

Nutrición boratada d

Carlos Rojas W.
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
crojas@platina.inia.cl
INIA La Platina

El boro (B) es uno de los siete microelementos esenciales para el desarrollo de las plantas. No se encuentra como tal en la naturaleza, sino combinado con oxígeno y otros elementos para formar ácidos, o sales inorgánicas, como los boratos. El boro tiene algunas características similares a las del carbono en lo que se refiere a su configuración electrónica, punto de ebullición, densidad y otras propiedades. Sin embargo, no juega un papel de preferencia estructural como el carbono, sino que más bien forma complejos por sus características químicas al lograr uniones con otras moléculas, lo que le permite moverse en los tejidos con alta versatilidad (figura 1). Hasta el momento, se lo conoce como el único elemento que es esencial para las plantas, pero no para los animales.

El boro con frecuencia es deficiente en una amplia gama de los suelos de Chile. También lo es en muchos países del mundo donde existen suelos de texturas gruesas, bajos contenidos de materia orgánica o suelos de origen volcánico dominados por arcillas amorfas con alto poder de retención aniónica.

Las formas aniónicas en solución, tales como $B(OH)_4$ o H_3BO_3 , reaccionan de preferencia con arcillas-aluminio o hierro y óxidos de aluminio, si el pH es ácido, o con hierro, si el pH es alcalino. En suelos ricos en este tipo de cargas dependientes del pH, se produce retención de boro. Otras de las causas que originan deficiencia de boro en los suelos, son la intensidad de los cultivos y la obtención de elevados rendimientos por efecto del empleo de variedades de alto potencial productivo, por ejemplo en el caso de los maíces híbridos.



Síntomas de deficiencia de boro en vid.

Reacción en el suelo

La disponibilidad del elemento en los suelos agrícolas de Chile fluctúa, generalmente, entre 0,1 y 3 mg/kg de suelo, debido a una dinámica reacción con los suelos y la extracción por los cultivos. Valores inferiores a 0,1 mg/kg de suelo solubles al agua caliente, se consideran bajos.

La textura del suelo es un factor importante que condiciona la disponibilidad de boro. En general, los suelos arcillosos requieren más boro que los suelos de texturas gruesas. En estos últimos, la adsorción es menor y la probabilidad de pérdidas por lixiviación es mayor que en suelos de texturas finas. Sin embargo, el tipo de arcilla y el pH del suelo resultan determinantes en la disponibilidad del elemento si no se considera la extracción por los cultivos. Así, las arcillas tipo illitas

adsorben más boro en el rango de pH de los suelos agrícolas, que fluctúa generalmente entre 5,5 y 6,5; las montmorillonitas adsorben importantes cantidades en suelos de pH alcalino, como los de la zona central (regiones 5ª y Metropolitana, principalmente). Los menores valores de adsorción, se producen en suelos dominados por arcillas del tipo kaolinitas, por ejemplo, los suelos del secano costero, de pH generalmente más ácido.

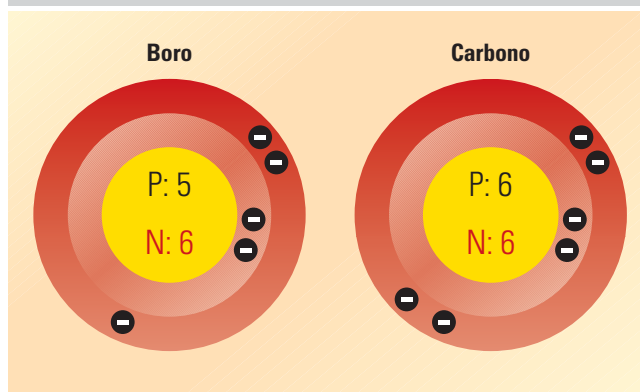
La materia orgánica de los suelos, así como aquella agregada (guano u otra forma), también interactúa con los boratos. Esto se debe a que forma complejos con algunos radicales dihidroxílicos, por ejemplo los fenoles, generando un mecanismo de retención de boro. No obstante, la materia orgánica también es una clara fuente de liberación de boro disponible a través de la actividad microbial.

