

**Carencias y toxicidades
nutricionales que afectan al
trigo**

**Una guía para su identificación
en el campo**

Carencias y toxicidades nutricionales que afectan al trigo

**Una guía para su identificación
en el campo**

K. Snowball

Investigador

y

A.D. Robson

Profesor de Agricultura

Universidad Western Australia

Revisores del CIMMYT

M. Bell, R.A. Fischer, P.R. Hobbs, E.E. Saari, D.A.
Saunders, K.D. Sayre, G. Varughese y P.C. Wall

Editor/Coordinador

G.P. Hettel

El CIMMYT es una organización internacional sin fines de lucro que está dedicada a la investigación científica y al adiestramiento. Con sede central en México, el CIMMYT está comprometido en un programa de investigación a nivel mundial para maíz, trigo y triticale con énfasis en el mejoramiento de la productividad de los recursos agrícolas en los países en desarrollo. Es uno de los 13 centros internacionales sin propósito de lucro que están involucrados en la investigación agrícola y el adiestramiento, patrocinados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (CGIAR). El CGIAR está apoyado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo (Banco Mundial) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El CGIAR cuenta con 40 países donadores, organizaciones internacionales y regionales y fundaciones privadas.

El CIMMYT recibe apoyo de presupuesto básico de varias fuentes, incluyendo las instituciones de ayuda internacional de Australia, Austria, Brasil, Canadá, China, Dinamarca, España, EUA, Filipinas, Finlandia, Francia, India, Irán, Irlanda, Italia, Japón, México, Noruega, los Países Bajos, el Reino Unido, la República Federal de Alemania y Suiza, y de la Comisión Económica Europea, la Fundación Ford, el Banco Interamericano para el Desarrollo, el PNUD y el Banco Mundial. También recibe donativos para proyectos especiales no contribuidos por el CGIAR, aportados por Bélgica, la Fundación Rockefeller y muchos de los donadores mencionados anteriormente.

La responsabilidad de esta publicación es solamente del CIMMYT.

Cita correcta: Snowball, K. y A. D. Robson. 1991. Carencias y toxicidades nutricionales que afectan al trigo: Una guía para su identificación en el campo. México, D.F.: CIMMYT.

ISBN 968-6127-51-8

En la cubierta: Esterilidad de la espiga de trigo (manifestada en las espiguillas translúcidas) en Tailandia, posiblemente atribuible a la carencia de boro en el suelo. (Fotografía tomada por Gene Hettel.)

Indice

- 1 Prefacio**
- 2 Introducción**
- 2 Síntomas vinculados con las funciones de los nutrimentos
- 3 Síntomas vinculados con la movilidad de los nutrimentos
- 5 Métodos para identificar las carencias y toxicidades nutricionales**
- 5 Síntomas visibles
- 6 Parcelas divididas en franjas
- 6 Análisis del suelo y de tejidos vegetales
- 10 Guía para el diagnóstico de carencias nutricionales
- 11 Síntomas de carencias nutricionales en el trigo**
- 12 Nitrógeno
- 15 Fósforo
- 16 Potasio
- 19 Azufre
- 23 Magnesio
- 27 Calcio
- 28 Hierro
- 32 Manganeseo
- 35 Cobre
- 41 Zinc
- 45 Boro
- 49 Molibdeno
- 53 Síntomas de toxicidades nutricionales en el trigo**
- 54 Fósforo
- 57 Boro
- 58 Aluminio
- 61 Manganeseo
- 61 La salinidad
- 62 Glosario**
- 63 Bibliografía citada**
- 63 Literatura adicional**
- 64 Apéndices**

Apéndices

64 Apéndice 1.

Funciones de elementos esenciales en las plantas

66 Apéndice 2.

Movilidad de los nutrimentos en las plantas

67 Apéndice 3.

Concentraciones de nutrimentos en vástagos y hojas jóvenes que son insuficientes, críticas, adecuadas o tóxicas para el desarrollo del trigo

68 Apéndice 4.

Tipos de suelo con mayores probabilidades de sufrir diversas carencias nutricionales, fertilizantes que pueden corregir los problemas y tasas de aplicación

70 Apéndice 5.

Efecto del pH sobre la disponibilidad de elementos comunes en distintos tipos de suelos

72 Apéndice 6.

Efecto de otros nutrimentos y del encalado sobre la absorción y el transporte de nutrimentos

73 Apéndice 7.

Síntomas similares de distintas carencias nutricionales en diversas partes de la planta

Prefacio

Se puede mejorar el empleo de los síntomas visibles para identificar las carencias y toxicidades por nutrimentos en las plantas mediante la observación y descripción cuidadosas de esos síntomas. En esta guía se intenta describir con precisión los síntomas de las carencias y toxicidades por nutrimentos en el trigo (*Triticum* spp.). También se ha tratado de establecer criterios para distinguir una carencia o toxicidad nutricional de otra usando esos síntomas visibles.

La manifestación de los síntomas visibles de una carencia o toxicidad nutricional puede cambiar según la variedad. Si bien muchas de las 47 fotografías presentadas en esta publicación muestran una sola variedad que sufre diversas carencias y toxicidades nutricionales, pensamos que las descripciones de los síntomas señalados serán muy valiosas para diagnosticar esas carencias y toxicidades en otras variedades de trigo.

El propósito de este libro es que sirva como guía rápida para la identificación en el campo de las carencias y toxicidades nutricionales, y está destinado fundamentalmente a los investigadores agrícolas, técnicos y agricultores de los países en desarrollo, pero también será útil para otras personas. En el texto se incluye una breve descripción de las principales carencias y toxicidades nutricionales que afectan al trigo. Como ayuda para la identificación, se complementa el texto con fotografías en colores, una guía para el diagnóstico de deficiencias en las páginas centrales y varios apéndices. Las fotografías fueron proporcionadas por los autores excepto en los casos en que se indica algo diferente.

E. Acevedo

Jefe

Manejo de los Cultivos y Fisiología

Programa de Trigo del CIMMYT

Introducción

Los síntomas de las carencias y toxicidades nutricionales son consecuencia de daños en el metabolismo de la planta. Muchos síntomas son muy característicos de cierta carencia o toxicidad que afecta el metabolismo y disminuye el crecimiento, y permiten identificarla, pero otros síntomas son menos característicos y podrían indicar la existencia de varios factores adversos. Por ejemplo, la palidez generalizada de los vástagos acompañada del enrojecimiento y la senescencia prematura de las hojas viejas podrían señalar la carencia de nitrógeno, de azufre o de molibdeno. En esta guía consideramos los síntomas de carencias o toxicidades nutricionales en relación con la función y la movilidad de los nutrientes dentro de las plantas.

Síntomas vinculados con las funciones de los nutrientes

Los nutrientes esenciales tienen varias funciones en la planta. Un elemento puede:

- desempeñar una función en un proceso fisiológico.
- activar una enzima o regular el ritmo de un proceso mediado por enzimas.
- ser un componente integral de un metabolito esencial, un complejo o un conjunto macromolecular.

Nuestro conocimiento de la función de los nutrientes varía según el nutriente del que se trate. Los elementos esenciales pueden tener funciones no específicas en el desarrollo de la planta, que se suman a las funciones específicas señaladas en el Apéndice 1. Por ejemplo, muchos iones son importantes para establecer potenciales osmóticos en las plantas y para mantener la neutralidad eléctrica.

Es obvio que un solo nutrimento puede tener varias funciones en la planta. Los síntomas más característicos vinculados con un determinado nutrimento son aquellos en los que una función específica tiene un requerimiento mucho mayor del nutrimento que las demás funciones. Por ejemplo, el deterioro del metabolismo de las auxinas en las plantas que carecen de zinc provoca los síntomas característicos de distorsión de las hojas y acortamiento de los entrenudos. Cabe señalar que se puede producir confusión cuando varios elementos desempeñan una función en la formación de un componente clave en un proceso fisiológico. Por ejemplo, el nitrógeno y el magnesio son elementos constituyentes de la clorofila. Además, las carencias de azufre, hierro y manganeso provocan la disminución de las concentraciones de clorofila en la planta. También se puede producir confusión cuando un nutrimento interviene en la asimilación o el metabolismo de otro. Así, la carencia de molibdeno en el trigo puede provocar los síntomas de la toxicidad causada por el nitrato porque el molibdeno es un elemento constituyente de la enzima que reduce el nitrato en la planta.

Síntomas vinculados con la movilidad de los nutrimentos

La ubicación de los síntomas de las carencias nutricionales en las plantas dependerá del grado y la velocidad de traslado de los nutrimentos desde las hojas viejas hacia las partes nuevas. Los nutrimentos difieren notablemente en cuanto a su movilidad dentro de la planta (Apéndice 2). El nitrógeno, el fósforo y el potasio se trasladan rápidamente desde las hojas viejas a las partes nuevas. En consecuencia, los síntomas de la carencia de estos elementos se producen inicialmente en las hojas más viejas. Algunos nutrimentos, como el calcio y el boro, al parecer no se trasladan nunca desde las hojas

viejas a las partes nuevas y, por consiguiente, los síntomas de carencias de estos elementos suelen presentarse en las partes jóvenes de la planta.

En el caso de muchos nutrimentos, la magnitud del traslado es variable y depende del grado de la carencia, la especie de la planta y la cantidad de nitrógeno que ésta tenga. Por ejemplo, existe muy poco o ningún movimiento de salida del cobre, el zinc o el molibdeno de las hojas viejas de las plantas que sufren carencia; en consecuencia, los síntomas relacionados con estos nutrimentos se presentan principalmente en los tejidos jóvenes. Cuando la provisión de nitrógeno influye en el movimiento de otros nutrimentos desde las hojas viejas a las partes nuevas, la ubicación de los síntomas de las carencias puede variar de acuerdo con la fluctuación de la provisión de nitrógeno. Un ejemplo de esto es el efecto de la provisión de nitrógeno sobre la ubicación de la carencia de azufre. Cuando abunda el nitrógeno, los síntomas de la carencia de azufre se presentan al principio en las hojas jóvenes. Sin embargo, cuando hay poco nitrógeno, las plantas que padecen carencia de azufre son en general pálidas y los síntomas se presentan inicialmente en las hojas más viejas.

Métodos para identificar las carencias y toxicidades nutricionales

Los síntomas visibles, las parcelas divididas en franjas y los análisis del suelo y de tejidos vegetales son métodos para identificar las deficiencias y toxicidades nutricionales. Señalaremos las ventajas y desventajas de cada método.

