

**El boro es un elemento esencial para plantas vasculares, diatomeas y algunas especies de algas verdes.**

## El boro como nutriente esencial

**A. L. ALARCÓN VERA**

*Dpto. Producción Agraria. Área Edafología y Química Agrícola. ETSIA. Univerisdad Politécnica de Cartagena e-mail: antonioalarcon@upct.es*



Intoxicación por boro en cebada.

### Esencialidad

El boro como elemento químico fue descubierto en 1808 por Gay Lussac y Thenard. Es un metaloide con propiedades intermedias entre metales y no metales. El hecho de que el boro se encuentre como elemento mineral integrante de algunas plantas fue puesto de manifiesto por Wittstein y Apoiger en 1857. En 1895, Jay señaló que este elemento estaba repartido universalmente por todas las plantas. Bertrand, en 1912, ya destacó el empleo de sales de boro para mejorar el rendimiento de los cultivos. Bien es cierto, que inicialmente el boro se identificó como elemento venenoso para las plantas, debido a los efectos negativos causados al ser aplicado.

El primer científico que señaló la posibilidad de su esencialidad fue Mazé, en 1914. Pero fue Warington en 1923 quien primero demostró su esencialidad. La aceptación final del boro como elemento esencial se debe a Sommer y Lipman, en 1926. En 1931, Brandenburg descubrió que el corazón podrido de la remolacha se debía a una deficiencia de boro y, desde entonces, se han ido descubriendo gran variedad de cultivos que pueden quedar gravemente afectados por una carencia de este elemento.

El boro es un micronutriente esencial para plantas vasculares, diatomeas y algunas especies de algas verdes. No parece ser esencial para hongos y bacterias (con la excepción de cianobacterias), tampoco lo es para animales. Parece que los requerimientos de boro se hacen esenciales de forma paralela a la lignifi-

cación y diferenciación xilemática de los integrantes del reino vegetal.

### Absorción y transporte

El boro es absorbido por las plantas principalmente bajo la forma de ácido bórico  $H_3BO_3$  no disociado, fundamentalmente mediante los mecanismos de flujo de masas (65%) y difusión (32%). Aunque parece que en alguna extensión se absorbe de forma activa, como anión borato  $B(OH)_4^-$ , el proceso de absorción es inicialmente pasivo (por difusión en el espacio libre), seguido después de una absorción activa en el espacio interno; a pesar de que todo esto no está muy claro, el componente activo parece ser relativamente pequeño y puede depender de la variedad cultivada o de la cantidad de boro asimilable presente.

El boro es relativamente poco móvil en el interior de las plantas y los contenidos son superiores en las partes basales respecto a las partes más altas de las plantas, especialmente si el boro está en exceso. El ritmo de transpiración ejerce una influencia decisiva sobre el transporte de este

**El boro es relativamente poco móvil en el interior de las plantas y los contenidos son superiores en las partes basales respecto a las partes más altas**

elemento hasta las partes altas de la planta, en caso de deficiencia, los contenidos en los tejidos más jóvenes decrecen rápidamente. Se admite que, más que un elemento móvil o inmóvil en el interior de la planta, el boro es transportado vía xilema, pero se retransporta con dificultad vía floema (al igual que el calcio, si bien es cierto que es más móvil que éste), con lo que no emigra desde las hojas hasta los nuevos puntos de crecimiento (frutos, meristemos, hojas en formación, etc.), donde existe la necesidad de un suministro regular de éste y de todos los nutrientes.

Todo esto podría explicar la acumulación de boro en los tejidos más viejos y también en las puntas y márgenes de las hojas, aunque también podría constituir un mecanismo de defensa de algunas especies contra su efecto tóxico.

Por tanto, la acumulación del boro en hoja va a depender del contenido del suelo en boro asimilable, del flujo de savia en el xilema y del ritmo de transpiración.

### Fisiología del boro. Funciones

Las funciones fisiológicas del boro no están todavía aclaradas totalmente. Su papel en el metabolismo vegetal quizá sea el más desconocido de todos los nutrientes esenciales, pese a ser el micronutriente que mayores concentraciones molares presenta, al menos, en dicotiledóneas, cuyos requerimientos en boro son muy superiores a monocotiledóneas.

El boro actúa siempre con valencia III, por lo que no interviene en ningún proceso redox en el interior de los vegetales. No se ha encontrado formando parte de ningún sistema enzimático, aunque sí puede actuar como modulador de actividades enzimáticas. También se ha demostrado que, en casos determinados, puede ser parcialmente sustituido por germanio, aluminio o silicio.

