

MANEJO DEL BORO DE ACUERDO A SU MOVILIDAD EN LA PLANTA

Patrick H. Brown y Hening Hu*

Introducción

En todas las regiones agrícolas del mundo se encuentran síntomas de deficiencia y toxicidad de boro (B). La identificación y la corrección de estos desequilibrios requieren de un buen conocimiento de los procesos que gobiernan la absorción, movilización y distribución del B en la planta.

El boro: móvil o inmóvil en los tejidos de la planta?

Actualmente se conoce que el B es móvil en el floema de todas las especies que utilizan polioles (azúcares simples) como un metabolito fotosintético primario. En estas especies, un complejo poliol-B-poliol se forma en los tejidos fotosintéticos y es transportado en el floema hacia zonas de acumulación activa, como los meristemas vegetativos o reproductivos. En especies que no producen cantidades significativas de polioles, el B, una vez transportado hasta la hoja a través del flujo transpiratorio, no puede reentrar en el floema, dando como resultado una completa inmovilidad de este elemento en la hoja.

En especies en las cuales el B es inmóvil, éste se trasloca con el flujo de la transpiración, y una vez que entra en una hoja tiende a permanecer allí. En estas especies, el B se acumula en las partes terminales de las venas de las hojas. Con frecuencia, se encuentra una gradiente abrupta en la concentración de B en la hoja de modo que la concentración en el peciolo o nervadura central es menor que en la lámina media y ésta es a su vez menor que en los márgenes y ápices. Este principio se ilustra en la Figura 1, donde se compara la distribución de B en una hoja madura de manzano y de nogal. En nogal, donde el B es inmóvil, la mayor acumulación se presenta en el ápice y en el margen de la hoja.

Distribución del boro en los tejidos de la planta

La Figura 1 ilustra además la distribución de B en el manzano. En la hoja de esa especie, las concentraciones de B fueron significativamente menores que en la de nogal, y hubo muy poca diferencia en la acumulación a lo largo de la hoja. La distribución uniforme de B en el tejido del manzano no tiene correlación con el patrón de nervaduras de las hojas y no concuerda con la hipótesis de que la distribución de B está determinada exclusivamente por

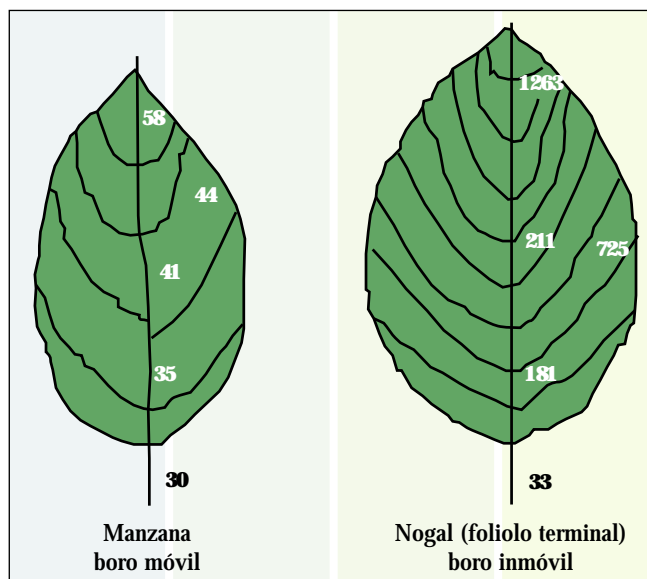


Figura 1. Concentración de B en la hoja (ppm) de manzano y de nogal, en condiciones de campo. Las hojas se colectaron al final del período de crecimiento. Las dos especies crecieron muy próximas una de la otra y recibieron la misma cantidad de riego.

la transpiración. La misma distribución se observó en almendro, melocotón y ciruela, sugiriendo que la distribución de B en estas especies no está gobernada por la transpiración ni por su movilidad en el floema. La evidencia de la movilidad o inmovilidad del B en el floema también se percibe a través de la distribución del B dentro de los diferentes órganos de la planta. En condiciones de campo, por ejemplo, el pistacho y el nogal contienen la mayor concentración de B en las hojas maduras y menor concentración en el fruto y en el tejido de la semilla (Tabla 1). En almendro y manzano, cultivados en el mismo sitio, se encontró mayor concentración de B en la cáscara externa y en la piel del fruto y menor concentración en las hojas (Tabla 1).

La concentración de B, en hojas de diferente edad de la misma especie, proporciona evidencia de la movilidad de B. Concentraciones más altas de B en hojas viejas o maduras comparadas con las concentraciones en hojas más jóvenes evidencian la inmovilidad. Por el contrario, concentraciones más altas de B en hojas jóvenes son un indicativo de movilidad del B, debido a que estas hojas transpiran menos que las hojas más viejas.