Síntomas visibles

Muchas carencias nutricionales producen en los cereales síntomas visibles característicos que pueden ser el primer indicio de que la provisión de nutrimentos limita el desarrollo de las plantas. Estos síntomas son mucho más vagos en el trigo que en otras especies y, por tanto, los síntomas observables en otras especies pueden contribuir a la identificación de una carencia en el trigo. Sin embargo, las distintas especies tienen diversas necesidades de nutrimentos. La disponibilidad de nutrimentos también varía según las especies y una carencia en otro cultivo no implica forzosa-mente que exista carencia del nutrimento en el trigo. En el caso de algunos nutrimentos, los síntomas visibles (por ejemplo, los de la carencia de cobre en el trigo durante el crecimiento vegetativo) son tan característicos que se pueden identificar con certeza las carencias sobre la base de los síntomas únicamente. Por otra parte, las carencias y toxicidades vinculadas con otros nutrimentos pueden producir los mismos síntomas foliares. Así, la carencia de cobre durante el desarrollo reproductivo puede producir el síntoma de la marchitez de los ápices de las espigas similar al provocado por las heladas o la sequía durante la antesis. Para distinguir entre esos factores, se requieren una mayor experimentación y/o el análisis del suelo y tejidos vegetales. En el caso de muchos nutrimentos, el análisis de un tejido apropiado confirmará si fue acertado el diagnóstico de una carencia nutricional con base en los síntomas visuales (Apéndice 3).

Parcelas divididas en franjas

La comparación de franjas de parcelas fertilizadas y no fertilizadas puede ser un método sencillo para confirmar la presencia de una carencia. En estas comparaciones, se puede aplicar el nutrimento al suelo o sobre el follaje para superar la carencia. Cuando se trata de macronutrientes, es mejor la aplicación en el suelo, mientras que, en el caso de los micronutrientes, son apropiadas las aplicaciones foliares o en el suelo (Apéndice 4). La excepción a esta regla general es la carencia de hierro en suelos calcáreos, donde la aplicación del elemento en el suelo tal vez no corrija la carencia.

En muchos casos, es preciso neutralizar los rociamientos foliares para evitar la quemadura de las hojas. Por ejemplo, se emplea el hidróxido de calcio o el carbonato de sodio para neutralizar la acidez y disminuir el riesgo del chamuscado foliar cuando se aplican concentraciones elevadas de sulfato de manganeso. Es mejor agregar los nutrientes uno a uno a causa de los posibles efectos de un nutriente sobre la absorción de otro. Cuando se producen carencias múltiples, es de esperarse que la corrección de una modifique la expresión de los síntomas y por tanto será posible diagnosticar y eliminar sucesivamente las carencias nutricionales.

Análisis del suelo y de tejidos vegetales

Muchas carencias nutricionales pueden limitar considerablemente el desarrollo sin que se presente ningún síntoma. En consecuencia, es esencial usar procedimientos confiables de análisis del suelo y tejidos vegetales para vigilar el estado nutricional y diagnosticar las carencias de nutrientes.

En general, el análisis del suelo no es útil para detectar carencias de micronutrientes o nitrógeno. En el caso de los micronutrientes, ha resultado difícil encontrar un solvente de extracción que permita estimar con precisión la pequeña fracción de la cantidad total del nutriente presente en el suelo que está disponible para ser absorbida por las plantas, en particular en suelos de diversos tipos. Cuando se trata del nitrógeno, el análisis del suelo tiene un valor limitado a causa de la fuerte influencia de la temperatura y la humedad del suelo sobre las transformaciones del nitrógeno en él.

Se pueden establecer algunos criterios generales sobre la disponibilidad de nutrientes para las plantas en relación con el pH del suelo. Como se muestra en el Apéndice 5, las carencias de zinc, manganeso y hierro son más frecuentes en los suelos alcalinos, mientras que las carencias de molibdeno, calcio y magnesio se producen más comúnmente en los suelos ácidos. En el caso de nutrientes como el potasio y el azufre, existe muy poca vinculación entre el pH del suelo y la disponibilidad de esos elementos para las plantas. Las toxicidades provocadas por el aluminio y el manganeso se presentan casi exclusivamente en los suelos ácidos.

Un nutriente puede afectar la absorción de otro de muchas maneras (Apéndice 6; véase el estudio efectuado por Robson y Pitman, 1982). Al igual que estas interacciones, toda condición que disminuya el crecimiento de la raíz (por ejemplo, la toxicidad por aluminio, la carencia de calcio, la carencia de boro y la toxicidad por los iones de hidrógeno en sí) reducirá la absorción de nutrientes.

Cuando se toman muestras para el análisis de los tejidos vegetales, es esencial registrar el estadio de desarrollo de la planta, las prácticas agronómicas empleadas (incluyendo las aplicaciones anteriores de fertilizantes) y otros detalles concernientes al sitio (el tipo de suelo, las condiciones de cultivo). También es importante evitar la contaminación (por ejemplo, el hierro galvanizado es una fuente de zinc y el bronce, una fuente de cobre) y tomar una muestra representativa.

Para diagnosticar las carencias usando el análisis de tejidos de plantas que presentan síntomas, es fundamental describir con claridad los síntomas y reunir muestras de plantas de zonas afectadas y no afectadas de la parcela. Con el fin de evitar los efectos secundarios, se deben tomar las muestras cuando se observan por primera vez los síntomas de la carencia.

Al recoger plantas de zonas pequeñas afectadas uniformemente, se escoge el tamaño de la muestra de acuerdo con el material requerido para las determinaciones químicas. Por lo general, se reúnen y se combinan en forma sistemática entre 30 y 50 vástagos o partes de la planta. Al realizar el muestreo, siempre que sea posible se excluyen las plantas enfermas o dañadas por insectos, y no se toman muestras de plantas expuestas a la sequía. Para evitar la contaminación por elementos presentes en cantidades ínfimas se usan palas de plástico limpias, utensilios cortantes de acero inoxidable y agua destilada o desionizada. Las muestras se envuelven en papel de china y se colocan en bolsas de papel abiertas antes de efectuar la desecación a una temperatura aproximada de 65 °C.

Además de comparar las concentraciones en plantas afectadas y no afectadas, compare concentraciones en plantas de edad semejante con las concentraciones críticas establecidas para el tejido y la especie en cuestión (para una recopilación completa de las concentraciones críticas, véase el trabajo de Reuter y Robinson, 1986). El análisis de los tejidos se basa en la relación entre las concentraciones de nutrimentos en la planta y el estadio de su desarrollo. El factor más importante que afecta esta relación es la medida en que los nutrimentos son trasladados desde los tejidos viejos a las partes nuevas y al grano. En el caso de nutrimentos como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, que en todas las situaciones se trasladan con rapidez desde las hojas viejas, el análisis de vástagos completos proporciona una indicación razonable del estado nutricional; las concentraciones críticas disminuyen con la edad de la planta.

Cuando se trata de nutrimentos que no se trasladan o que son variablemente móviles (Apéndice 2), las concentraciones en los vástagos completos serán malos indicadores del estado nutricional porque reflejan la provisión anterior más que el estado actual. Las concentraciones de nutrimentos en hojas jóvenes han demostrado ser indicadores confiables del estado nutricional actual. Una ventaja adicional es que las concentraciones críticas en tejidos de la misma edad fisiológica (por ejemplo, la hoja totalmente emergida más joven) tienden a disminuir menos con la edad de la planta que las concentraciones críticas en vástagos completos.

En el Apéndice 3, se enumeran las concentraciones críticas establecidas para el trigo a nivel mundial. Es evidente que se requieren más investigaciones para establecer las concentraciones críticas en una gama más amplia de edades de la

planta. Las concentraciones críticas en general no cambian en las variedades de una misma especie. El análisis de tejidos sólo es útil para separar las plantas con una provisión adecuada de las que sufren carencia. No es eficaz para detectar el grado de carencia o la cantidad de nutrimento necesaria para eliminarla.

Guía para el diagnóstico de carencias nutricionales

En las páginas centrales de este libro (páginas 36 y 37) se presenta una guía para diagnosticar las carencias nutricionales del trigo según los síntomas. Se han agrupado los síntomas principales de acuerdo con:

- su ubicación.
- el color de los vástagos completos.

Las subdivisiones están basadas en las características del síntoma específico.

Síntomas de carencias nutricionales en el trigo

Muchos de los síntomas descritos y mostrados en las fotografías siguientes se desarrollaron en presencia de cantidades adecuadas pero no tóxicas de otros nutrimentos. Se produjeron carencias de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, cobre, zinc y molibdeno en plantas de trigo cultivadas en un suelo arenoso virgen. Las carencias restantes se provocaron en plantas desarrolladas en cultivo hidropónico. En todos los casos, junto a las plantas con carencias se cultivaron plantas testigo, muchas de las cuales se muestran en las fotografías para la comparación. Cuando fue posible, se incluyeron fotografías de los síntomas observados en trigo cultivado en condiciones de campo naturales, con el fin de establecer la comparación. Hay ciertos síntomas que son comunes a varias carencias nutricionales y, para señalar esas similitudes, en el Apéndice 7 se presentan estos síntomas comunes en distintas partes de las plantas.

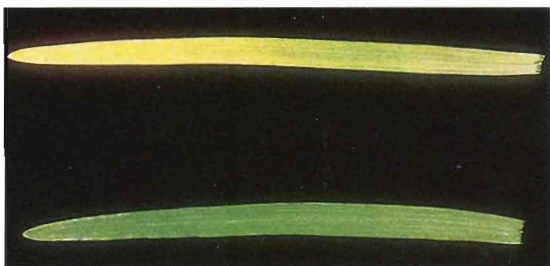
Nitrógeno

La falta de N es la carencia nutricional más frecuente y difundida en los cereales de grano pequeño. A causa de una falla en la producción de clorofila, las plantas que sufren esa carencia son pálidas en comparación con las plantas sanas.

Los síntomas específicos de la carencia de N aparecen primero (como en el caso de las carencias de P y K) en las hojas más viejas que se vuelven pálidas mientras las hojas nuevas permanecen relativamente verdes. Las hojas más viejas presentan clorosis (amarillamiento muy marcado), que comienza en el ápice y gradualmente se torna de color verde claro al bajar por la hoja (1, 2). A medida que la clorosis se propaga a otras hojas, las hojas más viejas se vuelven totalmente cloróticas y su color cambia de amarillo a casi blanco. Sin embargo, puede no producirse la necrosis (muerte de las hojas o sus partes) durante cierto tiempo, en contraste con lo que sucede con las carencias de P y K. Las plantas que carecen de N alcanzan la antesis y la madurez antes que las plantas que disponen de una provisión adecuada del elemento.