Todo lo anterior no quiere decir que no desempeñe funcio-



nes biológicas esenciales para la planta. Como a continuación veremos, el boro desempeña un papel esencial en el transporte de azúcares, en la síntesis de sacarosa, en el metabolismo de ácidos nucleicos, en la biosíntesis de carbohidratos, en la fotosíntesis, en el metabolismo proteico, en la síntesis y estabilidad de las paredes y membranas celulares, etc.

### Elongación de raíz y metabolismo de ácidos nucleicos

Un aspecto general de la deficiencia en el boro es el mal desarrollo de los tejidos meristemá-

■ **El boro desempeña un papel esencial en gran cantidad de procesos fisiológicos vegetales: transporte de azúcares, síntesis de sacarosa, metabolismo de ácidos nucleicos, fotosíntesis, etc.**

**Deficiencia de boro en naranjo. Aparición de puntos de goma y viraje prematuro del color de piel.**

nicos, tanto en la raíz como en los brotes. Los primeros síntomas reflejan dificultades en la división y el desarrollo celular. Las células se dividen, pero la separación no se produce correctamente, con lo cual se presenta un desarrollo incompleto e irregular de las hojas, que aparecen distorsionadas, y una falta de elongación de los entrenudos.

En la raíz, el boro es requerido, primeramente, para la elongación de las células y, posteriormente, para la división de las mismas.

Un efecto de la deficiencia de boro es la inhibición de la síntesis de ADN y ARN. La alteración en la síntesis de ARN puede deberse a la esencialidad del boro en la síntesis de bases nitrogenadas como el uracilo. De esta forma, los ribosomas no se pueden formar y, en consecuencia, la síntesis de proteínas es afectada adversamente. Este proceso es fundamental en los tejidos meristemáticos radicales, que cesan su división celular, apareciendo las raíces más cortas y abollonadas.

### Metabolismo de glúcidos

El boro también juega un pa-



pel importante en la utilización y en la distribución de los glúcidos dentro de la planta. La deficiencia de boro provoca una acumulación de azúcares en los tejidos. Se cree que el boro facilita el transporte

**Toxicidad por boro en pepino.**

de azúcares a través de la membrana formando un complejo azúcar-borato. También ha sido demostrada la intervención directa del boro en la síntesis de sacarosa (donde se precisa uracilo) y almidón. Así, por ejemplo, la remolacha azucarera presenta unos niveles de azúcar mucho más elevados si está correctamente nutrida en boro.

#### **Formación de las paredes celulares.**

##### **Lignificación**

El boro es necesario para la síntesis de las pectinas. Se puede observar que las paredes celulares presentan los más altos contenidos en boro (hasta el 50% del boro total de las plantas), principalmente complejo bajo la configuración *cis*-diol.

La deficiencia de B provoca un oscurecimiento de los tejidos, debido a una acumulación de compuestos fenólicos. En esta situa-

ción se ve impedida la oxidación de compuestos polifenólicos que conduce a la síntesis de lignina, por lo que las paredes celulares quedan debilitadas. La acumulación de compuestos fenólicos produce necrosis del tejido.

Tallos rajados, acorchados o huecos son síntomas macroscópicos evidentes de una alteración de la síntesis de paredes celulares ocasionada por deficiencia de boro. A nivel microscópico se observan paredes celulares de mayor diámetro y con mayor cantidad de material parenquimatoso, existe una mayor concentración de sustancias pécticas y acumulación de calosa que bloquea el transporte vía floema.

#### **Metabolismo de fenoles, auxinas y diferenciación de tejidos**

La deficiencia de boro se asocia a alteraciones morfológicas

y cambios en la diferenciación de tejidos, similares a los inducidos por niveles bajos o excesivos de AIA. Pero parece más probable que las interacciones entre boro, AIA y la diferenciación de tejidos sean una consecuencia de los efectos causados por el boro sobre el metabolismo de fenoles, los cuales se acumulan ante una deficiencia del elemento. Ciertos fenoles no sólo son inhibidores de la elongación de la raíz, sino que también inducen cambios morfológicos similares a niveles anormales de AIA.

En cualquier caso, el boro interviene en el metabolismo de las auxinas. Los tejidos deficientes en boro presentan, por lo general, una excesiva acumulación de AIA, que provoca una clara inhibición del crecimiento. De la misma manera, la deficiencia de boro provoca una reducción en la síntesis de citoquininas.