Función en las plantas

El boro es un componente importante de la pared celular, que interviene también en el ciclo vegetativo y principalmente en el ciclo reproductivo de las plantas, controlando la floración, la producción de polen, germinación, formación de semillas y frutos.

Actúa como elemento "bomba", pues apoya el transporte de los azúcares desde las hojas viejas hasta las nuevas o centros de crecimiento y al sistema radicular. Es determinante, por ejemplo, en el crecimen-

Figura 1. Comparación de la estructura del carbono y del boro.



e los cultivos

del tubo polínico en maíz y su deficiencia es una de las causas de la baja persistencia de las praderas al alterarse la producción de semillas y la resiembra.

En praderas nativas del secano costero de la 6ª Región, por ejemplo en los sectores de Litueche y Quelentaro, se han detectado significativos incrementos de producción de biomasa (follaje y raíces) al agregar un kilo de boro por hectárea a una fertilización base de 50 kg de nitrógeno (N), 50 kg de potasio (K₂O) y 80 kg de fósforo P₂O₅/ha (Rojas y Squella, 1999). En suelos ácidos de la zona sur, en cereales, como trigo de alta productividad, con la agregación de boro en dosis del orden de 2 kilos de boro por hectárea, se ha detectado incrementos de rendimiento del orden de 20 a 30% por sobre la productividad alcanzada con los nutrientes de una fertilización base que incluye nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre.

Requerimientos de boro

Muchas especies de cultivos tienen altos requerimientos de boro, incluidas las especies frutales y forestales. Ello no se debe exclusivamente a la escasa disponibilidad de este elemento en los suelos, sino también a su nula movilidad a través del floema, lo que determina una fuerte dependencia de su movimiento por la vía xilemática de las plantas.

En Chile, en especies tales como paltos, almendros, perales, manzanos, ciruelos y vides, especialmente en uva vinífera de secano, se ha detectado mediante análisis foliar cierta moderada a alta frecuencia de deficiencias de boro (PUC, 1999).

El estrecho rango entre los umbrales de deficiencia y toxicidad complica su dosificación racional, si no se efectúa con el apoyo de herramientas de diagnóstico efectivas, tales como el análisis de suelo y el análisis foliar.

Dentro de las especies de mayores requerimientos de boro está la alfalfa,

Cuadro 1			
Rangos de suficiencia y exceso en tejido de muestreo seleccionado (mg/kg de materia seca)			
Especies	Tejido de muestreo*	Rango de suficiencia	Exceso
Alfalfa	Ápices a inicio floración	30-80	>500
Maíz	Planta entera > 20 cm	10-25	>100
Maíz	Hoja bandera al inicio de pelo de choclo	10-20	>100
Trigo	Planta entera a la macolla	5-10	>30
Tomate	Hojas cerca del ápice	30-80	>500
Vid	Hojas recién expandidas	30-50	>100

*Análisis químico de tejidos.
> = mayor que.

cuyas variedades poseen distintas productividades. En pruebas de invernadero con alfalfa, se observó que las ulexitas chilenas y una ulexita calcinada (Granubor), fueron tan efectivas como las fuentes más solubles tales como el ácido bórico y el bórax para asegurar el suministro de boro a las plantas (Rojas y Ruiz, 2003).

En el cuadro 1 se presenta una orientación de los contenidos considerados suficientes para algunas especies, los rangos de toxicidad y el tejido de muestreo como indicador nutricional.

Todas las especies muestran síntomas

evidentes en condiciones de aguda deficiencia. Por ejemplo, acortamiento de entrenudos y "escoba de bruja" en la vid, tallo quebradizo en el apio, corchosis externa e interna en los frutos de manzano, corazón negro de las raíces de remolacha y torcedura de la fusta en pinos.

El análisis de suelo también puede ser una herramienta de diagnóstico de la disponibilidad de boro y muchas veces este diagnóstico puede indicar deficiencias o excesos susceptibles de interpretar con el apoyo de otros análisis, como el análisis de boro de las aguas de riego.