En el campo, los síntomas casi siempre comienzan como zonas de color verde pálido o amarillo, que a veces se extienden con tal rapidez que, en un período bastante breve, todo el campo se ve amarillo (3).

- 1) *Síntomas en las hojas viejas (arriba): color amarillo que se convierte en verde.*
- 2) *Reducción del crecimiento (derecha) causada por la carencia de N.*
- 3) *Plantas de trigo que muestran una palidez general debido a la carencia de N.*



1



2

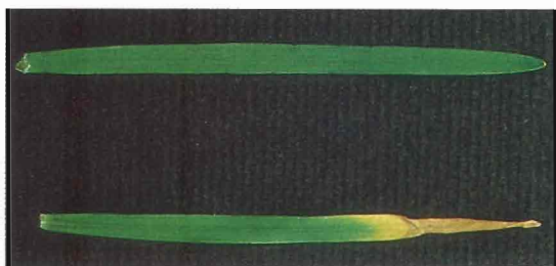


3

M. Mason



4



5



6

Fósforo

Durante las primeras etapas de crecimiento vegetativo, la característica más notable de la carencia de P en el trigo es el menor desarrollo y vigor de la planta. El color de todas las hojas de las plantas que carecen de P se torna verde oscuro opaco y se observa un ligero moteado en la hoja más vieja (4). Las hojas se ven más enroscadas de lo normal y las más viejas a veces encierran a las más jóvenes. Las partes nuevas pueden parecer largas y débiles, y permanecer plegadas durante mucho tiempo.

No obstante, las hojas viejas son las que presentan los síntomas específicos. La clorosis comienza en el ápice de la hoja y avanza hacia su base, pero ésta, como el resto de la planta, mantiene un color verde oscuro (5). A diferencia de la carencia de N, la necrosis de esas partes cloróticas es bastante rápida; el ápice se torna de color anaranjado o café oscuro y se arruga, mientras que el resto de la hoja se vuelve amarillo. Para entonces, la segunda hoja más vieja generalmente ya presenta los síntomas tempranos de la carencia de P. Otros síntomas frecuentes de esta carencia son la madurez retrasada e irregular y las espigas pequeñas.

Por lo común, la carencia de P está más generalizada en el campo afectado que la carencia de N; cuando la carencia es leve, se observan plantas achaparradas con menos vástagos (6). Todo el campo resulta afectado en mayor o menor grado a menos que la carencia obedezca a la aplicación deficiente de fertilizante o cal.

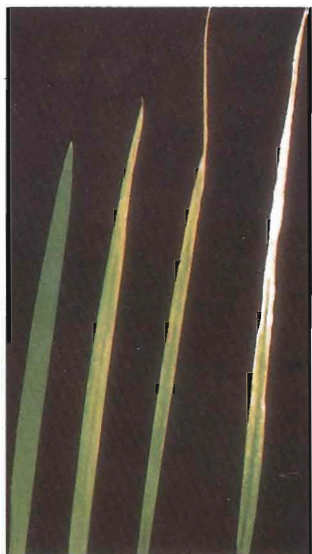
-
- 4) ***Reducción del crecimiento causada por la carencia de P. Plantas testigo a la izquierda.***
 - 5) ***Síntomas de la carencia de P en las hojas viejas. Testigo en la parte superior.***
 - 6) ***Parcelas experimentales en un suelo que carece de P. A la derecha se observan los efectos de la aplicación de P.***

Potasio

Los síntomas específicos de la carencia de K siempre aparecen en las hojas más viejas del trigo, si bien el desarrollo de toda la planta puede ser afectado antes de que se observen los síntomas y todas las hojas tienen una apariencia raquítica y larga. Cuando la carencia de K es grave, la necrosis en las hojas más viejas comienza como motitas necróticas a lo largo de la hoja, que se extienden rápidamente hacia el ápice y los bordes (7). Como resultado de esta propagación de la necrosis, puede quedar una zona de tejido verde en forma de flecha que sube desde la base hacia el centro (8).

Cuando hay carencia de K, los tejidos cloróticos, generalmente observables como zonas moteadas, pronto se vuelven necróticos, en contraste con lo que sucede en la carencia de N. La muerte total de las hojas viejas es frecuente y puede parecer que las plantas en el campo se han secado prematuramente a causa de la sequía. Las carencias de Mg y K en el trigo también hacen que las plantas se vean raquíticas y afectadas por la sequía, con una reducción del peso de 1000 granos. La carencia de K puede presentarse en zonas específicas de un campo vinculadas con arenas de lixiviación profunda, sitios donde se concentra el ganado y la remoción del heno. Las plantas muy afectadas parecen dañadas por la sequía, con grandes cantidades de hojas viejas muertas prematuramente y un crecimiento escuálido.

- 7) *Grados de carencia de K en hojas viejas de trigo que muestran un moteado clorótico, ápices necróticos y la flecha verde. Hoja testigo a la izquierda.*
- 8) *Primer plano del efecto de flecha verde en una hoja vieja.*



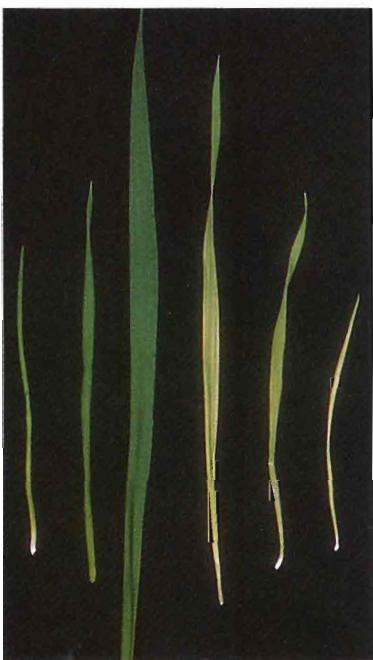
7



8



9



10

Azufre

El azufre en las plantas es un componente de ciertos aminoácidos. Como también participa en la producción de clorofila, los síntomas de esta carencia en el trigo son similares a la clorosis provocada por la carencia de N (es decir, clorosis general de la hoja). Sin embargo, la carencia de S difiere de la de N en que toda la planta se ve pálida, con un mayor grado de clorosis en las hojas jóvenes (9, 10). El patrón de la clorosis de las hojas nuevas puede presentar una intensificación gradual desde el ápice hacia la base, pero pronto las hojas se vuelven totalmente cloróticas y de color amarillo claro.

Cuando la carencia es grave, a medida que envejece la planta suelen presentarse en las hojas viejas otros síntomas además de la palidez.

-
- 9) ***Reducción del crecimiento causada por la carencia de S. Plantas testigo a la izquierda.***
- 10) ***Carencia de S en las tres hojas más jóvenes (derecha). Nótese la clorosis general que se intensifica gradualmente en las hojas que no presentan necrosis. Tres hojas testigo a la izquierda.***

Notas:

Azufre (continúa)

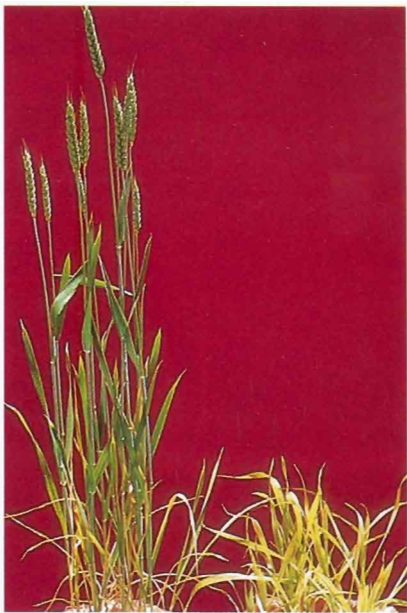
Se puede producir la necrosis del ápice, aunque esto a veces indica una acumulación de nitrato más que un efecto directo de la carencia de S (11). En el campo, los síntomas de esta carencia se asemejan a los de la carencia de N, con un ligero amarillamiento de las hojas (12). No obstante, a diferencia de lo que sucede con la carencia de N, esos síntomas se observan predominantemente en las hojas más jóvenes. La carencia de S es muy marcada cuando se emplea fosfato de monoamonio y fosfato de diamonio, que no contienen S y tienen concentraciones elevadas de N. Cuando se aplica un superfosfato ordinario, que contiene aproximadamente un 12% de S, la carencia de azufre es poco frecuente excepto ya avanzada la temporada en suelos muy arenosos de zonas con precipitación pluvial elevada.

11) *La carencia extrema de S se manifiesta en que no se formaron espigas (derecha). Plantas testigo a la izquierda.*

12) *La carencia de S en el campo se manifiesta en el ligero amarillamiento de las hojas.*

Notas:

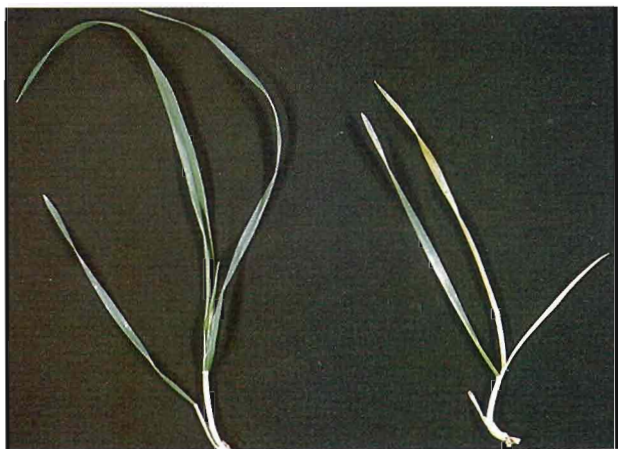
11



12



J. Yeates



13



14

Magnesio

Los síntomas de la carencia de Mg en las plantas de trigo se asemejan en muchos aspectos a los de las carencias de K y Fe. Sin embargo, existe una diferencia importante en la ubicación de los síntomas iniciales de la carencia de K y la de Mg, ya que cuando existe la segunda, los síntomas aparecen primero en las hojas nuevas que se vuelven más pálidas que las hojas viejas (13) (cabe señalar que esta característica también se observa en la carencia de Fe). Las hojas nuevas pronto se vuelven cloróticas, no se abren y se ven retorcidas, dando a la planta un aspecto raquítico que recuerda los efectos de la sequía.