* Tomado de: Brown, P., and H. Hu. 1998. Boron mobility and consequent management in different crops. *Better Crops* 82(2): 28-31.

Tabla 1. Concentración de B en hoja y partes del fruto en cuatro especies arbóreas.

Organo	B móvil		B inmóvil	
	Almendra	Manzano	Pistacho	Nogal
	----- ppm* -----			
Hoja	42	41	130	295
Cáscara externa	170	51 (piel)	33	40
Cáscara interna	34	34 (pulpa)	2	9
Semilla	43	54 (hueso)	1	4

* Contenido en base a materia seca

Tabla 2. Concentración foliar de B (ppm en base a materia seca) a lo largo de una rama joven, en varias especies de plantas.

Especie	Sector en la rama			Movilidad de B
	Basal	Mediano	Apical	
Fresa	512	176	68	Inmóvil
Nuez	304	127	48	Inmóvil
Pecano	303	119	30	Inmóvil
Tomate	721	318	94	Inmóvil
Almendro	45	60	81	Móvil
Apio	32	49	104	Móvil
Manzano	50	56	70	Móvil
Melocotón	53	57	208	Móvil
Níspero	72	101	162	Móvil
Olivo	42	51	56	Móvil
Pera	42	57	62	Móvil
Uva	74	55	88	Móvil

Los datos de la Tabla 2 sugieren que el B es inmóvil en el floema de pecanos, tomate, fresa y nogal y móvil en el floema de manzana, albaricoque, pera, uva, melocotón, apio y aceituna. Esta diferencia en el sitio de acumulación de B en los tejidos determina donde aparecen los síntomas de toxicidad de B dentro de la planta.

Síntomas de toxicidad de B

La diferencia de movilidad determina la diferente expresión de los síntomas de toxicidad de B en las plantas. En aquellas en las cuales el B es inmóvil, el nutriente se acumula siempre en el ápice y en los bordes de las hojas viejas, como en el nogal de la Figura 1, los síntomas de toxicidad de B en estas especies se presentan siempre como quemaduras en los márgenes y en la punta de las hojas (Foto 1, pistacho).

Por otro lado, en las plantas en las cuales el B es móvil, la toxicidad de B se presenta como muerte descendente de los brotes jóvenes (Foto 2, almendra), abundante secreción de resina en la axila de la hoja y presencia de lesiones corchosas de color marrón a lo largo del tallo y los pecíolos (Foto 3, almendra), en lugar de la

quemadura marginal en la hoja. La muerte descendente inducida por la toxicidad de B se observa en almendra, manzano, albaricoque, cerezo, melocotón, pera y ciruela. La presencia de estos síntomas “poco comunes” de toxicidad de B no se restringe solamente a plantas de los géneros *Prunus*, *Malus* y *Pyrus*, como se discute arriba. Por ejemplo, el apio responde a la toxicidad de B produciendo hojas jóvenes deformadas, tallos amargos y deformes, sin síntomas de quemaduras en el margen foliar. Se conoce que el B es móvil en el floema del apio, toda vez que el apio, al igual que los miembros del género *Prunus*, utiliza un poliol como fotosintetato primario de transporte de B. Los dos tipos de síntomas de toxicidad de B descritos arriba son consecuencia de la diferencia de movilidad del B. En resumen, para las especies en las cuales el B es inmóvil, la toxicidad de B se muestra como quemadura del ápice /margen de hojas viejas, y para las especies en las cuales el B es móvil, la muerte descendente es el síntoma primario de la toxicidad de B.

Diagnóstico de la deficiencia y toxicidad de boro

En general, en la mayoría de especies, el B es inmóvil debido a que no se desplaza en el floema, sin embargo, el B también es móvil en muchos cultivos importantes como los que se presentan en la Tabla 2. Estudios preliminares sugieren también que muchas otras especies pueden exhibir movilidad de B en el floema (por ejemplo café), sin embargo, esto debe todavía verificarse.

La diferencia de movilidad del B, presentada arriba, también influye en el diagnóstico del estado nutricional del nutriente en la planta y la corrección de la deficiencia o toxicidad. Las técnicas de muestreo practicadas actualmente y la descripción de los síntomas se basan en la premisa de que el B es inmóvil en la planta. Sin embargo, la selección del tejido a muestrearse y la determinación de la concentración crítica del nutriente depende de la movilidad del B en el floema. La Tabla 2 demuestra que el B no se acumula en las hojas más viejas de especies en las cuales el B es móvil, es decir, las hojas viejas no son adecuadas para la determinación de la toxicidad de B en esas especies. Las



Foto 1. El B es inmóvil en pistacho y los síntomas de toxicidad aparecen como quemaduras en la punta y en los márgenes de las hojas más viejas.



