

Uso de Boro en la fertilización de praderas y cultivos en la Región de Los Ríos

Editores/as:
Erika Vistoso G. (evistoso@inia.cl), INIA Remehue
Josué Martínez-Lagos, INIA Remehue

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS – INFORMATIVO INIA REMEHUE N° 286 – AÑO 2021

Introducción

Las plantas, a través de su ciclo vegetativo, requieren cantidades variables de nutrientes esenciales (macro y micronutrientes) y si alguno de ellos no se encuentra disponible para la planta cuando es necesario, es decir en su crecimiento y, por ende, su producción, pueden verse severamente afectados, aunque todos los demás nutrientes esenciales estén en cantidades adecuadas. Las praderas, al igual que los cultivos (cereales, hortalizas y frutales) de la Región de Los Ríos, requieren niveles óptimos de disponibilidad de 17 nutrientes esenciales en el suelo para lograr una máxima producción de forraje. Los micronutrientes (boro, B; cobre, Cu; hierro, Fe; manganeso, Mn; molibdeno, Mo; zinc, Zn; níquel, Ni y cloro, Cl) se requieren en pequeñas cantidades y actúan como catalizadores en diferentes reacciones químicas que se llevan a cabo en el suelo.

El boro (B) participa en muchos procesos fisiológicos, con un rol sumamente importante en la estructura y funcionamiento de la pared celular y membrana; por ello, participa en diversas reacciones químicas de transporte de iones, metabolitos y hormonas. Además, mejorar la resiliencia vegetal a diversos estreses abióticos que son causados principalmente por cambios en las condiciones ambientales como sequía, exceso de agua, heladas, variaciones de temperatura, fuertes vientos, granizo, etc. Las brásicas (brócoli, nabo, raps) y alfalfa son más sensibles (Cuadro 1) a la deficiencia de B que las gramíneas (avena, arroz, cebada, centeno, trigo).

Además, la combinación de estrés por el B puede juntarse con otros tipos de estreses abióticos (temperaturas extremas, exceso de luz, alta concentración de CO₂ o contaminación por metales pesados, etc.), potenciando la sensibilidad de las plantas a la deficiencia o toxicidad

Cuadro 1: Sensibilidad de algunas especies vegetales a la deficiencia de boro.

Susceptible	Moderadamente	Tolerante
Alfalfa	Cítricos	Avena
Algodón	Col de Bruselas	Arándano
Apio	Espárrago	Arroz
Betarraga	Frutilla	Arveja
Brócoli	Maíz	Caña de azúcar
Coliflor	Papa	Cebada
Espinaca	Pera	Cebolla
Manzana	Puerro	Centeno
Maravilla	Tomate	Espárrago
Nabo	Trébol blanco	Pepino
Raps	Trébol rojo	Poroto
Remolacha azucarera	Trébol subterráneo	Soya
Repollo	Tabaco	Sorgo
Zanahoria		Trigo

Fuente: Adaptado de Brdar-Jokanović, M. (2020). Boron toxicity and deficiency in agricultural plants. *Int J Mol Sci.* 21(4):1424. doi:10.3390/ijms21041424

de B. Por ello, un suministro inadecuado de B, ya sea en deficiencia o toxicidad, puede llegar a afectar el crecimiento de las plantas y cultivos agrícolas y, por ende, generar pérdidas en el rendimiento y calidad.

Entre los suelos volcánicos, los suelos Trumaos que son aquellos derivados de cenizas volcánicas modernas, muy susceptibles a la meteorización y cuyo material particulado ha sido objeto de la acción hídrica o eólica (Vistoso y Martínez Lagos, 2020) son deficientes en B ($< 0,50 \text{ mg kg}^{-1}$, Cuadro 3). Lo anterior debido a su alta capacidad de adsorción aniónica; sin embargo, su aplicación debe ser cuidadosa, considerando el estrecho rango entre la deficiencia y la toxicidad. Por lo que se recomienda aplicar dosis bajas ($< 30 \text{ kg B ha}^{-1}$), lo cual dificulta su manejo agronómico, principalmente por su dependencia a las condiciones edafoclimáticas (tipo de suelo y condiciones ambientales).