Cuando la carencia de Mg es suficientemente grave, toda la hoja permanecerá plegada o enrollada (14). Después de cierto tiempo, varias hojas, incluido el vástago nuevo, pueden estar plegadas o enrolladas. Con el tiempo, el tejido clorótico

13) *La planta de la derecha muestra la reducción del crecimiento, hojas nuevas plegadas y el contraste de color entre las hojas viejas y las nuevas. Planta testigo a la izquierda.*

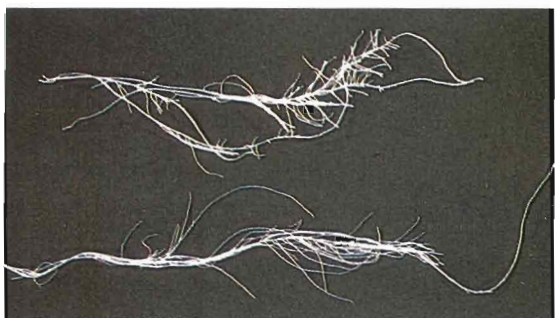
14) *La hoja de la derecha presenta una clorosis marcada y la lámina foliar sin abrir. Hoja testigo a la izquierda.*

Notas:



15

R. Weir



16



17



18

Calcio

El calcio permanece inmóvil en el floema de las plantas y, como desempeña una función importante en el desarrollo del tejido meristemático, los síntomas de la carencia de este elemento siempre aparecen en las partes nuevas; además tienden a presentarse inicialmente en las raíces. Como en el caso de la carencia de B, las raíces principales son más cortas y presentan una proliferación de raíces laterales atrofiadas (16). Las hojas del trigo no se vuelven cloróticas con la carencia de Ca; las hojas viejas, en particular, retienen su color verde oscuro.

El primer síntoma definido son las manchas cloróticas que rodean el centro de las hojas más nuevas. Estas manchas se expanden con rapidez y la hoja se dobla en el centro antes de desenrollarse (17, 18). La carencia grave de Cu puede producir síntomas similares en las partes nuevas, pero a diferencia de lo que sucede con el Ca, en el caso del Cu suele haber hojas más viejas que, igual que las partes nuevas, presentan los ápices marchitos. Además, en la carencia de Cu la porción por arriba de la parte doblada se marchita y pronto se vuelve necrótica, mientras que cuando existe carencia de Ca esa porción permanece verde bastante tiempo. El verdor general y el hábito de crecimiento erecto de las plantas carentes de Ca constituyen otra característica que contrasta con la carencia de Cu, en la cual las plantas están pálidas y parecen marchitas. La carencia de Ca en el trigo es muy poco frecuente en el campo y los autores no la han observado.

-
- 16) *Las raíces del trigo que carece de Ca muestran ramificaciones laterales atrofiadas. Raíces testigo abajo.*
 - 17) *Desenrollamiento de la porción de la hoja más joven por encima y por debajo del punto doblado.*
 - 18) *A la derecha, planta que carece de Ca y presenta las partes nuevas dobladas.*

Hierro

La carencia de hierro, como la de Mg, provoca que las plantas no produzcan suficiente clorofila y, por consiguiente, los síntomas vinculados con el Fe y el Mg pueden ser similares en muchas plantas. En ambas carencias, las hojas nuevas son las primeras afectadas y se vuelven cloróticas, pero, en el caso de la carencia de Fe, el contraste entre el verde de las hojas viejas y la clorosis de las nuevas (19) es más marcado que en las carencias de cualquier otro elemento relativamente inmóvil. El tipo de clorosis que provoca la carencia de Fe es característico en los cereales. Las hojas de trigo muestran una clorosis longitudinal entre las nervaduras (20) que produce un patrón de estrías verdes y amarillas alternadas; este patrón es más regular en la carencia de Fe que en las de Mg o Mn. Cuando la carencia de Fe es grave, las hojas nuevas pueden verse totalmente desprovistas de clorofila y tornarse blancas. Estas hojas permanecen cloróticas bastante tiempo sin que se presente la necrosis, a diferencia de lo que sucede en otras carencias en las que la necrosis se inicia aun cuando parte de la hoja sigue verde.

-
- 19) **Observe el contraste entre las hojas viejas y las nuevas de la planta carente de Fe mostrada a la derecha. Planta testigo a la izquierda.**
- 20) **Clorosis entre las nervaduras. Hoja testigo a la izquierda.**

Notas:

19



20





P C Wall

Hierro (continúa)

En el campo, la carencia de Fe se observa con más frecuencia en suelos calcáreos o después de aplicaciones abundantes de cal. Estas condiciones también pueden inducir la carencia de Mn, pero, como ya se señaló, los síntomas difieren. Además, las plantas que carecen de Fe permanecen relativamente erectas, mientras que las plantas carentes de Mn suelen ser laxas. El desarrollo de las plantas puede ser normal en las zonas compactas (por ejemplo, en las huellas dejadas por las ruedas), mientras que en el resto del campo se observa la clorosis (21). Comúnmente hay un amarillamiento generalizado en todo el campo, a menos que existan afloramientos de piedra caliza donde se localiza la carencia de Fe.

21) Carencia de Fe en el campo. Observe las plantas sanas que crecen en el suelo apisonado por las ruedas.

Notas:

Manganeso

Los cloroplastos de las plantas son muy sensibles a la carencia de Mn, la cual da origen a plantas pálidas y, en cierta medida, se asemeja a las carencias de Fe y Mg. No obstante, los síntomas de la carencia de Mn pueden ser muy característicos.

En el trigo, los síntomas se manifiestan primero en las hojas nuevas, que se vuelven pálidas y laxas en contraste con las hojas viejas (22). Aparecen entonces pecas y estrías de color gris claro en la base de la hoja totalmente abierta más joven. Cuando la carencia es grave, las hojas nuevas emergen con estas pecas y estrías en toda su extensión. Si bien el estriado se presenta entre las nervaduras, difiere del provocado por la carencia de Fe por su irregularidad y por las pecas que lo acompañan. Con el tiempo, estas hojas nuevas pierden más clorofila, en particular en la mitad inferior de la hoja (23, 24) donde se inicia la necrosis, y se doblan. Al llegar a esta etapa sintomática, se han convertido en hojas intermedias.

La carencia grave en el campo se manifiesta en los síntomas antes señalados y en la marchitez de los vástagos nuevos. Como en el caso de la carencia de Fe, la falta de Mn en el campo puede presentarse en suelos calcáreos o después de aplicaciones abundantes de cal. La carencia de Mn es evidente en grupos de plantas pálidas y laxas en medio de un cultivo verde y sano; los síntomas pueden ser más marcados en las zonas apisonadas, como las huellas dejadas por las ruedas.

22) Obsérvese los síntomas en las hojas nuevas y de mediana edad. Planta testigo a la izquierda.

23) Obsérvese la parte superior verde y la intensidad de los síntomas en la mitad inferior.

24) Distintos grados de carencia de Mn.



