S de las moléculas orgánicas en células vivientes, aparentemente puede reconvertirse en S inorgánico, usualmente el ión  $SO_4^{2-}$  y en esta forma puede ser redistribuido dentro de la planta y reutilizado en la formación de compuestos orgánicos de S en otros tejidos. Relativamente grandes cantidades de S pueden moverse en esta forma de las hojas a las semillas y frutos en maduración.

Los síntomas de deficiencia de S en las plantas son en general similares a los de deficiencia de N. Los aminoácidos y otros compuestos que contienen N se acumulan en los tejidos de las plantas con deficiencia de S, probablemente porque la síntesis de proteínas no se mantiene a una tasa comparable con la de las plantas que reciben cantidades adecuadas de S. Este elemento ayuda a la formación de nódulos en las leguminosas.

7. Hierro: Una deficiencia de Fe aprovechable en los suelos comúnmente no es un factor limitante para el desarrollo de las plantas; no obstante se han encontrado excepciones ocasionales. La deficiencia de Fe en los suelos es generalmente una consecuencia de su insolubilidad más bien que de su ausencia propiamente dicha. En general, una porción mayor de Fe se encuentra en estado soluble en suelos relativamente ácidos que en suelos neutros y alcalinos. Una de las causas más comunes de deficiencia de Fe es un exceso de cal en el suelo. Aún en suelos alcalinos, sin embargo, algo del Fe puede ser absorbido por las plantas como un resultado de los contactos íntimos entre la superficie de la raíz y las partículas del suelo.

El Fe es indispensable para la síntesis de la clorofila en las

plantas verdes. La deficiencia de este elemento resulta en el desarrollo de una clorosis característica. Sin embargo el Fe no hace parte de la molécula de clorofila. El estado del Fe en los tejidos de la planta es también con frecuencia un factor que determina su influencia en la síntesis de clorofila. La clorosis, resultante de la deficiencia de Fe, es encontrada algunas veces en hojas que contienen tanto Fe como las hojas verdes, estando el Fe presente en una forma no aprovechable en los tejidos cloróticos. El Fe es fisiológicamente activo en el estado ferroso, y aunque con frecuencia es absorbido como el ión férrico, mucho de él es rápidamente reducido dentro de las células. La tasa a la cual el Fe es reducido en los células vivientes parece estar influenciada por la cantidad de Mn en las células.

Algunas de las enzimas y "transportadores" que operan en el mecanismo respiratorio de las células vivientes son compuestos de Fe. Ejemplos específicos son las peroxidases, citocromo oxidases y los citocromos. La participación del Fe en forma de tales compuestos en el mecanismo oxidativo de las células es indudablemente una de sus funciones más importantes en el metabolismo celular.

La cantidad de Fe en los tejidos de la planta es muy baja; mucha parte está presente como un constituyente de compuestos orgánicos. El Fe es uno de los elementos más inmóviles en las plantas y poca redistribución se presenta de un tejido a otro.

8. Manganeso: Solamente cantidades pequeñas de este elemento son requeridas por las plantas. Los compuestos de Mn son tóxicos para las plantas excepto en concentraciones muy bajas. El Mn, como una regla general, parece ser más abundante en las partes de las plantas fisiológicamente más activas, especialmente en las hojas. Es un elemento relativamente inmóvil y poca redistribución se presenta de una parte de la planta a otra.

Las funciones del Mn en las plantas son indudablemente las de un catalizador. Este elemento probablemente juega un papel importante en las reacciones de oxidación-reducción, especialmente en relación con los compuestos de Fe. El Fe es comúnmente absorbido como el ión férrico y reducido en las células a la condición ferrosa a menos que algún agente oxidante esté pre-

sente el cual previene esta reacción. De acuerdo con algunos investigadores, el Mn juega el papel de tal agente oxidante y un exceso de Mn puede en consecuencia inducir síntomas de deficiencia de Fe por la conversión del Fe aprovechable a la forma férrica, fisiológicamente inactiva.