Rol del boro en la fisiología de la plantas

El boro es absorbido principalmente por el sistema radical en forma de pequeñas moléculas de ácido bórico (H_3BO_3) sin carga (96 %), que fácilmente traspasan la pared celular y, en menor cantidad, como aniones borato (BO_3^{-3}). El B es esencial para el normal crecimiento de las plantas y cultivos agrícolas, ya que:

- ✓ Promueve la división celular en el meristema apical: puntos de crecimiento, su interrupción afecta el crecimiento de las raíces, lo cual aumenta la relación brote/raíz e incide en una mayor susceptibilidad de las plantas agrícolas al estrés hídrico y desequilibrios nutricionales.
- ✓ Permite la elongación celular: cumple importantes funciones en la síntesis de proteínas, desarrollo de paredes celulares y mantenimiento de su estructura e integridad, participando en reacciones enzimáticas, así como en el transporte de iones (absorción y uso eficiente del calcio en la planta), metabolitos (interviene en el metabolismo del nitrógeno, auxinas

y carbohidratos, translocación de azúcares en toda la planta, síntesis de lignina y flavonoides.

- ✓ Es esencial para el sistema hormonal de las plantas: síntesis del ácido giberélico, promueve el crecimiento y elongación celular.
- ✓ Ayuda a la polinización: alargamiento del tubo polínico, sobre todo en plantas de maíz, floración (crecimiento y germinación del polen), cuajado y producción de semillas (en leguminosas, su deficiencia genera menor persistencia de las praderas al alterarse la producción de semillas y su resiembra).

Debido a lo anterior, los requerimientos de B son más altos durante la fase reproductiva del ciclo vegetativo de las plantas y cultivos agrícolas.

En el Cuadro 2, se presentan los contenidos de suficiencia y toxicidad de B foliar en algunas praderas y cultivos.

Cuadro 2: Rango de suficiencia y exceso de boro de algunas especies vegetales.

	Rango (mg kg^{-1} materia seca)	
	Suficiencia	Exceso
Alfalfa	30 - 80	> 500
Maíz	10 - 25	> 100
Tomate	30 - 80	> 500
Trigo	5 - 10	> 30
Vid	30 - 50	> 100

Fuente: Adaptado de Rojas, C. (2004). Nutrición boratada de los cultivos. Tierra Adentro N° 56 (May-Jun). pp:40-43.

Síntomas de deficiencia de boro en las plantas

La deficiencia de B en plantas de la Región de Los Ríos, como en otras regiones, se caracteriza por una disminución en el crecimiento. Los síntomas de deficiencia de B incluyen hojas distorsionadas y cloróticas (pérdida del color verde) con pigmentación más oscura a lo largo de los márgenes de las hojas, decoloración amarillenta a rojiza de las hojas superiores de la planta (Figura 1), mientras



Figura 1. Deficiencia de boro en alfalfa.

Fuente: <https://www.qualityseeds.ca/post/boron-deficiency-in-alfalfa> y <https://www.forrattec.com.ar/uploads/160-20170614215420-pdfEs.pdf>

las hojas inferiores se mantienen verdes (particularmente en tréboles), además, disminuye la producción de semillas y, por ende, la resiembra, afectando la persistencia de las praderas. Además de lo anterior, la clorosis también puede deberse a otros factores como deficiencia de otros nutrientes como Fe, Mn o Zn y otras condiciones como pobre desarrollo radicular, drenaje insuficiente y alta alcalinidad.

Los síntomas de la deficiencia de B comenzarán a aparecer cuando el B disponible en el suelo es $< 1 \text{ mg kg}^{-1}$ y cuando la concentración foliar de B es $< 20 \text{ mg kg}^{-1}$.