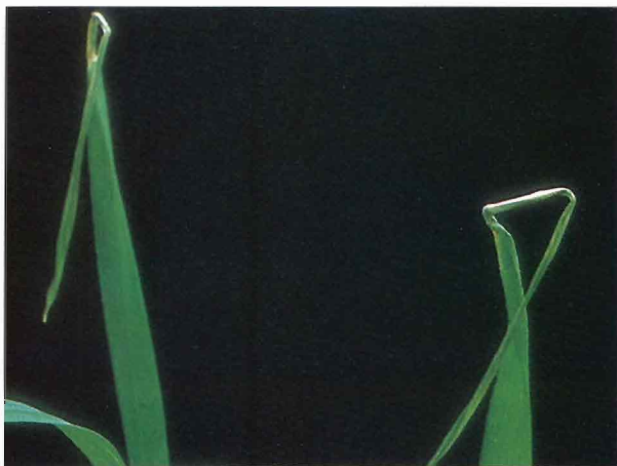
22



23



24



25



26

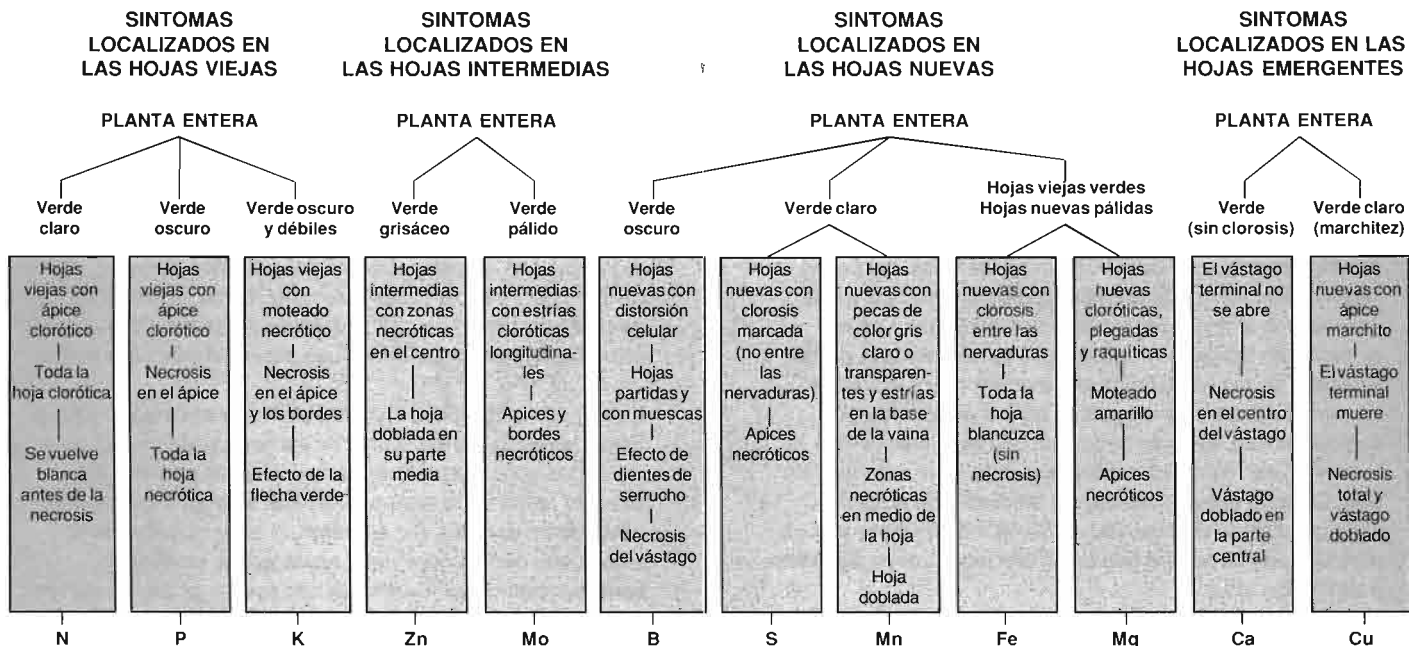
Cobre

Los primeros síntomas visibles de la carencia de Cu en el trigo son la marchitez general de toda la planta que se produce a comienzos de la etapa del macollamiento, aun cuando el cobre en el suelo puede encontrarse a la capacidad del campo. Si la carencia es suficientemente grave, se puede percibir un efecto sobre el desarrollo de los macollos mismos. Aunque como en los casos de otras carencias, inicialmente hay una disminución del macollamiento causado por la falta de Cu, en las plantas muy afectadas por esta carencia puede producirse una proliferación de macollos cuando las plantas que cuentan con una provisión adecuada del elemento están en la etapa de la elongación de los tallos. Las plantas carentes de cobre también presentan un color más claro. Estos síntomas en general sólo son aparentes cuando se establecen comparaciones con plantas que tienen una provisión adecuada de Cu.

La marchitez del ápice, el primer síntoma característico de la carencia de Cu, se manifiesta en las hojas jóvenes. Aparece como una súbita marchitez (enroscamiento) y muerte del extremo apical de la lámina foliar, que a veces llega hasta la mitad de la hoja (25). Sin embargo, el extremo basal de la hoja puede permanecer verde hasta que se produce la senescencia normal. Cuando la carencia es grave, las partes nuevas, como sucede con la carencia de Ca, se marchitan antes de desenrollarse y emergen pocas espigas. Con carencias menos intensas, pueden emerger las espigas, pero a veces no se forman granos en las espiguillas de la punta de la espiga (26). Toda la espiga toma un aspecto de
(continúa en la página 38)

-
- 25) Obsérvese la marchitez (enroscamiento) del ápice y el extremo basal sano y normal de la lámina foliar.**
26) No se formaron granos en la punta de la espiga.

GUIA PARA EL DIAGNOSTICO DE CARENCIAS NUTRICIONALES EN EL TRIGO



Se agruparon los síntomas principales de acuerdo con su ubicación en la planta. Los encabezamientos en letras grandes se refieren a esa ubicación. Luego se usó el color de toda la planta para establecer las separaciones entre las carencias minerales.

Las descripciones incluidas en los recuadros se refieren específicamente a los síntomas que se han localizado, los cuales, en general, están ordenados en cada columna según su secuencia cronológica. Los comentarios en la parte superior de los recuadros se refieren a partes de la planta en una etapa temprana de su desarrollo, mientras que los comentarios en la parte inferior se relacionan con un período posterior de ese desarrollo.

Cobre (continúa)

“cola de rata”, con granos llenos en la base, granos arrugados en el medio y un ápice necrótico marchito. Esta apariencia de cola de rata a veces es confundida con el daño causado por las heladas (27). La carencia leve de Cu puede disminuir el rendimiento de grano al provocar el arrugamiento de los granos y la inclinación del tallo y la espiga. Se necesita Cu para la lignificación de las paredes celulares y, por consiguiente, una carencia de ese elemento disminuye la fortaleza del tallo.

La carencia de Cu, junto con otros factores, puede ser la causa de la formación de melanina, la cual hace que algunas plantas presenten un color púrpura en los tallos, los nudos y hasta en las glumas de las espiguillas. Son muchos y muy variados los síntomas observables en el campo. Los síntomas en las partes vegetativas abarcan desde la palidez y flacidez de las hojas hasta la marchitez de los ápices (25). En muchos casos, los efectos no se manifiestan hasta el espigamiento o aun más tarde, con una decoloración (por la melanina) del rastrojo durante la cosecha y después de ésta (28). Campos enteros pueden ser afectados de manera uniforme cuando el contenido de Cu es inherentemente bajo, pero también es posible que estén afectadas zonas definidas y separadas (29).

27) *El daño causado a la espiga por las heladas a veces es confundido con la carencia de Cu.*

28) *Carencia de Cu en el campo, que muestra decoloración del rastrojo.*

29) *Grupos de plantas afectadas por la carencia de Cu en el campo.*

27



S. Fuentes

28



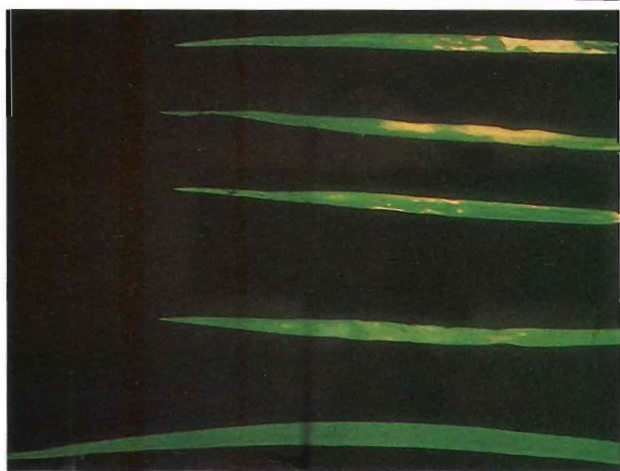
29





30

31



Zinc

En general, los primeros síntomas de la carencia de Zn en el trigo aparecen en las hojas de mediana edad (30), pero existe una variación considerable entre plantas individuales, ya que algunas plantas presentan síntomas simultáneamente en las hojas viejas y las de mediana edad. Estos síntomas iniciales incluyen la modificación del color que, de un verde saludable, se convierte en un verde grisáceo opaco, comúnmente en las regiones centrales de la hoja (30, 31). Estas regiones parecen afectadas por la sequía y pronto se presentan zonas necróticas que comienzan con una pequeña mancha necrótica (31) y gradualmente se extienden hacia los bordes. A medida que la carencia se torna más intensa, muchas hojas toman un aspecto aceitoso; las manchas

30) *Obsérvese los síntomas de la carencia de Zn en el centro de la hoja de mediana edad.*

31) *Grados de carencia de Zn observables en hojas de trigo. Hoja testigo abajo.*

Notas:

Zinc (continúa)

necróticas se hacen más grandes y se ven rodeadas por zonas moteadas de color verde y amarillo (32). En esta etapa, las hojas carentes de Zn tienden a doblarse por la parte media y se observan síntomas incluso en las hojas más jóvenes.

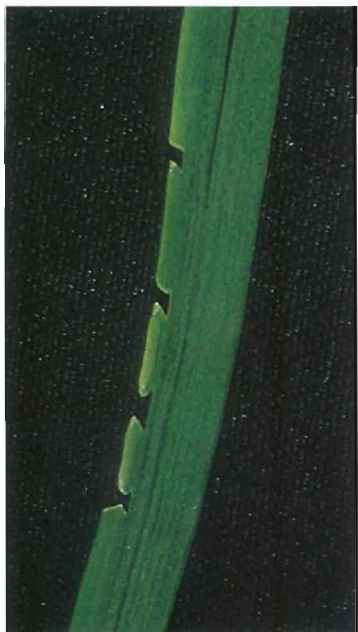
La carencia de Zn en el trigo puede producirse en suelos con un contenido bajo del elemento, en suelos donde éste no es accesible a las plantas y en suelos donde la cantidad de Zn accesible se ha reducido. La carencia grave de Zn en el campo suele originar plantas cloróticas y atrofiadas, con muchas hojas dobladas a causa de la necrosis en su parte central. Pueden resultar afectados campos enteros, pero, más comúnmente, se observan zonas cloróticas definidas y separadas. El superfosfato ordinario suele contener cantidades considerables de Zn como contaminante, y cuando se reemplaza el superfosfato por fertilizantes fosfáticos con un bajo contenido de Zn en suelos arenosos, es posible observar efectos muy marcados de la carencia de Zn.

32) *Primer plano de una hoja de trigo carente de Zn, que presenta el moteado y lesiones necróticas.*

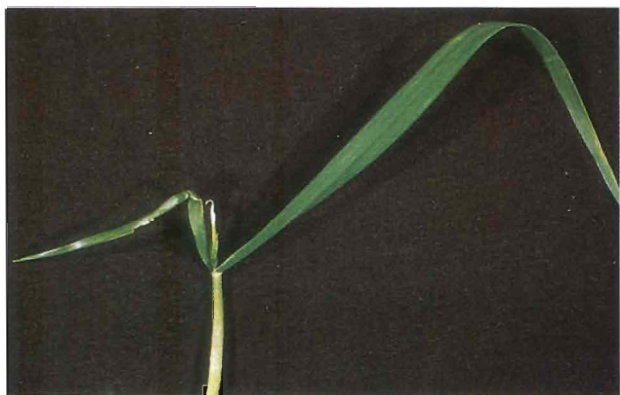
Notas:



33



34



Boro

Como resultado del carácter pasivo de la absorción de B y la inmovilidad de este elemento en la planta, la expresión de los síntomas cuando la carencia es leve es en extremo variable y en ella influyen mucho las condiciones climáticas existentes en determinadas etapas del desarrollo de la planta. El primer signo característico de la carencia de B es que las hojas más nuevas se parten a lo largo, cerca de la nervadura central (33). Este fenómeno es acompañado por unas muescas peculiares, también a lo largo de la hoja, pero en el lado de la nervadura central opuesto a la fisura. En algunas hojas nuevas hay una pérdida de clorofila que se manifiesta en una franja muy estrecha de color claro a todo lo largo de la hoja.

Aunque no siempre se presenta, otro síntoma característico de la carencia de B son los bordes en forma de dientes de serrucho en las hojas jóvenes (33), lo que refleja un desarrollo celular anormal. A medida que empeora la carencia, se produce un aumento del macollamiento, los vástagos nuevos parecen empapados (34) y son más pálidos que las partes viejas de la planta. Se produce una distorsión considerable a lo largo de los bordes de esas hojas. Por último, las partes nuevas se vuelven necróticas y se marchitan los vástagos, en forma similar a lo que ocurre en las carencias extremas de Cu y Ca.