El Mn es un activador de algunos sistemas de enzimas incluyendo ciertas deshidrogenasas y carboxilasas. Algunas de las enzimas activadas por el Mn son también activadas por el Mg.

El Mn está relacionado en alguna forma con la síntesis de clorofila, ya que los cloroplastos son afectados por la deficiencia de este elemento, resultando una clorosis característica.

Ciertas "enfermedades fisiológicas" en las plantas han sido atribuidas a una cantidad inadecuada de Mn dentro de los tejidos. Algunas de las más conocidas son la "peca gris" de la avena y "boteados amarillos" de la remolacha azucarera. La deficiencia de Mn en los suelos es más fácil de presentarse cuando la reacción del suelo es relativamente alcalina. La toxicidad del Mn como un resultado de las condiciones del suelo no es común, pero ocurre ocasionalmente en suelos ácidos y mal drenados.

9. Boro: Aunque en general este elemento es necesario solamente en pequeñas cantidades, los requerimientos de B por diferentes plantas varían sobre un rango considerable. Investigaciones en soluciones nutritivas ó técnicas de cultivos en arena, y en el campo, han demostrado que solamente traces de B (menos de 1 ppm.) se requieren para el mejor desarrollo de algunas especies, mientras que otras no muestran el máximo desarrollo a menos que el B esté disponible en mayores cantidades. Las gramíneas requieren cantidades más bajas de este elemento en comparación con las leguminosas. La alfalfa es una planta bastante exigente en B.

La función exacta del B en las plantas no se conoce. En plantas con deficiencia de B ocurren una serie de alteraciones fisiológicas y cambios morfológicos los cuales difieren con las especies y las condiciones ambientales. La acumulación de carbohidratos, compuestos de azúcaro y otros compuestos nitrogenados

solubles en plantas con deficiencia de B indican un trastorno de la síntesis de proteínas. La muerte o daños serios de las células de los meristemas apicales del tallo y la raíz, los cuales son síntomas comunes de la deficiencia de B, pueden tener una explicación similar. También hay evidencia considerable de interrelación entre el B y el Ca y el metabolismo de K en las plantas. Los resultados de ciertas investigaciones también indican que el B pueda ser esencial para la translocación de carbohidratos en las plantas.

En la mayoría de las plantas el B no es un elemento fácilmente movible. Alcanza su concentración más grande en las hojas y parece fijarse en las células en una forma que impide su translocación a otros tejidos. La concentración de B de los meristemas, raíces, frutos y tejidos de almacenamiento es mucho más baja que la de las hojas. El B puede estar presente en las hojas más bajas de una planta en tales cantidades como para causarles daño, y al mismo tiempo las células de los meristemas apicales pueden mostrar síntomas de deficiencia de B.

El uso de agua de irrigación que contenga compuestos de B en solución es con frecuencia causa de la toxicidad de este elemento.

10. Cobre: Este elemento es altamente tóxico para las plantas excepto en cantidades muy bajas. Debido a que el Cu es constituyente de ciertas enzimas oxidantes-reductoras, tales como la oxidasa del ácido ascórbico, se puede decir que por lo menos una de sus funciones en el metabolismo de la planta es la participación en las reacciones de oxidación y reducción. Fuera de esta función catalítica no se ha reconocido relación definitiva entre el Cu y cualquier otro proceso fisiológico específico en plantas superiores.

11. Zinc: Este elemento es muy tóxico para las plantas excepto en concentraciones muy bajas y solo se requieren trazas de él si se quiere mantener el metabolismo normal de las plantas. La deficiencia de Zn ocasiona desorganizaciones estructurales en las puntas de las raíces, reducción del

crecimiento vegetativo y fallas en la formación de las semillas.

El Zn es componente y activador de varios sistemas enzimáticos. Hay buena evidencia de que el Zn es también necesario en la síntesis del ácido indolacético una hormona importante en las plantas. Parece que este elemento está relacionado con la síntesis de clorofila.