El boro en el suelo

El boro disponible en el suelo corresponde al ácido bórico (H_3BO_3) en la solución del suelo y aniones borato (BO_3^{-3}), ambas formas pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas y están en equilibrio con el B no intercambiable adsorbido en la fase sólida (coloides como arcillas, materia orgánica y óxidos de hierro y aluminio) del suelo.

Sólo una pequeña fracción del B total del suelo (1-3 %) se encuentra en formas no disponibles para las plantas que lentamente, a través del tiempo, pasará a formas disponibles dependiendo de factores como material parental, edad, textura, humedad y temperatura del suelo, contenido de materia orgánica y pH del suelo. En general, en suelos de pH ácido estará más disponible, mientras que en suelos de pH alcalino está menos disponible para ser absorbido por las plantas (Figura 2).

Existen distintos rangos de disponibilidad de B en el suelo con diferentes respuestas a la aplicación de fertilización boratada (Cuadro 3), siendo a pH al agua $> 5,0$ a $7,6$ donde el B está más disponible para las plantas (Figura 2).

El ácido bórico es soluble y se lixivia fácilmente con el agua de lluvia, por ello, las deficiencias de B pueden ocurrir en

regiones húmedas, así como también en suelos orgánicos (turba) y alcalinos y, en suelos arenosos altamente lixiviados. Es por ello que este micronutriente se vuelve menos disponible en suelos con mal drenaje.

En ocasiones, el encalado puede aumentar la deficiencia de B, por lo que se recomienda que la dosis de encalado de corrección no debe sobrepase los $3.500 \text{ kg de CaCO}_3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en aplicación en cobertera sobre pradera permanente y de $4.700 \text{ kg de CaCO}_3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en aplicación incorporada previo al establecimiento de praderas (Serie Actas INIA N° 2, pp. 56-75).

La concentración de B en tejidos vegetales y en suelo se determina a través de los análisis foliares y de suelo. La medición del suministro de B de los suelos a las plantas, se realiza a través de la extracción con solución de cloruro de CaCl_2 $0,01 \text{ mol l}^{-1}$ a ebullición y determinación por colorimetría con azometina H.

Fertilización boratada en praderas

El manejo de la deficiencia de B se realiza a través de la aplicación de fertilización boratada al suelo, sin embargo, también se puede aplicar fertilización foliar e impregnar semillas con soluciones boratadas. La práctica de manejo más utilizada es la fertilización boratada del suelo, la cual debe ser ajustada cuidadosamente para cada dosis de aplicación; debido al estrecho rango entre deficiencia y toxicidad.

Para establecer las estrategias de fertilización boratada recomendadas en los cultivos y/o praderas de la Región de Los Ríos, se deben considerar los factores mostrados en la Figura 3.

De acuerdo a estos antecedentes, podemos considerar **fertilizaciones de corrección** (que se utilizan para incrementar el nivel de disponibilidad de boro en el

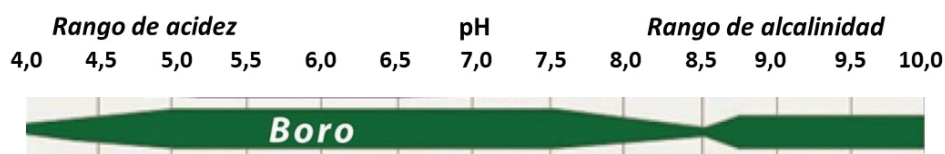


Figura 2. Disponibilidad de boro en el suelo en función del pH.

Fuente: Adaptado Porta et al. (1994). Edafología: Para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España. 807p.

Cuadro 3: Categorías de disponibilidad de boro en suelo y respuesta a la fertilización.