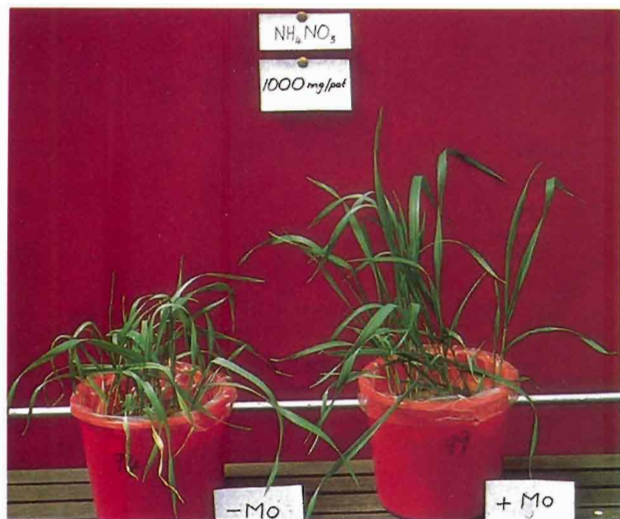
33) *Bordes foliares en forma de dientes de serrucho y fisura de la hoja atribuidos a la carencia de B.*

34) *Hojas nuevas que parecen empapadas.*

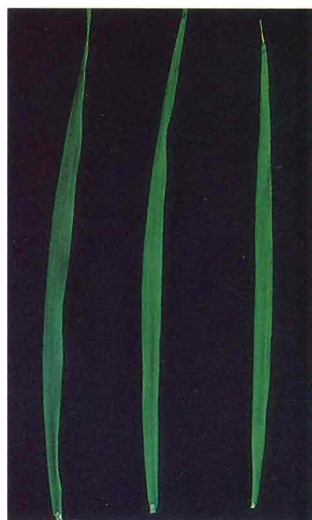


P. R Hobbs

35



36



37

Molibdeno

Los síntomas de la carencia de Mo dependen en cierta medida del estado nutricional de la planta con respecto al N. Cuando se aplican cantidades escasas de N, los síntomas iniciales de hojas laxas en las plantas carentes de Mo contrastan con las hojas erectas de las plantas que cuentan con una provisión adecuada de este último elemento (36). No se observan diferencias en cuanto al color. Sin embargo, cuando se aplican cantidades elevadas de N, las plantas de trigo carentes de Mo tienen un color verde mucho más pálido que el de las que cuentan con suficiente Mo (36). Cuando se aplican cantidades muy elevadas de N a las plantas carentes de Mo, puede producirse el chamuscado de las hojas viejas porque el Mo es un componente de la enzima nitrato reductasa y se pueden acumular concentraciones tóxicas de nitrato en las hojas viejas.

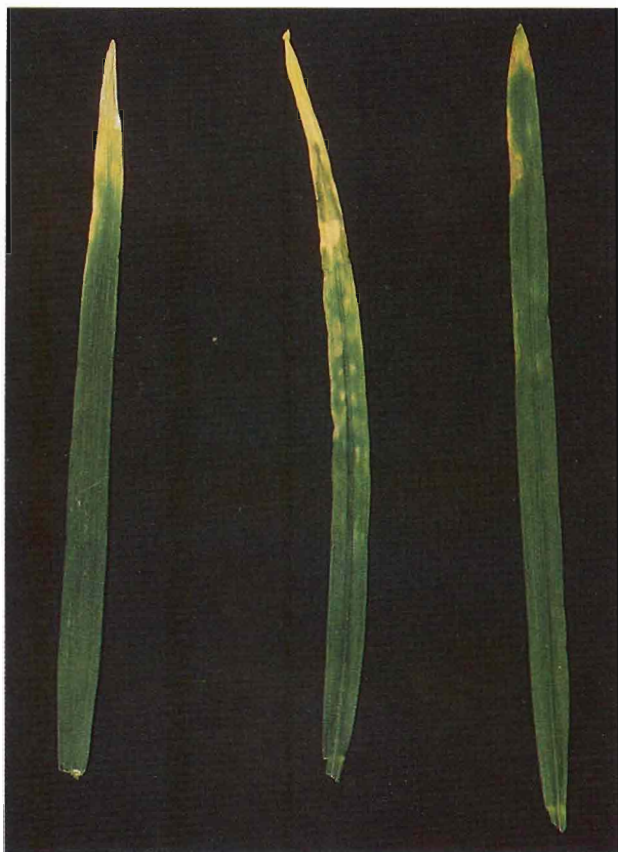
Un síntoma característico de la carencia de Mo son las estrías amarillas longitudinales, principalmente en las hojas intermedias (37). Las plantas son de color verde muy pálido y laxas en comparación con las que tienen una provisión adecuada de Mo. Las hojas viejas permanecen más verdes que el resto de la planta, pero, con el tiempo, en algunas plantas se produce la necrosis de los ápices y los bordes de

36) Trigo sin (izquierda) y con Mo, cultivado en un suelo arenoso ácido con una provisión moderada de N.

37) Las estrías amarillas longitudinales son características de la carencia de Mo. Hoja testigo a la izquierda.



J. Gartrell y M. Riley



39

Síntomas de toxicidades nutricionales en el trigo

Se produjeron toxicidades causadas por fósforo y boro cultivando las plantas en un suelo arenoso de color café; se provocó la toxicidad por aluminio en un suelo francoarenoso ácido. No se logró inducir la toxicidad por manganeso a pesar de que se empleó una tasa de aplicación equivalente a 30 veces la tasa recomendada del producto comercial. Se cultivaron plantas testigo con aplicaciones de fósforo y boro que produjeron el desarrollo máximo. En el caso del aluminio, se cultivaron las plantas testigo con aplicaciones de cal, ya que la acidez del suelo no tratado bastaba para producir la toxicidad por ese elemento.

Es difícil distinguir entre los síntomas de las toxicidades provocadas por el fósforo, el boro y el aluminio. Todos esos síntomas aparecen en la hoja más vieja y comienzan en el ápice (39). No obstante, hay diferencias en los grados de clorosis y necrosis y en el desarrollo de éstas.

39) De izquierda a derecha, comparación de la toxicidad causada respectivamente por el P, el B y el Al en hojas viejas de trigo.

Notas:

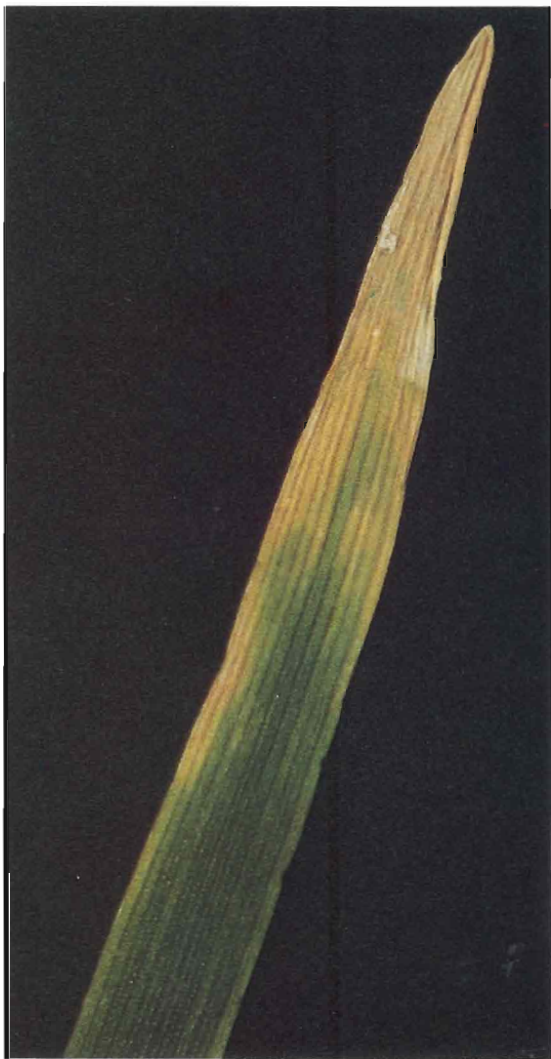
Fósforo

Los primeros indicios de la toxicidad por el P se presentan como una clorosis moteada justo detrás del ápice de la hoja más vieja y a lo largo de sus bordes (40). El ápice rápidamente se vuelve necrótico. En unos días, la progresión de los síntomas hace que el tejido clorótico se torne de color amarillo brillante a lo largo de los bordes; se observa entonces el efecto de flecha verde y una mayor necrosis del ápice. La base de la hoja permanece verde y sana.

Cuando existe una toxicidad intensa causada por el P, se presentan síntomas similares en la segunda hoja más vieja, que, con el tiempo, avanzan hacia todas las hojas y causan la muerte de la planta. En el campo, en muchos casos las plantas pueden inicialmente mostrar síntomas de toxicidad producidos por concentraciones elevadas de P cerca de las semillas en germinación, pero superan la toxicidad al parecer sin que resulte afectado el rendimiento.

40) *Síntomas de la toxicidad causada por el P en una hoja vieja de trigo.*

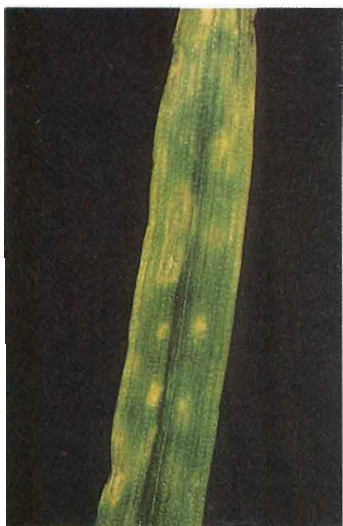
Notas:



40



41



42

Boro

En las primeras etapas del desarrollo, los síntomas de la toxicidad por el B no se distinguen de los de la toxicidad por el P. Con el tiempo, la clorosis causada por la toxicidad del B es menos amarilla, pero la apariencia moteada de la clorosis y la necrosis del ápice de la hoja más vieja son similares en ambas toxicidades; sin embargo, en el caso de la toxicidad por el B, esas zonas cloróticas moteadas se ven deshidratadas y la necrosis del ápice baja por los bordes formando un fino ribete necrótico (41). A medida que aumenta la intensidad de los síntomas, aparecen manchas cloróticas individuales que avanzan desde los bordes hacia abajo de la hoja (42). Dentro de las manchas cloróticas pronto se forman zonas necróticas que finalmente se unen y dan a las hojas un aspecto arrugado y muerto. El trigo parece ser más tolerante a la toxicidad por el B que la cebada. Los síntomas de la toxicidad por el B a veces pueden confundirse con infecciones provocadas por hongos.