12. Molibdeno: De todos los elementos que definitivamente se consideran como esenciales, el Mo es el requerido en cantidades más pequeñas; una parte en 100 millones de una solución de cultivo es suficiente para prevenir aparición de síntomas de deficiencia de Mo en las plantas de tomate. Este elemento usualmente es suministrado a las plantas como el ión molibdato. Una de las funciones del Mo en las plantas parece ser la de jugar un papel importante en la reducción de los nitratos.

Suelos deficientes en Mo se han encontrado en regiones tan distantes entre sí como Australia, California, Nueva Jersey y Europa Central. Aplicaciones de óxido molibídico ( $\text{MoO}_3$ ) en una proporción de  $\frac{2\frac{1}{2}}$  onzas por hectárea han resultado en un aumento marcado en los rendimientos de ciertos cultivos, en tales suelos. En cualquier concentración apreciable el Mo es altamente tóxico para las plantas. El exceso de Mo también es perjudicial para los animales.

El Mo es requerido por el Rhizobium para la fijación del N, y las leguminosas, cuando hay deficiencia de Mo, toman un color amarillo pálido y el crecimiento se detiene (síntomas de deficiencia de N). El Mo es un componente de ciertas enzimas como la nitrato reductasa.

13. Cloro: El Cl parece ser de ocurrencia universal en las plantas y está presente casi en su totalidad en la forma de cloruros inorgánicos solubles. Los resultados experimentales que se han obtenido suministrando cloruros en cantidades considerables a las plantas han sido muy variables. En algunas especies un efecto benéfico definitivo se ha notado en otras las aplicaciones de cloruros han resultado en la retención del crecimiento de la planta, y aún en otras ninguna

influencia aparente ha podido ser detectada. Dicen algunos investigadores que los resultados favorables del suministro de cloruros a las plantas pueden ser causados especialmente a través de sus efectos en la relación iónica del suelo o solución de cultivo, más bien que los efectos directos de este elemento en el metabolismo de las plantas. Investigaciones muy recientes, sin embargo, indican que el Cl es un elemento micrometabólico esencial para un número de especies de plantas superiores tales como el tabaco, papa, lechuga, repollo, zanahoria, remolacha, cebada, maíz y algodón.

### Síntomas de Deficiencia de Nutrientos

La ausencia ó deficiencia de los elementos esenciales, tarde o temprano viene a afectar el crecimiento y desarrollo de la planta por la aparición de anomalías, de una clase u otra. Los síntomas de la deficiencia de un elemento pueden presentarse aún cuando ese elemento esté presente en los tejidos de una planta, si por una razón u otra no puede ser usado en su metabolismo. Las plantas pueden exhibir síntomas de deficiencia de N aunque los tejidos contengan una cantidad abundante de nitratos si la reducción de éstos es impedida por alguna razón.

Los síntomas de deficiencia de un elemento dado pueden ser similares en algunas especies de plantas. Ciertos síntomas de deficiencias se presentan, sin embargo, en forma diferente en algunas especies. Por ejemplo, la deficiencia de Mn resulta en el desarrollo de una "clorosis moteada" característica, en las hojas de muchas especies; en el maíz y otros cereales, la clorosis resultante de la deficiencia de Mn asume la forma de un rayado alterno de amarillo y verde a lo largo de las hojas. Los síntomas de la deficiencia de un elemento dado también difieren frecuentemente en algunos casos en plantas leñosas y en plantas herbáceas. En consecuencia, es importante que los síntomas de deficiencia de elementos esenciales sean estudiados para cada especie individualmente. Una vez que tales síntomas han sido identificados, son de ayuda en el diagnóstico de la causa del desarrollo anormal de las plantas. Los síntomas de deficiencias de esos elementos que son relativamente inmóviles

en las plantas, tales como el Fe, Mn, B y Ca, aparecen primero en las hojas más jóvenes; los síntomas de deficiencia de los elementos relativamente móviles tales como el N, P, K y Mg, aparecen primero en las hojas más viejas. Los síntomas de deficiencia de nutrientes se pueden presentar en todos los órganos de la planta, como hojas, tallos, flores, frutos, semillas y raíces, y todas las partes de la planta se usan en el método de diagnóstico visual.