Boro extractable (mg kg^{-1})	Disponibilidad de Boro	Respuesta a la fertilización
$< 0,20$	Muy bajo	Altamente probable
$0,20 - 0,50$	Bajo	Muy probable
$0,50 - 1,00$	Medio	Poco probable
$> 1,00$	Alto	Muy poco probable

Fuente: Adaptado de Undurraga, P. (2000). Recomendaciones de fertilización. pp: 25-35. Serie Actas N° 2.



Figura 3. Factores a considerar en la fertilización boratada.

Fuente: Elaboración propia.

suelo hasta un nivel determinado) y **fertilizaciones de mantenimiento** (que sirven para mantener en el tiempo, el nivel de boro disponible en el suelo para sostener la producción).

En el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), el suministro de B del suelo es clasificado en categorías de fertilidad (Cuadro 3) y la recomendación de fertilización boratada para praderas (Cuadro 4) se realiza en base a la categoría de disponibilidad de B en el suelo. Cabe señalar que la aplicación de micronutrientes, en general, se recomienda solo en praderas permanentes mejoradas con una composición botánica equilibrada, que incluya mezcla de gramíneas y leguminosas de medio a alto valor forrajero (al menos 30 % de trébol blanco) y calidad bromatológica y, un manejo agronómico eficiente. Considerando que el objetivo de la fertilización al suelo es corregir las deficiencias de los nutrientes esenciales, en los suelos Trumaos, Ñadis y Rojos Arcillosos se deberían considerar los extremos más altos de las dosis de B y las dosis de B promedio, respectivamente.

Cuadro 4: Dosis de fertilización boratada para praderas permanentes mejoradas, según nivel de disponibilidad de boro.

Nivel de disponibilidad de boro	Dosis de fertilización boratada (kg ha ⁻¹)
Muy bajo	30
Bajo	20 - 30
Medio	10 - 20
Alto	-

Fuente: Adaptado de Rojas, C. (2004). Nutrición boratada de los cultivos. Tierra Adentro N° 56 (May-Jun). pp:40-43.

Consideraciones en la elección del fertilizante boratado

En la elección del fertilizante boratado tanto el productor como el asesor técnico de la Región de Los Ríos deben considerar los siguientes factores:

- Aporte de otros nutrientes deficitarios.
- Costos asociados a la aplicación de fertilizantes (fertilizante + distribución + aplicación).

La presentación de las fuentes de boro que actualmente se comercializan en el mercado nacional puede ser sólida o líquida (Cuadro 5), lo cual determina en gran parte su utilización y eficacia. Los fertilizantes boratados sólidos pueden ser del tipo polvo soluble (Solubor®, Speedfol Boro®) o granulado (Boronatrocalcita®), el cual, es de fácil manipulación y distribución en campo por sistemas mecánicos, por ello, su aplicación es más uniforme. Además, se comercializan en presentación líquida (Cuadro 5) para fertilización foliar o en otros casos vía fertirriego.

Cuadro 5: Fertilizantes boratados disponibles a nivel comercial.

Fertilizante	B (%)	Presentación
Boronatrocalcita®	10	Sólida
Boron Max®	15 p/v	Líquida
Defender Boro®	14,8 p/v	Líquida
Microcat Boro®	7 p/v	Líquida
N Boron®	3,3	Líquida
NutriBoro Plus®	15 p/v	Líquida
Solubor®	20,5	Sólida
Speedfol Boro®	17	Sólida

Fuente: Adaptado de empresas comercializadoras de productos agrícolas.

Consideraciones finales

La aplicación de los fertilizantes boratados se recomienda realizar a la siembra de cultivos anuales o al establecimiento de praderas, la cual debe ser localizada aproximadamente a 10 cm del surco de siembra, junto con el fertilizante fosforado, potásico y azufrado; lo anterior debió a que se trata de un micronutriente poco móvil en el suelo. En la Región de Los Ríos la aplicación debe realizarse solo cuando existan condiciones climáticas favorables de humedad y temperatura de suelo, considerando el estrecho rango entre la deficiencia y la toxicidad.

Agradecimientos:

GTT Producción Ganadera Sustentable Los Lagos.