En un estudio biológico, realizado en La Platina para interpretar la respuesta al boro como nutriente, se empleó ballica en alta densidad como planta indicadora en invernadero. Se observó una eficiencia relativa con respecto al tratamiento con adición de boro, es decir el porcentaje de boro asimilado con respecto al boro aplicado como fertilizante, descontado el boro absorbido desde el suelo nativo. Este

Síntomas de toxicidad de boro en vid.



fue de 9,4% en suelos de origen granítico o rojo arcillosos con dominancia de arcillas kaolínicas, y de alrededor de un 17% para suelos de origen volcánico con dominancia de arcillas amorfas como el alofán (promedios obtenidos a partir del boro extraído por plantas fertilizadas con boro, menos el boro absorbido del suelo nativo). En general, se esperan respuestas a la aplicación de boro fertilizante cuando los análisis de suelo indican contenidos de boro soluble al agua caliente del orden de 0,5 a 1 mg por kilo de suelo.

Recomendaciones de uso

Todos los fertilizantes boratados como sales de variable solubilidad son susceptibles de contaminar suelos, agua y atmósfera si no son manejados en forma apropiada. Así, los aniones boratados de fuentes altamente solubles, como el bórax, son susceptibles de constituir un elemento de contaminación difusa en los suelos sujetos a lixiviación, de modo que pueden alcanzar las napas freáticas. Igualmente esto ocurre con moléculas neutras como el ácido bórico

GLOSARIO

Adsorción: concentración de iones sobre la superficie de las arcillas y/o la materia orgánica.

Anión: formas químicas en solución que presentan cargas positivas.

Contaminación difusa: es aquella que no se puede situar en un lugar y momento determinados. Se compone de numerosas fuentes contaminantes pequeñas, de distinto tipo, que se ubican en muchos predios agrícolas, que no actúan de manera continua ni periódica y cuyo aporte individual a la contaminación de las aguas es, casi siempre, imperceptible. Es posible observarla como materiales diversos en suspensión en las aguas, nutrientes o residuos de plaguicidas disueltos.

Floema: tejido conductor de sabia elaborada, de movimiento descendente.

Lixiviación: arrastre por agua de elementos como fertilizantes y pesticidas hasta más abajo de la zona de las raíces.

Napas freáticas: aguas subterráneas.

Xilema: tejido conductor de agua de movimiento ascendente.

y en menor grado con aniones boratados derivados de fuentes de solubilidad intermedia, como las ulexitas y aún más insolubles, como las colemanitas.

Los riesgos de contaminación difusa son mayores al emplear elevadas cargas de agua y en suelos de pH ácido y de texturas gruesas (arenosos).

Se recomienda la aplicación de estos fertilizantes en especies de altos requeri-

mientos y con el apoyo de técnicas de diagnóstico de análisis de suelo y foliar y la asesoría técnica de un especialista.

Los fertilizantes, como sales solubles, deben almacenarse de la siguiente forma:

- En lugares frescos y secos.
- En envases plásticos y sellados.
- Aislados del piso al menos por una cubierta impermeable y tapados con plástico si son almacenados a granel.

Salares con yacimientos de boro.



Planta industrial de boro fertilizante.



- Debidamente etiquetados, incluyendo sus características de concentración, solubilidad, humedad y otras propiedades.
- Separados de otros fertilizantes, productos y fuentes de energía calórica u otras fuentes de agua.
- No almacenar en mezclas a granel.

En el caso de fertilizantes boratados en solución, preparar sólo antes de aplicar, de preferencia temprano en la mañana porque son productos volátiles. Es necesario tener en cuenta las condiciones meteorológicas y el pronóstico del tiempo al momento de su preparación, especialmente en las aspersiones foliares de fuentes tales como el bórax.