Las deficiencias en el campo pueden clasificarse en dos categorías: simples y complejas. Las deficiencias simples son aquellas que son posibles de reconocer inmediatamente por medio de síntomas, los cuales pueden ser considerados características para ciertas plantas específicas, o puede ocurrir que la planta presente síntomas que no son decisivos pero cerca hay otros cultivos los cuales proveen la evidencia necesaria para permitir hacer un diagnóstico correcto. Las deficiencias complejas son aquellas en las cuales los síntomas visuales no proveen evidencia concluyente de ninguna deficiencia en particular. En tales circunstancias otros métodos tienen que ser usados como complemento para confirmar la deficiencia. Los análisis de tejidos y suelos se pueden emplear en estos casos.

El uso de los síntomas visuales como un medio para diagnosticar deficiencias debe hacerse con precaución, debido a que los síntomas de deficiencias pueden confundirse con anomalías causadas en las plantas por ataque de plagas y enfermedades, bajas temperaturas y heladas, sequía, mal drenaje, efecto directo y residual de herbicidas, toxicidades, factores genéticos, etc.

A continuación se presenta una descripción de los síntomas más comunes causados por deficiencias de elementos esenciales. Desafortunadamente no muchos estudios de nutrición mineral se han realizado con gramíneas y leguminosas y la literatura existente está más relacionada con otras especies de plantas.

1. Nitrógeno: Los síntomas de deficiencia de N son de ocurrencia común en la mayoría de los cultivos especialmente en los trópicos. Los síntomas más comunes son:

a) Crecimiento restringido de la parte aérea y de las raíces.

- b) Tallos cortos y delgados.
- c) Hojas pequeñas, usualmente de color verde amarillento en los primeros estados de desarrollo y posteriormente pueden mostrar coloraciones amarillas, anaranjadas y rojas y a veces púrpura. Estos típicos colores empiezan en las hojas más viejas y avanzan hacia las hojas jóvenes; la coloración también se puede desarrollar en los peciolas.
- d) Hay defoliación prematura que empieza en las hojas más viejas.
- e) Las ramas laterales son pocas y las yemas laterales pueden morir o permanecer en estado latente.
- f) En casos severos, la floración se reduce grandemente y en consecuencia los rendimientos de granos y frutos son muy bajos. Debido a las hojas pequeñas, a la defoliación prematura y a la supresión del crecimiento lateral, las plantas que sufren deficiencia de N siempre se ven delgadas y pobremente nutridas. Algunos procesos del crecimiento, tales como la apertura de las yemas, hojas y flores, son retardados.

En gramíneas se puede presentar un macollamiento pobre; los tallos pueden mostrar coloración rojiza o púrpura y las espigas son muy pequeñas. Las hojas inferiores muestran quemamientos que se inician en las puntas y proceden a lo largo de la nervadura central.

**2. Fósforo:** La deficiencia de este elemento produce efectos a veces similares a los producidos por la deficiencia de N:

- a) El crecimiento de la parte aérea y de las raíces se reduce.
- b) Tallos cortos y delgados.
- c) Las hojas son pequeñas y la defoliación prematura empieza por las hojas más viejas.
- d) Las ramas laterales son pocas en número y las yemas pueden

morir o permanecer latentes.

- e) La floración se reduce enormemente, con los consecuentes rendimientos bajos de granos y frutos.
- f) La apertura de las yemas, hojas y botones florales se retarda.
- g) El color de las hojas generalmente es verde azulado y a menudo se desarrollan coloraciones púrpuras ó pueden presentarse manchas bronceadas ó pardas.