### Procesos de transporte

El uracilo, que como hemos visto precisa boro para su síntesis, es el precursor de la UDPG (uridin glucosa difosfato), que es un coenzima esencial en la formación de sacarosa, principal forma de transporte de los azúcares. Si se inhibe su síntesis, se ve afectada la translocación de los asimilados formados en las hojas.

Se comentó con anterioridad que la carencia de boro también puede conducir a la formación de calosa, compuesto cercano a la celulosa, que puede obturar los tubos cribosos, afectando el transporte por el floema. Igualmente interviene en la actividad ATP-asa, fundamental en los procesos de transporte iónico. Así, pues, el boro juega un papel esencial en los procesos de transporte de los productos asimilados. Plantas deficientes en boro dificultan enormemente el transporte del calcio.



**Toxicidad por boro en pepino.**

### Estabilidad de la membrana celular

El boro tiene una influencia directa en la actividad de componentes específicos de la membrana celular y, por tanto, es esencial para la estabilidad de la misma.



### Absorción y utilización de fósforo

La absorción de fósforo se ve enormemente dificultada en las plantas deficientes en boro. Plantas con poco fósforo necesitan más boro que aquellas bien dotadas en fósforo. El boro es esencial en procesos metabólicos donde interviene el fósforo:

- Síntesis de ácidos nucleicos (ARN y ADN), básicos para la síntesis proteica, donde los fosfatos son constituyentes. El papel esencial del boro en la síntesis de ácidos nucleicos ha sido puesto de manifiesto desde hace mucho tiempo.

- Actividad ATP-asa, que cataliza el paso de ATP (adenosin trifosfato) a ADP (adenosin difosfato) liberando, así, energía.

- El boro también regula el metabolismo de los ésteres fosfatados. La deficiencia de boro provoca una acumulación de fosfatos inorgánicos y un descenso en el contenido de fósforo orgánico. Se sintetizan menos fosfolípidos, constituyentes básicos de la membrana celular, lo que explica los desórdenes observados en la organización de la estructura celular.

### Otras funciones del boro

Desempeña una función esencial en la polinización y cuajado de los frutos. Mejora el tamaño y la fertilidad de los granos de polen y tiene un importante papel en la germinación del polen y el crecimiento de los tubos po-

**Deficiencia de boro en la vid (fallo en el cuaje).**

Cuadro 1:

Interpretación de los niveles foliares de boro para diferentes cultivos.

Cultivo	Niveles foliares (ppm)		
	Deficiencia	Normalidad	Toxicidad
Abeto	<12	15-30	
Acacia	<10	15-35	
Aguacate	<15	40-100	>100
Albaricoque	<20	20-60	>80
Alfalfa	<20	30-80	>200
Algodón	<15	25-80	>100
Almendro	<15	25-65	>85
Altramuz	<10	20-60	>800
Anacardo	<40	60-80	
Apio	<20	30-60	
Araucaria		15-30	
Arroz	<5	5-15	>100
Avellano	<25	30-75	>100
Avena	<5	5-10	>40
Azalea	<20	20-100	>200
Banana	<10	20-80	>300
Brócoli	<20	30-100	
Cacahuete	<20	25-60	>230
Cafeto	<25	40-100	>200
Caña de azúcar	<2	2-15	
Caqui		50-80	
Casuarina		30-60	
Cebada	<5	5-10	>40
Cebolla	<20	25-70	
Cedro		25-45	
Centeno	<8	10-15	
Cerezo	<15	20-60	>80
Ciruelo	<20	25-60	>80
Cítricos	<20	30-100	>250
Clavel	<20	30-100	>700
Col	<20	30-60	
Coles de Bruselas	<10	25-70	
Coliflor	<10	20-80	>100
Crisantemo	<20	30-100	>250
Ciclamen		25-60	
Espárrago	<20	40-100	>300
Espinaca		40-80	
Eucalipto		20-120	
Frambueso	<20	30-70	>200
Fresa	<25	25-50	
Fresia		30-100	
Garbanzo	<20	25-50	>200
Geranio	<20	30-180	>700
Girasol	<30	35-150	>500
Gladiolo		25-60	>300
Grosellero	<10	20-40	
Guisante	<15	20-60	>150
Haba	<20	35-80	>300
Haya		30-70	