Con referencia a productos boratados aplicados en forma sólida al suelo, se debe tener en consideración que poseen efecto residual (persistencia en el tiempo) y éste es mayor en suelos arcillosos y de pH alcalino (7 a 9). Por ello es necesario efectuar análisis de suelo antes de su aplicación. El efecto acumulativo puede derivar en fitotoxicidad en los cultivos en rotación. Para asegurar la uniformidad de la aplicación como fertilizantes sólidos, se requiere emplear fertilizantes granulados, incorporados al suelo antes de la plantación.

Una condición de deficiencia de boro extrema puede significar reducir los rendimientos en menos de un 50% en desarrollo vegetativo y hasta un 100% en lo que se refiere a la producción de semillas.

La extracción del boro en los salares.



FUENTES DE BORO

Todos los depósitos naturales que contienen boro son de diferente solubilidad. Sin embargo, esta misma característica permite la acumulación en depósitos naturales de diferentes orígenes geológicos y en diferentes ambientes, liberándose soluciones de boro dominadas por aniones del tipo ácido bórico (H_3BO_3) y boratos (H_2BO_3). Estas soluciones ricas en boro son susceptibles de ser empleadas para corregir las deficiencias en cultivos y frutales.

Aunque existen más de 80 diferentes tipos de minerales que contienen boro, las principales fuentes del mundo son cuatro:

- **Tincal o bórax, $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$** : corresponde a un abundante depósito empleado históricamente por los romanos para preparar vidrio. Es de moderada solubilidad.
- **Kernita, $Na_2B_4O_7 \cdot 4H_2O$** : es el segundo tipo de depósito más abundante del mundo (principalmente en California), en forma de grandes cristales, mayores a 1,2 m. De moderada solubilidad.
- **Ulexita o boronatrocalcita, $NaCa B_5O_9 \cdot 8H_2O$** : toma diferentes formas, como hongo, coliflor o pelotas de algodón. Es una fuente parcialmente soluble.
- **Colemanita, $Ca_2B_6O_{11} \cdot 5H_2O$** : similar a la ulexita, pero de escasa solubilidad.

Chile figura entre los países de mayor importancia mundial en recursos boratados (alrededor de 76 mil toneladas métricas de B_2O_3) debido a que los depósitos de ulexita abundan en los salares de las provincias de Tarapacá, Antofagasta y Atacama. En el desarrollo histórico de la extracción de estos yacimientos, en 1913 se logró abastecer el 50% del consumo mundial.

Los yacimientos más importantes se ubican en los salares de la alta cordillera y la depresión central. Sin embargo, se consideran de gran importancia los boratos ligados a la explotación salitrera (caliches) susceptibles de recuperar por evaporación solar.

Las tendencias de desarrollo productivo de estos yacimientos han sido crecientes. Así por ejemplo en la 1ª Región desde el 2001 al 2002 la producción de ulexita pasó de 292 mil toneladas a 408 mil.

El proceso industrial de fertilizantes incluye básicamente una planta de granulación, calcinación y recubrimiento (coating) para productos granulados.

En el cuadro 2 se indican otros fertilizantes derivados de estas mismas fuentes, que se comercializan más elaborados.

Cuadro 2

Fertilizantes boratados agrícolas		
Fertilizante	% B	Tamaño gránulo
Borato fertilizante FB 48	15,1	Estándar
Bórax	11,3	Gránulo fino/polvo
Acido bórico	17,5	Gránulo fino/polvo
Solubor	20,5	Polvo fino
Boronat AG 32	10,0	Grano 2/4 mm

Fuente: Roskil1 (1999).

En frutales, los frutos pueden alcanzar una condición de desecho al producirse agrietado, corchosis interna o externa. Al mismo tiempo, la aplicación de un fertilizante al suelo para su corrección puede significar la aplicación de una dosis de 2 kg de ulexita con un costo adicional

de algo más de 2 dólares por hectárea (SQM Nitratos 2004) y un total de US\$5, incluyendo los costos de aplicación. El ingreso extra gracias a la aplicación de tan pequeña cantidad evidentemente se traduce en un alto margen de rentabilidad en cualquier rubro. 📊