41) *Distintos grados de síntomas de la toxicidad por el boro. Hoja testigo a la izquierda.*

42) *Obsérvese las manchas cloróticas individuales en una hoja vieja de trigo.*

Notas:

Aluminio

En los diversos tipos de trigo, existe variabilidad genética en cuanto a la tolerancia a la toxicidad provocada por el Al. Aunque el retraso del desarrollo de las raíces en las variedades susceptibles de trigo es el síntoma más característico de la toxicidad por el Al (43), hay que tener cuidado de no confundirla con las infestaciones por nematodos y las enfermedades de la raíz. El primer indicio de la toxicidad por el Al que se observa en las partes aéreas de la planta es la reducción del desarrollo, con plantas de aspecto raquítrico (44) que tienen hojas más delgadas de lo normal (45). Esto puede obedecer al efecto temprano sobre el desarrollo de las raíces.

El primer síntoma foliar específico de la toxicidad por el Al (como en el caso del B y el P) es un amarillamiento a lo largo del borde de la hoja más vieja, cerca del ápice. En unos días, aparecen lesiones de color café en estas regiones cloróticas, que avanzan desde los bordes y provocan la formación de muescas. El progreso de estos síntomas es rápido y hace que las hojas viejas parezcan afectadas por la sequía, se marchiten y a veces se doblen por la parte media de la hoja.

-
- 43) *Retraso del desarrollo de las raíces en una variedad de trigo susceptible a la toxicidad por el Al (derecha), en comparación con una variedad tolerante.*
 - 44) *Reducción del crecimiento de plantas de trigo susceptibles a la toxicidad por el Al (derecha), comparadas con plantas tolerantes de crecimiento normal.*
 - 45) *Grados de toxicidad por el Al en las hojas. Hoja testigo a la izquierda.*

G. P. Hettel



43



44

G. P. Hettel



45



46



CIMMYT files

47

Manganeso

Los síntomas de la toxicidad provocada por el Mn se manifiestan primero en la hoja más vieja de la planta y avanzan hacia las hojas más jóvenes. Los síntomas pueden cambiar de una variedad a otra e incluyen clorosis con poca necrosis, clorosis que se convierte en necrosis y, en algunos casos, enrojecimiento combinado con necrosis y clorosis (46). Estos síntomas comienzan a aparecer en el ápice de la hoja más vieja y avanzan a lo largo de la hoja; los bordes son las partes más afectadas. En algunas variedades aparece una mancha café en la hoja, mientras que en otras se observan pecas grisáceas de tejido necrótico en toda la hoja, generalmente acompañado de clorosis y/o necrosis del ápice.

46) *Síntomas de la toxicidad por el Mn en porciones de hojas viejas. Observe la combinación de necrosis y clorosis.*

La salinidad

Las concentraciones de sal en un campo rara vez son uniformes; por consiguiente, uno de los primeros síntomas que indican un problema de salinidad es la variabilidad del desarrollo del cultivo dentro de un mismo campo. Son bastante frecuentes las zonas aisladas sin plantas (47). Las plantas que sufren toxicidad causada por la sal se ven achaparradas y de color verde azulado oscuro; las hojas presentan el ápice quemado y los bordes chamuscados. Un análisis del suelo puede confirmar rápidamente si las concentraciones de sal son excesivas.

47) *Las zonas aisladas sin plantas son frecuentes en los campos cuyo suelo contiene concentraciones elevadas de sal.*

Glosario

Auxina: compuesto que regula el crecimiento de las plantas.

Clorofila: pigmento verde de las plantas, necesario para la fotosíntesis.

Cloroplasto: estructura de la planta donde se produce la fotosíntesis.

Clorosis: amarillamiento anormal de las hojas.

Enzima: compuesto orgánico que cataliza una reacción específica en la célula.

Espiguilla: estructura de la planta que produce los granos en la espiga de los cereales.

Floema: tejido vegetal especializado cuya función principal es conducir las sustancias orgánicas.

Meristema: tejido de células que se dividen con rapidez, generalmente en el ápice del vástago y de la raíz.

Metabolito: compuesto que sufre transformaciones químicas en la planta.

Micronutriente: nutriente requerido en cantidades ínfimas (véase el Apéndice 3).

Necrosis: muerte prematura de las hojas.

Reductasa: enzima que cataliza la reducción.

Senescencia: muerte normal de las hojas.

Xilema: tejido vegetal especializado que conduce el agua y las sales inorgánicas desde las raíces a las hojas.

Bibliografía citada

- Epstein, E. 1982. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. Nueva York: John Wiley and Sons.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. Londres: Academic Press.
- Mengel, K. y E.A. Kirkby. 1982. Principles of plant nutrition. Berna, Suiza: International Potash Institute.
- Reuter, D.J. y J.B. Robinson. 1986. Interpretation of Plant Analyses: A Manual. Melbourne: Inkata Press.
- Robson, A.D. y M.G. Pitman. 1982. Interactions between nutrients in higher plants. En: A. Lauchli y R.L. Bielecki, eds. Encyclopedia of Plant Physiology, Vol. 15, pp. 141-173. Berlín: Springer-Verlag.
- Truog, E. 1948. Lime in relation to availability of plant nutrients. Soil Sci. 56: 1-7.

Literatura adicional

- Bergmann, W. 1988. Nutritional Disorders in Cultivated Plants. Causes and Visual and Analytical Diagnosis. Gustav Fischer Verlag. 2nd Edition, Stuttgart, German Federal Republic.
- Bould, C. 1984. Methods of diagnosing nutrient disorders in plants. Pp. 111-136 in: Diagnosis of Mineral Disorders in Plants. Ed. J.B.D. Robinson. 1st American Edition, New York: Chemical Publishing.
- Chapman, H. D. 1986. Diagnostic criteria for plants and soils. University of California.
- Snowball, K. y A.D. Robson. 1983. Symptoms of nutrient deficiencies: Subterranean clover and wheat. Perth: University of Western Australia.

Apéndice 1. Funciones de elementos esenciales en las plantas (para más detalles véanse los trabajos de Epstein, 1972; Mengel y Kirkby, 1982; Marschner, 1986).

| Elemento | Símbolo químico | Proceso fisiológico | Activadores de enzimas | Componentes de los metabolitos |
|-----------------|------------------------|---|-------------------------------|--|
| Nitrógeno | N | Varios | | Aminoácidos, proteínas, nucleótidos, clorofila |
| Fósforo | P | Transferencia de energía, integridad de la membrana | | ATP, nucleótidos, fosfolípidos |
| Potasio | K | Traslado, apertura de estomas | Sí | |
| Azufre | S | Síntesis y función proteínicas, estructura | | Aminoácidos, coenzimas, proteínas |
| Calcio | Ca | Mantenimiento de la membrana | Sí | Pectatos de calcio |
| Magnesio | Mg | Asimilación de CO ₂ | Sí | Clorofila |

| | | | |
|-----------|----|---|---|
| Cloro | Cl | Mantenimiento, neutralidad eléctrica, turgencia interna | |
| Cobre | Cu | Síntesis de lignina | Acido ascórbico oxidasa, fenolasas, plastocianina |
| Zinc | Zn | Metabolismo de auxinas, síntesis de nucleótidos | Sí Deshidrogenasas |
| Manganeso | Mn | Oxidación-reducción en el transporte de electrones | Sí |
| Hierro | Fe | Transporte de electrones | Porfirinas de hierro (hojas), ferredoxina |
| Boro | B | Síntesis de nucleótidos, traslado de asimilados | |
| Molibdeno | Mo | Fijación de nitrógeno, reducción de nitratos | Nitrogenasa, nitrato reductasa |

Apéndice 2. Movilidad de los nutrimentos en las plantas.

| Móvil ^a | Variablemente Móvil ^b | Inmóvil ^c |
|--------------------|----------------------------------|----------------------|
| Nitrógeno | Cobre | Calcio |
| Fósforo | Zinc | Boro |
| Potasio | Azufre | Manganeso |
| Magnesio | Molibdeno | |
| Hierro | | |

- ^a *Retrasladado desde las hojas viejas a las partes nuevas en todas las condiciones.*
- ^b *Retrasladado desde las hojas viejas a las partes nuevas sólo en ciertas condiciones.*
- ^c *No es retrasladado desde las hojas viejas a las partes nuevas en ninguna circunstancia.*

Apéndice 3. Concentraciones de nutrimentos en vástagos y hojas jóvenes, que son insuficientes, críticas, adecuadas o tóxicas para el desarrollo del trigo. Los valores indicados son únicamente una guía. Para información más detallada, véase el trabajo de Reuter y Robinson (1986).

| Nutrimento | Edad | Parte de la planta | Insuficiente | Crítica | Adecuada | Tóxica |
|-----------------------------------|------|--------------------|-----------------|---------|-----------|------------|
| Macro (% del peso seco) | | | | | | |
| Nitrógeno | 5-6 | 30-31 | VE ^b | <3.4 | 3.7 - 4.2 | 4.2 - 5.1 |
| Fósforo | 4-6 | 31 | VE | <0.2 | 0.3 | 0.3 - 0.5 |
| Potasio | 10.1 | 57 | VE | <1.3 | 1.5 | >1.6 |
| Azufre | 8 | 37 | VE | <0.15 | 0.15 | 0.2 - 0.3 |
| Calcio | 5 | 30 | VE | <0.15 | 0.2 | 0.2 - 0.3 |
| Magnesio | 3-5 | 20-30 | VE | <0.10 | 0.15 | 0.15 - 0.3 |
| Micro (µg/g del peso seco) | | | | | | |
| Cobre | 3-10 | 20-45 | HN ^c | <1.3 | 1.3 - 1.5 | >2.0 |
| Zinc | 3-5 | 20-30 | HN | <12 | 14 | 15 - 70 |
| Manganeso | 4-6 | 31 | HN | <10 | 10-13 | 20 - 100 |
| Boro | Var. | Var. | HN | <3 | - | 3-25 |
| Molibdeno | 1-10 | 10-45 | HN | <0.05 | 0.075 | >0.1 |
| Hierro | 1-10 | 10-45 | HN | - | - | 25 - 100 |