Foto 2. El B es móvil en almendra, la toxicidad puede causar muerte descendente de los brotes nuevos.

hojas apicales jóvenes o el tejido del fruto son mejores indicativos para estas especies (Tablas 1 y 2). Esta observación condujo a difundir la determinación de B en la cáscara externa del fruto del almendro, en California, para definir el estado nutricional de B. Sin embargo, en especies con movilidad limitada, la concentración del elemento en hojas viejas (Tabla 2), permanece como un buen indicativo de la toxicidad de B.

El diagnosticar la deficiencia de B en hojas recientemente maduras o completamente expandidas no es adecuado si el elemento es inmóvil en el floema. Esto se debe a que la concentración de B en una hoja desarrollada no refleja el estado del B en los tejidos en crecimiento, en los cuales un suplemento de B constante es muy crítico. En este caso, el diagnóstico solo será posible al muestrear los tejidos en crecimiento. Este es por naturaleza un proceso difícil e inconsistente, pero el único enfoque válido. En contraste, en las especies con movilidad, las hojas maduras son apropiadas para detectar la deficiencia ya que este contenido refleja el estado del B en toda la planta, inclusive en tejidos

jóvenes en crecimiento. En estas especies, la disminución del contenido de B en el suelo no tendrá impacto en el crecimiento de los tejidos meristemáticos hasta que el reservorio de B soluble de los tejidos maduros se agote.

Manejo de la fertilización con boro

El manejo de fertilización de cultivos con B está directamente influenciado por los patrones de movilidad del elemento en la planta. La evidencia experimental demuestra claramente que el B aplicado vía foliar es retranslocado hacia los órganos en crecimiento en las especies con significativa movilidad en el floema. Esto sugiere que las aplicaciones foliares de B pueden usarse efectivamente en cualquier momento que estén presentes hojas funcionales, para corregir la deficiencia y suplir B para los futuros tejidos de la flor y el fruto. Se ha observado beneficios significativos de la aplicación foliar de B en la fructificación en muchas especies frutales como la almendra, ciruelo y otros, como consecuencia de la



Foto 3. Síntomas de toxicidad de B en almendro: secreción abundante de resina en la axila de la hoja y apareamiento de lesiones corchosas de color marrón a lo largo del tallo y pecíolos.

movilidad del B.

Sin embargo, en especies en las cuales el B es inmóvil, El B aplicado vía foliar no se transloca del sitio de aplicación y no puede suplir los requerimientos de B del tejido aún no formado.

En consecuencia, en estas especies las aplicaciones de B para corregir la deficiencia se deben hacer directamente en el tejido de interés. En frutales donde el B es inmóvil, pero esencial para el proceso de floración, las aplicaciones de B son efectivas cuando se localizan directamente en los botones florales o en las flores.

Resumen

El conocimiento de la relativa movilidad del B en una especie en particular determina el enfoque a utilizar para el muestreo de tejido y para el diagnóstico del estado nutricional del B. Este conocimiento también determina la mejor estrategia de fertilización y ayuda a comprender las causas y las consecuencias de la deficiencia de B en el cultivo. Al momento se están conduciendo trabajos adicionales

para caracterizar plenamente los patrones de movilidad del B en diversas especies de plantas. Sin embargo, se pueden hacer algunas predicciones para algunos cultivos importantes:

- u En maíz, trigo, alfalfa y hortalizas, excepto las citadas anteriormente en este artículo, el B es inmóvil y por esta razón debe suplirse durante todos los estadios de crecimiento de la planta.
- u En esta especie, la aplicación foliar de B corrige la deficiencia en los tejidos actuales, pero esta aplicación tiene poco efecto en los futuros brotes.
- u Algunas especies pueden tener cultivares en los cuales el B puede presentar cierta movilidad. Esto explica las

diferencias en sensibilidad a la deficiencia de B que ocasionalmente se observan entre cultivares. Es necesario investigación futura al respecto.

Bibliografía

- Brown, P. H. y S. J. Barry. Boron mobility in plants. *Plant and soil*, v. 193, p.85-101, 1997.
- Brown, P. H. y H. Hu. Phloem mobility of boron in species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. *Annals of Botany*, v.77, p.497-505, 1996.
- Hu, H, S., G. Penn., C. B. Lebrilla., y P. H. Brown. Isolation and characterization of soluble B-complexes in higher plants. *Plant Physiology*, v.113, p.649-655, 1997.e