La deficiencia de P se puede identificar en los cereales por el color verde azulado oscuro de las hojas y tallos, que más tarde desarrollan marcados tintes púrpura; la coloración también se puede desarrollar en las espigas.

La deficiencia de P en los tréboles resulta en poco crecimiento y los tallos y pecíolos son delgados; las hojas son de color azulado opaco ó verde opaco; desarrollan manchas púrpura ó bronceadas esporádicamente sobre sus superficies y luego se tornan amarillas; muchos pecíolos se marchitan y se doblan y las plantas se debilitan progresivamente y aparecen con poco follaje.

Aunque la coloración púrpura del follaje es muy común dentro de las plantas que crecen bajo condiciones de deficiencia de P, esta característica debe usarse con gran precaución al hacer la diagnosis, debido al hecho de que pueda resultar de otras causas.

3. Potasio: Los síntomas de deficiencia de K pueden variar de acuerdo al grado de escasez del elemento. Así, una deficiencia ligera en cereales puede producir plantas con tallos más bien delgados, y cuando la deficiencia es aguda los tallos pueden morir o pueden resultar plantas "achaparradas" con numerosos retoños pero con pocas o ningunas tallos florales.

Bajo condiciones de una deficiencia severa, los síntomas en las hojas son muy marcados y aunque pueden variar, generalmente son muy característicos para las diferentes clases de plantas. El

color de las hojas puede ser verde azulado opaco y puede presentarse alguna clorosis, especialmente en las áreas intervinales. Uno de los siguientes síntomas generalmente se presenta, empezando en las hojas más viejas:

- A) Pardeamiento de los extremos y puntas.
- b) Quemazón marginal.
- c) Desarrollo de manchas pardas, usualmente más numerosas cerca a las márgenes.
- d) Las láminas de las hojas, en muchas plantas de hojas anchas, muestran una tendencia a enroscarse en forma paralela a la vena central.

Generalmente la deficiencia de K produce considerable estancamiento del desarrollo; los entrenudos de los tallos son cortos; la producción de granos y frutos es severamente restringida y los sistemas radiculares pueden estar pobremente desarrollados.

Los cultivos de hoja ancha que muestren quemazón en las márgenes de las hojas son sospechosos de deficiencia de K, pero debe recordarse que este síntoma puede resultar de otras causas, tales como la deficiencia de Ca y P, toxicidad de B ó Cl, daño por aspersión, sequía, vientos, quemazón por fertilizantes, bajas temperaturas y heladas, etc.

En cereales el tallo siempre es corto; las plantas son delgadas y la formación del grano es escasa; las espigas y los granos son pequeños ó las plantas pueden producir excesivas macollas y tienen pocos tallos florales; las hojas pueden ser verde azuladas ó ligeramente cloróticas, y los extremos de las hojas y márgenes pueden mostrar pardeamiento y quemazón. En cebada, las hojas son semicloróticas y muestran lesiones blancas prominentes; parece que la cebada es el cereal más susceptible.

En tréboles y en alfalfa se presentan manchas en las hojas, además de la clorosis y pardeamiento marginal; en los primeros estados las manchas generalmente forman un "sombreado" bien definido alrededor de las márgenes de las hojas y pueden ser blancas ó pardas de acuerdo con las variedades. Las manchas blancas generalmente se vuelven pardas con la edad y en los

últimos estados las márgenes de las hojas pueden desarrollar una quemazón parda severa.

En frijol y otras leguminosas se presenta clorosis y quemazón de las hojas; el tipo de crecimiento es "achaparrado".

En maíz, cereales y pastos, generalmente se presenta secamiento y quemazón de las puntas y bordes de las hojas más viejas, progresando hacia las hojas más nuevas a medida que la deficiencia se hace más aguda; usualmente la vena central permanece verde.