Cultivo	Niveles foliares (ppm)		
	Deficiencia	Normalidad	Toxicidad
Helecho		25-60	
Hibiscus	<30	40-80	
Higuera		50-140	>300
Hydrangea	<20	20-50	
Impatiens		50-60	
Ixodia		50-60	
Jengibre	<20	60-140	>275
Judía	<20	20-55	>150
Kenaf		15-25	
Kiwi	<20	30-60	>100
Lechuga	<20	25-60	
Leucadendron		12-20	
Lino	<15	25-60	>290
Litchi		25-60	
Maíz	<6	6-35	>100
Maíz dulce	<7	10-60	>100
Mandioca	<15	30-60	>140
Mango		30-100	
Manzano	<20	25-60	>70
Melocotón	<15	20-60	>80
Melón		30-80	>900
Mostaza	<20		>80
Nogal	<20	35-300	>300
Olivo		20-75	
Olivo	<14	20-150	>185
Orquídea		20-100	>400
Papaya		20-50	
Pastos en general	<10	15-50	>60
Patata	<20	30-65	>180
Pepino	<20	30-100	>400
Peral	<10	25-50	>100
Petunia		20-50	>400
Pimiento	<20	30-100	
Pino	<10	15-60	>170
Pistacho	<80	120-150	
Poinsettia	<20	30-100	>200
Protea		15-25	
Remolacha	<25	30-100	>250
Roble	<10	20-50	
Rosa	<30	30-60	>400
Rye-grass	<3	3-5	>50
Sandía	<25	30-80	
Schefflera	<20	25-60	
Sésamo	<35	50-125	
Sorgo	<7	10-25	>150
Tabaco	<15	20-60	>150
Tomate	<20	30-100	>180
Trigo	<5	5-10	>40
Vid	<25	30-70	>100
Zanahoria	<20	30-80	>250
Zinnia	<15	25-70	



**Deficiencia de boro en peral. Deformación de frutos.**

línicos. Las aplicaciones de boro mejoran la apetencia de los insectos polinizadores (abejas) por las flores, ya que resulta aumentado el nivel de néctar y se acorta la longitud del tubo de la corola, mostrándose las flores más atractivas para las abejas.

Asimismo, una correcta nutrición en boro facilita la resistencia a un gran número de enfermedades fúngicas, bacterianas, diversas virosis e, incluso, a insectos, al parecer porque el boro promueve la síntesis de leucocianidina, que actúa como sustancia inmunológica. También a factores climáticos (resistencia a daños causados por heladas).

Se ha visto como la deficiencia de boro provoca un aumento de cinco veces la cantidad de nicotina en la planta de tabaco. De forma similar, una correcta nutri-

**La deficiencia de boro provoca una acumulación de azúcares en los tejidos. Se cree que este elemento actúa en el transporte de azúcares a través de las membranas celulares formando un complejo azúcar-borato**

ción en boro aumenta los niveles de vitamina C y carotenos en la planta.

### El boro en el suelo

Es el único microelemento no metálico. Predomina en rocas sedimentarias, debido a que es un elemento que se encuentra en cantidades importantes en el agua de mar (es el doceavo elemento en cantidad en el agua marina).

El boro asimilable para las plantas viene a coincidir con la proporción de este elemento que es soluble en agua caliente. El boro total de los suelos se encuentra bajo cuatro formas:

- Formando parte de minerales silicatados: prácticamente inasimilable por las plantas.
- Presente en la disolución del suelo.
- Adsorbido por arcillas (principalmente tipo mica) e hidróxidos de hierro y aluminio. Esta adsorción alcanza su máximo a pH 8-9.

● Ligado a la materia orgánica, de la que es liberado progresivamente por los microorganismos.

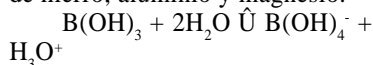
El contenido de boro total en el suelo varía de 2 a 200 ppm, del cual la mayor parte no es asimilable por las plantas, generalmente la cantidad de boro total que puede hallarse de forma asimilable es inferior al 5%. Esto es debido a que es un componente habitual de los minerales del grupo de la turmalina, granitos y otras rocas eruptivas, muy resistentes a la meteorización. En estos minerales el boro sustituye al silicio en las estructuras tetraédricas.