^a EF = escala de Feeke; EZ = escala de Zadoks

^b VE = vástagos enteros

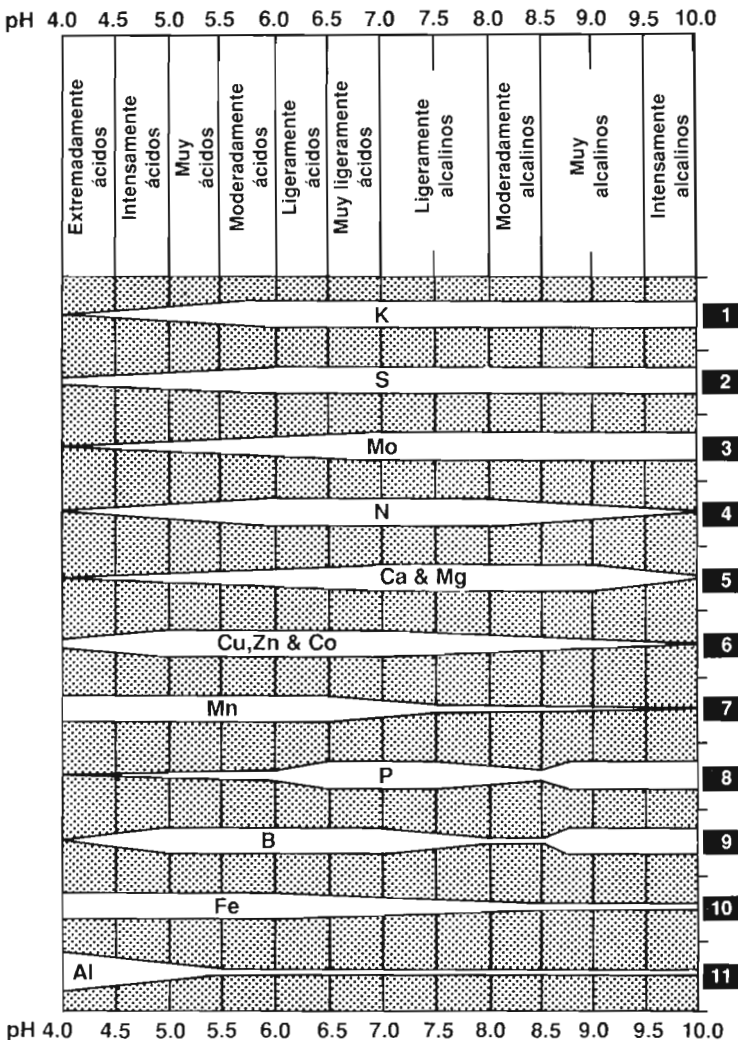
^c HN = hojas nuevas

Apéndice 4. Tipos de suelos con mayores probabilidades de presentar carencias nutricionales, fertilizantes que pueden corregir esas carencias y tasas de aplicación.

| Tasas de aplicación de la aspersión | | | |
|-------------------------------------|---|---|--|
| Nutri- mento | Suelos donde es más probable la carencia | Fertilizantes que pueden corregir la carencia | Tasa en kg/ha (elemento) Concentración para aplicaciones foliares |
| N | Muchos tipos de suelos | Nitrato de amonio Urea Fosfato de diamonio Sulfato de amonio | - - |
| P | Muchos tipos de suelos | Superfosfato Fosfato de diamonio | - - |
| K | Suelos de textura gruesa Baja capacidad de intercambio de cationes Precipitación elevada con gran remoción de productos | Cloruro de potasio Nitrato de potasio Sulfato de potasio | - - |
| S | Suelos arenosos donde se produce lixiviación | Superfosfato Sulfato de calcio Sulfato de potasio | - - |

| | | | | |
|----|---|---|------|--|
| Mg | Suelos ácidos con baja capacidad de intercambio de cationes | Carbonato de calcio y magnesio Sulfato de magnesio | - | - |
| Ca | Suelos ácidos o de serpentina | Carbonato de calcio Sulfato de calcio | - | - |
| Cu | Suelos con alto contenido de materia orgánica Suelos de laterita Suelos derivados de sedimentos marinos | Sulfato de cobre Óxido de cobre | 0.25 | 0.5%CuSO ₄ ·5H ₂ O |
| Zn | Suelos de laterita Suelos calcáreos | Sulfato de zinc Óxido de zinc | 0.24 | 0.5%ZnSO ₄ ·7H ₂ O |
| Fe | Suelos calcáreos con pH elevado Suelos calcáreos con ph >7 (1:5 de suelo/agua) | Sulfato ferroso Óxido de manganeso | 1-2 | 1%MnSO ₄ ·H ₂ O |
| Fe | Suelos calcáreos con pH elevado | Sulfato ferroso EDTA hierro EDDHA hierro | 0.2 | 0.51%FeSO ₄ |
| B | Suelos arenosos ácidos derivados de materiales volcánicos | Borato de sodio Ácido bórico | 0.6 | 0.3%Na ₂ B ₄ O ₇ ·5H ₂ O+ Na ₂ B ₁₀ O ₁₆ ·10H ₂ O |
| Mo | Suelos ácidos con alto contenido de hierro | Trióxido de molibdeno | 0.1 | 0.05%Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O |

Apéndice 5. Efecto del pH sobre la disponibilidad de elementos comunes en distintos tipos de suelos. Adaptado de Truog (1948).



Notas correspondientes al Apéndice 5.

- 1** Probables carencias con un pH bajo.
- 2** Cierta reducción con un pH bajo, pero siguen activas las bacterias que facilitan la absorción de S.
- 3** Similar al K.
- 4** Disminución de la fijación bacteriana con un pH inferior a 5.5 aproximadamente.
- 5** Pueden faltar en suelos ácidos. No disponibles con un pH muy alto.
- 6** Pueden ser tóxicos en suelos ácidos y faltar con un $\text{pH} > 7.0$.
- 7** Similar a Cu, Zn, y Co.
- 8** Puede ser fijado por Fe, Al y Mn con un pH bajo; formas insolubles con pH elevados, también inhibición de Ca.
- 9** El encalado excesivo puede provocar carencia. Peligro de toxicidad con un pH elevado.
- 10** Similar a Cu, Zn, y Co.
- 11** Se recomienda el encalado hasta llegar a un pH de 5.5 para evitar el peligro de la toxicidad cuando el pH es bajo.

Apéndice 6. Efectos de otros nutrimentos y del encalado sobre la absorción y el transporte de nutrimentos.

| Nutrimento | Absorción disminuida por | Absorción aumentada por | Transporte hasta el punto de crecimiento disminuido por |
|------------|---|-------------------------|---|
| Calcio | Amonio-nitrógeno Magnesio Potasio | | |
| Potasio | Amonio-nitrógeno Magnesio Calcio | | |
| Magnesio | Amonio-nitrógeno Calcio Potasio | | |
| Azufre | | | Nitrógeno |
| Cloro | Bromuros | | |
| Molibdeno | Sulfatos | Fosfato Encalado | |
| Zinc | Cobre Encalado Calcio Magnesio | | Nitrógeno |
| Boro | Encalado | | |
| Cobre | Zinc | | Nitrógeno |
| Manganeso | Calcio Magnesio Hierro Encalado | Amonio-nitrógeno | |
| Hierro | Manganeso Calcio Magnesio Encalado | Amonio-nitrógeno | Fosfatos |

Apéndice 7. Síntomas similares de distintas carencias nutricionales en diversas partes de la planta.

Vástago entero

| Síntomas | Carencia nutricional | | | | |
|------------------------------------|----------------------|----|----|----|----|
| Verde claro | N | S | Mn | Cu | Mo |
| Verde grisáceo | Zn | | | | |
| Verde | Ca | | | | |
| Verde obscuro | P | B | K | | |
| Hojas viejas verdes | Fe | Mg | | | |
| Hojas nuevas pálidas Raquíptico | K | | | | |

Hojas viejas

| Síntomas | Carencias con síntomas en las hojas viejas | Carencia con síntomas similares en hojas que no sean las viejas |
|---------------------------------|--|---|
| Necrosis del ápice y los bordes | N P | |
| Clorosis de toda la hoja | N | S Mg Fe Cu Mo |
| Necrosis del ápice | P | Mg S |
| Necrosis de toda la hoja | P | |
| Necrosis del ápice y los bordes | K | Mo |
| Motitas necróticas | K | Mn |
| Efecto de la flecha verde | K | |

Apéndice 7 (continúa)

Hojas intermedias

| Síntomas | Carencia con síntomas en las hojas intermedias | Carencia con síntomas similares en hojas que no sean las intermedias |
|------------------------------------|--|--|
| Clorosis general | Mo | S Mg Fe Cu N |
| Necrosis del ápice y los bordes | Mo | K |
| Necrosis central | Zn | Mn |
| Hoja doblada (en la parte central) | Zn | Mn |
| Estrías longitudinales | Mo | |
| Aspecto de hojas empapadas | Zn | B |

Apéndice 7 (continúa)

Hojas nuevas

| Síntomas | Carencia con síntomas en las hojas nuevas | Carencias con síntomas similares en hojas que no sean las nuevas |
|-------------------------------|---|--|
| Clorosis general | S Mg Fe | |
| Clorosis entre las nervaduras | Fe | |
| Clorosis moteada | Mg | |
| Apices necróticos | Mg S | P |
| Parte media necrótica | Mn | Zn |
| Hoja doblada | Mn | Zn |
| Pecas y estrías | Mn | |
| Plegadas y raquílicas | Mg | K |
| Aspecto de hojas empapadas | B | Zn |
| Distorsión de las hojas | B | |

Apéndice 7 (continúa)

Hojas emergentes

| Síntomas | Carencias con síntomas en las hojas emergentes | Carencia con síntomas similares en hojas que no sean las hojas emergentes |
|-----------------------------------|--|---|
| Clorosis general | Cu | S Mg Fe Mo N |
| No se abren | Ca | |
| Necrosis en el centro del vástago | Ca | |
| Apice marchito | Cu | |
| El vástago terminal pierde vigor | Cu Ca B | |
| Vástago doblado | Cu Ca | |

ISBN 968-6127-51-8



Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
International Maize and Wheat Improvement Center
Lisboa 27, Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F. México