4. Calcio: Los síntomas principales de deficiencia de Ca generalmente aparecen en las hojas jóvenes y cerca a los puntos de crecimiento de los tallos y raíces. Las hojas jóvenes pueden estar severamente deformadas, con las puntas encorvadas hacia abajo o hacia arriba; las márgenes a menudo son de apariencia irregular y rasgadas y pueden mostrar quemazón parda y manchas ó bandas marginales cloróticas delgadas.

Estos síntomas en las hojas son exhibidos por muchas plantas de hojas anchas; además a menudo ocurren alteraciones severas de los tejidos del meristemo. Los puntos en crecimiento a menudo mueren, y frecuentemente se doblan como en el caso del trébol blanco. En muchos casos las hojas jóvenes permanecen plegadas, es decir, no se abren. Los sistemas radiculares son pobremente desarrollados y las falta fibra, y las raíces pueden aparecer gelatinosas. En cereales los puntos de crecimiento pueden no emerger, particularmente los brotes laterales o racollos.

En hojas de frijoles se puede presentar doblamiento marginal ó desarreglo del meristemo y el color de la hoja puede ser verde claro. Los tallos pueden doblarse cerca a los puntos de crecimiento, como también los peciololes, mientras que las vainas y las semillas pueden no desarrollarse. Las hojas de los tréboles pueden mostrar quemazón marginal y el doblamiento de los peciololes es común.

En el campo, en suelos fuertemente ácidos, donde la deficiencia de Ca es más común, los síntomas mostrados por las plantas pueden ser muy complejos y a menudo consisten de combinaciones de deficiencia de Ca y toxicidad de Al ó Mn y a veces también defi-

ciencia de Mg; además es posible la deficiencia de N, P, K y Mo.

5. Magnesio: Los síntomas de deficiencia de Mg son más notorios en el follaje; los primeros efectos se notan inicialmente en las hojas más viejas y proceden sistemáticamente hacia las hojas más jóvenes. La clorosis es común, lo cual no es sorprendente debido al hecho de que el Mg es un constituyente de la clorofila. La clorosis no es el único síntoma y a veces se desarrollan tintes brillantes de otros colores. La deficiencia es más acentuada hacia el final de período de crecimiento de las plantas, pero puede también aparecer en plántulas. Las hojas severamente afectadas se pueden marchitar y caerse, ó pueden caerse sin marchitamiento. Hay gran variedad de síntomas producidos por la deficiencia de Mg en diferentes plantas.

Los cereales son medianamente tolerantes a la deficiencia de Mg; probablemente la avena es el cereal más susceptible. Los ejemplos de síntomas de deficiencia en cereales son escasos. Los síntomas en las hojas de avena son muy característicos y aparecen como hileras paralelas de pequeñas manchas cloróticas; en un estado más avanzado estas hileras se tornan en rayas necróticas intermitentes. El raíz también muestra una condición necrótica en las hojas, con alguna coloración roja y púrpura. En cebada las márgenes de las hojas más viejas muestran áreas necróticas. En todos los cereales hay marchites y muerte de las hojas más viejas.

En muchas leguminosas (frijoles, tréboles, alfalfa), las porciones centrales de las hojas desarrollan clorosis interveinal y las márgenes permanecen verdes o pueden llegar a ser coloreadas (tréboles).

6. Azufre: Los efectos de la deficiencia de S se parecen a los de deficiencia de N. El crecimiento de los brotes se restringe aunque menos que cuando la deficiencia es de N. Los tallos son duros, leñosos y delgados; el crecimiento es erecto y ocurre amarilleamiento de las hojas.

En tréboles y alfalfa el follaje es de color verde pálido y hay una tendencia a presentarse coloración amarilla, como en el caso de deficiencia de N.

Según algunos investigadores la deficiencia es más severa en las hojas jóvenes, las cuales tienen un color verde pálido y las venas pueden ser más cloróticas que el resto de la hoja.