■ **La absorción de fósforo se ve enormemente dificultada en las plantas deficientes en boro. Plantas con poco fósforo necesitan más boro que aquellas bien dotadas en fósforo**

**Deficiencia de boro en fresa. Deformación de frutos.**



En la disolución del suelo, el boro se encuentra bajo la forma no disociada de ácido bórico  $H_3BO_3$  o como anión borato  $B(OH)_4^-$ . En las condiciones de pH de los suelos, la forma predominante es la no disociada, como ácido bórico, por esta razón, el boro puede ser lavado fácilmente del perfil del suelo, sobre todo a  $pH < 7$ . La segunda forma aumenta su presencia a pH más elevado y se encuentra adsorbida sobre arcilla (ilitas) y óxidos e hidróxidos de hierro, aluminio y magnesio.



A  $pH < 7$ , domina la forma  $H_3BO_3$ , a medida que el pH supera el valor de 7, la concentración de  $B(OH)_4^-$  se incrementa. Este anión es adsorbido por arcillas e hidróxidos de Fe y Al, con mayor fuerza mientras aumenta el pH, hasta encontrar un máximo de adsorción a pH 9.

Por esta razón, la disponibilidad del boro disminuye con la elevación del pH y fuertes encalados en suelos ácidos también pueden inducir su deficiencia. Si bien es cierto que para valores de  $pH > 9$ , debido al antagonismo con los  $OH^-$ , desciende la fuerza de adsorción del anión borato.

De esta forma, en zonas húmedas el boro es fácilmente lavado del perfil del suelo, mientras

que en regiones áridas puede acumularse hasta niveles tóxicos en las capas superficiales.

Las condensaciones entre los ácidos carboxílicos de los coloides orgánicos y el ácido bórico en condiciones de pH ácido o neutro pueden incluso resultar más estables que las uniones con los hidróxidos de hierro y aluminio y, de esta forma, pueden constituir las principales reservas de boro en muchos suelos agrícolas.

Resumiendo, el boro asimilable (extraíble con agua caliente) consiste básicamente en ácido bórico y representa una pequeña cantidad respecto al boro total (entre 0,1 y 3 ppm). Los suelos arenosos, con textura ligera, contienen generalmente menos boro asimilable que los suelos arcillosos, además el boro es fácilmente lavable de los suelos de textura ligera. Existe también una estrecha correlación entre el contenido en materia orgánica y la cantidad de boro asimilable presente en un suelo. El boro asimilable está preferentemente concentrado en las capas superficiales de los suelos bien drenados, donde está íntimamente ligado a la materia orgánica.

Los síntomas de carencia de boro se presentan a partir de unos niveles críticos en el suelo, los cuales dependen de muchas condiciones (cultivo, climatología,

Cuadro 2:

Tolerancia relativa de diferentes cultivos al contenido en boro (mg/l) en las aguas de riego.

Cultivos hortícolas	Nivel crítico	Cultivos frutales	Nivel crítico	Cultivos extensivos	Nivel crítico
Zarzamora	0,5	Limonero	0,4	Cacahuete	1,3
Pimiento	1,3	Pomelo	0,5	Avena	1,5
Calabaza	1,4	Aguacate	0,6	Maíz	1,7
Guisante	1,9	Naranja	0,7	Trigo	1,8
Rábano	2,0	Albaricoquero	0,8	Cebada	1,8
Tomate	2,1	Melocotonero	0,8	Girasol	2,5
Patata	2,4	Cerezo	0,8	Tabaco	2,9
Pepino	2,4	Níspero	0,9	Trébol dulce	2,9
Zanahoria	2,5	Caqui	1,0	Sorgo	3,0
Lechuga	2,6	Higuera	1,0	Alfalfa	3,5
Coliflor	2,7	Vid	1,0	Veza	3,5
Col	2,7	Manzano	1,1	Remolacha	3,6
Apio	2,7	Peral	1,1	Algodón	3,8
Nabo	2,8	Nogal	1,1		
Alcachofa	2,8	Ciruelo	1,1		
Melón	2,9	Olivo	1,8		
Cebolla	3,0	Palmera	3,8		
Haba	3,2				
Espárrago	4,0				



pH del suelo, etc.). Se estima que este nivel crítico de boro asimilable es 1 ppm para suelos calizos (fuerte adsorción del ión borato a arcillas, óxidos e hidróxidos debido al elevado pH), 0,8 ppm para suelos arcillosos (retención de boro en arcillas), 0,5 ppm en suelos francos y 0,3 ppm en suelos arenosos (aunque en estos suelos el boro es fácilmente perdido mediante los procesos de lixiviación).

La corrección de la deficiencia de boro en suelos es relativamente fácil, como después vere-

mos, sin embargo hay que prestar gran atención a no rebasar los límites de toxicidad (sobre 5 ppm de boro asimilable), que se encuentran muy cerca del nivel crítico.

### El boro en la nutrición y la fertilización de los cultivos

El boro juega un importante papel en la fertilización de las plantas, teniendo necesidades particularmente elevadas cuando el crecimiento en peso de las hojas es más alto y durante la floración y el cuajado de los frutos. El contenido en boro de los órganos reproductivos (anteras, estilos, estigmas, ovarios) es especialmente alto. El boro también tiene un importante efecto positivo en el cuajado de frutos y el proceso de formación de semillas.

Además, se constata que los suelos con tendencia a mostrar deficiencias de boro son mucho más extensos que para cualquier otro micronutriente, pudiendo abarcar unas ocho millones de hectáreas.

### Toxicidad por boro en frambuesa.

### Factores que afectan su disponibilidad

Los efectos de la deficiencia de boro sobre los rendimientos y la calidad de las cosechas son conocidos desde hace mucho tiempo. Los principales factores susceptibles de influir sobre la aparición de la carencia de boro son:

- Las reservas del suelo en boro. En general, son bajas en los suelos de textura gruesa y pobres en materia orgánica. Los suelos más susceptibles de mostrar deficiencias en boro son los formados sobre rocas ígneas en regiones de elevada pluviometría.

- El pH del suelo. La asimilabilidad del boro disminuye a medida que aumenta el pH del suelo. Este hecho hace que los suelos calizos sean propensos a mostrar deficiencias en boro y más si existe un exceso de arcilla, debido a la fuerte adsorción del ión borato.

- La humedad del suelo. Las lluvias fuertes pueden lavar

■ Una correcta nutrición en boro facilita la resistencia a un gran número de enfermedades fúngicas, bacterianas, diversas virosis e incluso insectos





el boro del perfil del suelo, sobre todo en suelos ácidos y de textura gruesa. Asimismo, los períodos prolongados de sequía favorecen la fijación de este elemento, pasando a formas no disponibles. En este aspecto, tiene gran importancia la ralentización que sufren los procesos de descomposición de la materia orgánica, debido al descenso de la actividad microbiana en suelos secos.

- Una fuerte temperatura e intensidad luminosa. Elevadas temperaturas y una fuerte intensidad luminosa acentúan los síntomas de deficiencia de boro. Las exigencias en boro son inferiores en presencia de intensidades luminosas bajas.

- Las interacciones con otros elementos nutritivos. Las fertilizaciones nitrogenadas en grandes cantidades atenúan los excesos de boro, ya que disminuyen la

**Arriba, toxicidad por boro en la patata.**

**Abajo, deficiencia de boro en patata.**

absorción de boro por las plantas. Del mismo modo, una elevada fertilización nitrogenada podría inducir una deficiencia en boro. Otros estudios muestran una sinergia entre las absorciones de boro y fósforo, potasio, calcio y magnesio, estando estos macroelementos en cantidades no excesivas. Por el contrario, potasio, magnesio, hierro y molibdeno a elevada concentración ejercen un antagonismo en la absorción de boro.

Un exceso de boro puede limitar la absorción de potasio y magnesio. Mención especial merece su estrecha interacción con el calcio; dentro de unos rangos óptimos de ambos nutrientes, estos se comportan como sinérgicos, pero valores deficientes o en exceso de uno de ellos afectan negativamente la dinámica nutricional del otro. Hay que destacar que elevadas concentraciones de calcio pueden provocar la precipitación de borato cálcico y la coprecipitación de boro con carbonato cálcico.

De esta manera, estamos ante potenciales carencias de boro si disponemos de pH elevado en el suelo, existe escasez de materia orgánica o el suelo está excesivamente seco o encharcado.

#### Síntomas de deficiencia

Están siempre relacionados con las principales funciones del

boro. Aparecen síntomas internos a nivel celular y vascular:

- Proliferación de células deformadas.
- Degeneración de tejidos meristemáticos y de membranas celulares.
- Acumulación de compuestos fenólicos en las vacuolas. Descenso de actividad de enzimas oxidantes.
- Incremento de la actividad ascorbato oxidasa en hojas.
- Acumulación de nitratos y menor contenido de proteínas en citoplasma.
- Aparición de zonas fibrosas.
- Desarrollo anómalo de vasos conductores.
- Disminución del contenido en azúcares en frutos y tubérculos.