**7. Hierro:** El principal síntoma es una clorosis severa de las hojas y el crecimiento reciente o nuevo es el más severamente afectado. En algunos casos las hojas pueden ser casi blancas y en otros la clorosis puede aparecer en forma de manchas. Una quemadura de las márgenes de las hojas y puntas puede ocurrir en condiciones extremas. La clorosis debida a la deficiencia de Fe puede ocurrir en suelos altos en cal. Los cereales parecen resistentes a la deficiencia de Fe y pueden crecer en suelos calcreos sin mostrar síntomas apreciables de deficiencia.

**8. Manganeso:** En general, la clorosis de las hojas es uno de los síntomas más comunes de la deficiencia de Mn, pero en algunos casos los síntomas son muy variados de acuerdo con las diferentes especies de plantas.

Entre los cereales, la avena es el cultivo más susceptible. La deficiencia en avena se conoce como enfermedad de la "peca gris". Los síntomas generalmente aparecen en las hojas más viejas; las porciones basales llegan a ser algo amarillentas; pecas grises ó rayas aparecen principalmente en las mitades basales y a menudo más severamente cerca de las márgenes. Las rayas tienden a alargarse y juntarse y el tejido severamente afectado se vuelve pardo. Las hojas eventualmente se quiebran cerca a los puntos terminales de las partes basales severamente afectadas; el tejido sobre la quebradura puede permanecer verde y colgar hacia abajo. Las áreas pardas pueden también retorcerse en forma de espirales. En el estado final, las hojas severamente afectadas se vuelven pardas y se marchitan. El sistema radicular es a menudo muy pobremente desarrollado y las plantas muy afectadas pueden morir.

El trigo y la cebada, bajo condiciones de deficiencia de Mn, son de color verde pálido y pueden mostrar rayas cloróticas y amarillamiento. En plantas de trigo severamente afectadas se presentan lesiones intervenales blancas, y en cebada se presentan numerosas manchas pequeñas de color pardo y lesiones a lo largo de las áreas intervenales.

Los frijoles pueden mostrar una fuerte clorosis y el tejido clorótico desarrolla áreas necróticas.

9. Cobre: La deficiencia de Cu se ha observado en gramíneas en Holanda, Australia y Dinamarca, donde se conoce con el nombre de "enfermedad de reclamación", "punta amarilla" y "punta marchita". Los síntomas característicos en cereales consisten en el marchitamiento y clorosis marginal de las partes de las hojas jóvenes, y una tendencia del follaje a marchitarse; las espigas son pequeñas y mal formadas; la base de la planta permanece verde y la formación de raíces es restringida más severamente que el crecimiento vegetativo.

10. Boro: La deficiencia de B es responsable de un gran número de anomalías falsamente denominadas "enfermedades". Las más conocidas son la "padrición del corazón" de la remolacha azucarera; "cancer" de la remolacha común; "corazón partido" de los nabos; "pardamiento" o "tallo hueso" de la coliflor; "tallo partido" del apio; "amarillamiento" de la alfalfa; "mancha seca" ó "corazón corchoso" de las zanahorias; "fruta dura" de los cítricos y "enfermedad del topo" del tabaco. La lista no deja lugar a dudas en cuanto a la importancia de la deficiencia en los cultivos y además indica la amplia variedad de síntomas que pueden presentarse.

En muchas plantas los puntos de crecimiento son afectados severamente y pueden morir y los tallos y las hojas pueden mostrar deformaciones considerables. La parte central y la epidermis de los tallos pueden ser afectados, dando lugar a tallos huecos y corrugados. Las hojas a menudo son quechadas y encorvadas y pueden mostrar un ligero moteamiento o alguna formación de pigmentos. Una deficiencia severa deforma los frutos.

La deficiencia no se conoce en cereales en el campo y parece que estos tienen un requerimiento de N muy bajo.

En las leguminosas los puntos de crecimiento mueren y los tallos son gruesos y duros; las hojas pueden mostrar clorosis, como en los frijoles, y cantidades variables de pigmentos como en el trébol blanco y la alfalfa.