**Los síntomas de carencia de boro se presentan a partir de unos niveles críticos en el suelo, los cuales dependen de condiciones tales como cultivo, climatología, pH, etc.**

El boro, al no desplazarse fácilmente desde las hojas basales, presenta síntomas externos inicialmente en las partes jóvenes de la planta:

- Reducción del crecimiento terminal con muerte de la yema terminal. Los brotes axilares se estimulan produciendo ramas axilares o mueren igualmente y los entrenudos se acortan. Como resultado se obtiene una característica forma abotonada o de roseta terminal.

- Las hojas jóvenes se ven deformadas, más o menos rizadas, gruesas, quebradizas, pequeñas y curvadas hacia adentro, con nervios asimétricos y, a veces, toman unos tonos oscuros, azul-verdosos

o marrones y mueren.

- Los pecíolos y los tallos son más gruesos y se hacen fibrosos y frágiles. La planta presenta una apariencia encogida.

- Desarrollo de zonas necróticas y acuosas en tejidos de almacenamiento.

- Aparición de grietas y hendiduras en los pecíolos, en los tallos y, algunas veces, en los frutos y tubérculos.

- Alteración en la formación de flores y frutos. Aparición de frutos deformados; en cítricos crece la relación corteza / pulpa de forma exagerada.

- Aparición de superficies escamosas y zonas acorchadas, con aparición de cavidades en frutos y tubérculos, síntomas similares a la deficiencia cálcica.

- Alteración en la germinación del polen y formación desigual de frutos. En ocasiones, aparecen frutos partenocárpicos, pequeños y de escasa calidad comercial, esto ocurre, por ejemplo, en vid. Las semillas presentan una más baja viabilidad.

- Las raíces se espesan, a veces, se hacen más finas y débiles y presentan las puntas necrosadas, deteniéndose el crecimiento.

Los cultivos muestran sensibilidades diferentes a la deficiencia de boro, incluso cultivares diferentes de una misma especie. Entre los cultivos más sensibles, citar las plantas con aprovechamiento de sus raíces (remolacha, nabo, zanahoria), apio, coliflor, brócoli, col, algodón, clavel, olivo, rosal, girasol, vid, manzano, peral. La mayor parte de las monocotiledóneas muestran unos requerimientos de boro inferiores, a excepción del maíz y el sorgo.

Como enfermedades características de deficiencia de boro, destacar el mal de corazón de la remolacha ("heart rot"), la médula acuosa de los nabos ("water core") o el pedúnculo agujereado de la coliflor ("hollow stem").

### Diagnóstico de la nutrición de boro en las plantas

La deficiencia de boro ocurre en un rango de cultivos y con-



diciones climáticas mucho más extenso que cualquier otro nutriente y, probablemente, incide más que cualquier otro micronutriente en la calidad y rendimiento de las cosechas.

En numerosas especies, los síntomas de deficiencia son inferiores a 15-20 ppm de boro en hoja, los contenidos normales y no excesivos se sitúan en 20-100 ppm y los síntomas de toxicidad aparecen, comúnmente, a partir de 200 ppm, aunque puede manifestarse con cantidades inferiores en especies menos tolerantes al exceso de boro.

En general, puede esperarse una deficiencia de boro con niveles inferiores a 30 ppm en hoja o cuando la relación entre el contenido en hojas jóvenes y el contenido en hojas viejas es bastante inferior a la unidad. Lo que sí resulta evidente es que, en caso de deficiencia, las partes apicales presentan contenidos inferiores que las partes basales de la planta.

Los contenidos de boro son mayores en hojas que en tallos. El boro tiende a acumularse en los márgenes de las hojas, con contenidos cuatro veces superiores que en las hojas enteras.

El boro total de los suelos, determinado por extracción de HCl en caliente con fusión alcalina, varía de 2 a 200 ppm, pero su utilidad a efectos de diagnóstico es baja. La extracción con agua hirviendo es la admitida como método de determinación del boro asi-

**Deficiencias de boro en vid. Distorsión internodal, clorosis y necrosis intervenales, raíz deformada.**

milable de suelos, después de haber utilizado un gran número de reactivos extractantes. Fue puesta a punto inicialmente por Berger y Truog en 1939, extracción con agua hirviendo en relación suelo/agua de 1:2, siendo la duración de la extracción de cinco minutos por reflujos y filtración posterior. Este método da las mejores correlaciones entre el boro extraído y el absorbido por las plantas.

El boro soluble en agua hirviendo varía en general de 0,1 a 3 ppm. El umbral de los síntomas de deficiencia está sobre 0,7-1 ppm, aunque este valor depende mucho de la textura, del pH del suelo y de la sensibilidad del cultivo en cuestión.