11. Zinc: La deficiencia de Zinc causa la denominada "yeam blanca" del maíz. Los síntomas comunes de deficiencia de Zn en cultivos de hojas anchas consisten en una clorosis intervenal a menudo acompañada de necrosis y pigmentación; tamaño reducido y mala formación de las hojas; follaje grueso y entrenudos cortos (condición de roseta) y producción reducida de frutos. Los síntomas sugieren una relación estrecha entre el Zn y la formación de clorofila.

En cereales las plantas jóvenes muestran color púrpura y muerte de las hojas viejas y el tallo de las plantas maduras tiene una apariencia gusada característica.

12. Molibdeno: La deficiencia de Mo ha sido reportada en muchos cultivos incluyendo tréboles, alfalfa, pastos, tomate y soya. Los síntomas de deficiencia difieren con los cultivos pero como regla general primero se presentan como una clorosis intervenal. En las leguminosas las plantas usualmente toman un color amarillo pálido y el crecimiento se detiene (síntomas característicos de la deficiencia de N).

La deficiencia de Mo en maíz puede ocasionar la muerte de los puntos de las hojas más viejas que progresa a lo largo de las márgenes, desarrollándose una necrosis entre las venas y muerte de las hojas. Las hojas jóvenes se marchitan y luego mueren a lo largo de las márgenes y en algunos casos se curvan o retuercen.

13. Cloro: En remolacha azucarera, en soluciones de cultivo, la deficiencia de Cl causa un crecimiento reducido de la parte aérea y raíces cortas y gruesas. Los síntomas se-

Signos de deficiencia de Cl primero aparecen como una clorosis intervenal en las hojas jóvenes. En los primeros estados, las venitas son similares a las de la deficiencia de Mn; en estados más avanzados se presentan depresiones suaves en las áreas intervenales y las venas sobresalen notoriamente sobre la superficie de las hojas.

Cuando hay deficiencia de Cl, las plantas afectadas se marchitan, llegan a tener áreas cloróticas y necróticas y muestran un bronceamiento en las hojas. En soluciones de cultivo se ha observado que la deficiencia de Cl está asociada con un crecimiento reducido de la raíz.

## BIBLIOGRAFIA

1. Bonner, J. y A.W. Galston. 1955. Principios de Fisiología Vegetal. Aguilar, Madrid.
2. Brown, J.C. 1963. Interactions Involving Nutrient Elements. Ann. Rev. Plant Physiol. 14: 93 - 106.
3. Evans, H.J. and G.J. Sorger. 1966. Role of Mineral Elements with Emphasis on the Univalent Cations. Ann. Rev. Plant Physiol. 17: 47 - 76.
4. Hewitt, E.J. 1963. The Essential Nutrient Elements: Requirements and Interactions in Plants. In: Plant Physiol. 3: 137 - 360.
5. Legget, J.E. 1968. Salt Absorption by Plants. Ann. Rev. Plant Physiology 19: 333 - 346.
6. Meyer, B.S., D.B. Anderson and R.H. Bohning. 1960. Introduction to Plant Physiology. D. Van Nostrand Co., Inc. Princeton, N.J.
7. Nason, A. and W.D. McElroy. 1963. Modes of Action of the Essential Mineral Elements. In: Plant Physiology 3: 451 - 525. F.C. Steward Ed.
8. Russell, E.W. 1961. Soil Condition and Plant Growth. John Wiley and Sons, 9th. Ed.
9. Sutcliffe, J.B. 1962. Mineral Salts Absorption in Plants. New York, Pergamon.
10. The American Society of Agronomy and the National Fertilizer Association. 1964. Hunger Signs in Crops, a Symposium, D.C.
11. Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1966. Soil Fertility and Fertilizers, 2nd. Ed. The MacMillan Co., New York.
12. Wallace, T. 1953. The Diagnosis of Mineral Deficiencies in Plants by Visual Symptoms. Chem. Publish. Co. Inc. New York.