### Corrección de la deficiencia de boro

Períodos estivales excesivamente secos, a continuación de inviernos o primaveras lluviosos,

**Toxicidad de boro en girasol.**





son propensos para la manifestación de los síntomas de deficiencia de boro.

Existen numerosos abonos boratados utilizados para el suministro de boro a los cultivos:

bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ),  
tetraborato sódico ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ,  
o  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ),  
pentaborato sódico  
( $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ),  
solubor ( $\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ),  
ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ),  
colemanita ( $\text{Ca}_2\text{B}_7\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ),  
etc.

Los boratos de sodio son la fuente clásica de aporte de boro, mas son utilizados en aplicaciones al suelo, el ácido bórico y el solubor también pueden ser utilizados en aplicaciones foliares al 0,1%, a causa de su mayor solubilidad y compatibilidad con la mayor parte de los productos pulverizados, sobre todo para aumentar la floración y el cuajado de frutos.

La fertilización boratada frecuentemente se practica mediante

#### Deficiencia de boro en remolacha.



la incorporación de este elemento a los abonos principales.

La dosis aplicada a los suelos oscila entre 0,3 y 3 kg de boro por ha, dependiendo de la sensibilidad del cultivo, el tipo de suelo, la climatología, etc. Pero hay que ser cautos, ya que con facilidad se puede pasar de situaciones de deficiencia a situaciones de toxicidad.

**El boro puede llegar a ser tóxico para numerosas plantas con contenidos poco superiores a aquellos juzgados como correctos. La relación de los contenidos tóxicos con los normales es menor menor que para otros elementos**

#### Exceso de boro

El boro puede llegar a ser tóxico para numerosas plantas con contenidos poco superiores a aquellos juzgados como correctos. Algunas especies muestran síntomas de toxicidad en cuanto los niveles superan las 200 ppm, incluso con contenidos claramente inferiores para el caso de las dicotiledóneas. La relación de los contenidos tóxicos con los normales es claramente menor para el boro que para los demás elementos nutritivos.

Por encima de 5 ppm de boro extraído con agua hirviendo en suelo, pueden presentarse síntomas de toxicidad por boro. La toxicidad por boro también puede inducirse por contaminación industrial.

Los síntomas de toxicidad consisten en una necrosis progresiva de las hojas, que empieza por un amarilleamiento de las extremidades y de los bordes de las hojas, que progresa con quemaduras entre los nervios laterales hacia la nervadura central y evolu-

ciona con un oscurecimiento y posterior necrosis, cayendo las hojas prematuramente.

Los cultivos se clasifican en tres categorías por orden de tolerancia creciente al exceso de boro:

- Cultivos más sensibles: agrios, melocotonero, fresa, viña, higuera.

- Cultivos semitolerantes: cebada, alfalfa, zanahoria, maíz, patata, lechuga, tabaco, tomate.

- Cultivos tolerantes: nabo, remolacha, algodón, alcachofa, espárragos.

Los suelos en los que puede presentarse el exceso de boro son aquellos derivados de los sedimentos marinos, los suelos de regiones áridas y semiáridas o los suelos derivados de una roca madre rica en boro. Si, además, se riega con aguas demasiado ricas en boro o se aplican grandes cantidades de compost urbano, estaremos promoviendo síntomas de toxicidad. Por encima de 0,5 ppm de boro en el agua de riego ya pueden existir problemas para los cultivos sensibles a su exceso, si bien es cierto que plantas tolerantes pueden soportar contenidos sensiblemente superiores.

Otra particularidad interesante de resaltar es que por lavado, la planta puede perder hasta el 80% del boro de sus hojas en algunas especies. De esta forma, la planta se autodefende contra una toxicidad.

#### Bibliografía

- BERGMANN, W. 1992. Nutritional Disorders of Plants. Gustav Fischer. Verlag Jena.
- JONES Jr, J. B. 1998. Plant Nutrition Manual. CRC Press LLC. Boca Ratón. Florida.
- MARSCHNER, H. 1986. Mineral Nutrition in Higher Plants. Academic Press, Inc., New York.
- MENGEL, K. & KIRKBY, E. A. 1987. Principles of Plant Nutrition. 4th Edition. International Potash Institute, Berna. Suiza.
- REUTER, D. J. & ROBINSON, J. B. 1997. Plant Analysis: an Interpretation Manual. 2ª Ed. CSIRO Publishing. Australia.