

BORO: Se están aplicando las dosis suficientes para el adecuado desarrollo de las plantas?

T. Yamada*

Introducción

El calcio (Ca) y el boro (B) son nutrientes de fundamental importancia para el desarrollo de las yemas apicales y de las puntas de las raíces. Sin estos nutrientes se paraliza el crecimiento de nuevas brotaciones y el de nuevas raíces.

La corrección de los niveles deficientes de Ca a lo largo del perfil del suelo, por medio del encalado o la aplicación de yeso, es una práctica establecida. Debido a la inmovilidad del Ca en el floema, es preciso corregir el contenido de Ca en todo el perfil del suelo hasta donde llega el desarrollo radicular. Esto se puede hacer fácilmente mediante la aplicación de yeso. El encalado tiene el mismo efecto, pero solamente se afecta las capas superficiales del perfil del suelo, sin embargo, en siembra directa, el efecto es el mismo que el del yeso pero de forma un poco más lenta.

El B es también inmóvil en el floema, aun cuando existen excepciones como las plantas que producen polioles como sorbitol, manitol, dulcitol, que

acomplejan el B tornándolo móvil en el floema. Ejemplos son el maní, manzanos y nectarinas (Patrick Brownl, 1999; comunicación personal).

Desafortunadamente, el B es inmóvil en el floema en la mayoría de las plantas y por esta razón el nutriente debe estar presente en el suelo para facilitar el crecimiento radicular. En otras palabras, para que se desarrolle un buen sistema radicular es preciso que el B esté en cantidades adecuadas en el sitio mismo donde crecen las raíces (junto con el Ca).

Existen dos consagrados dogmas que restringen la aplicación de dosis de B mayores a las que se usan actualmente, estas son:

- u Que la franja entre deficiencia y toxicidad de B en la planta es muy estrecha
- u Que el B aplicado en el suelo se lixivias fácilmente

Existen resultados de trabajos de investigación que ponen en duda estos dogmas. Estos trabajos

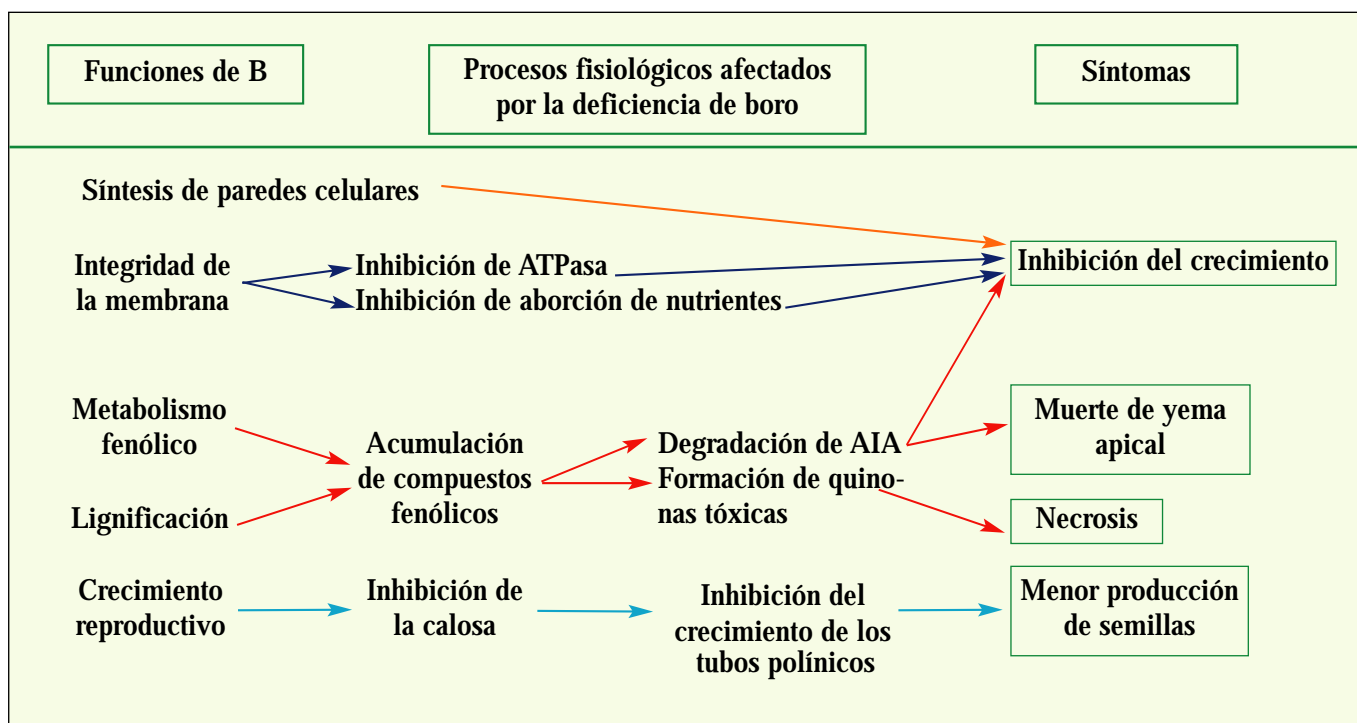


Figura 1. Funciones del boro y procesos fisiológicos afectados por su deficiencia y síntomas en la planta (Rönheld, comunicación personal).

* Tomado de: Yamada, T. 2000. Boro: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adecuado desenvolvimento das plantas? POTAFOS: Informacoes Agronomicas 90: 1-5.

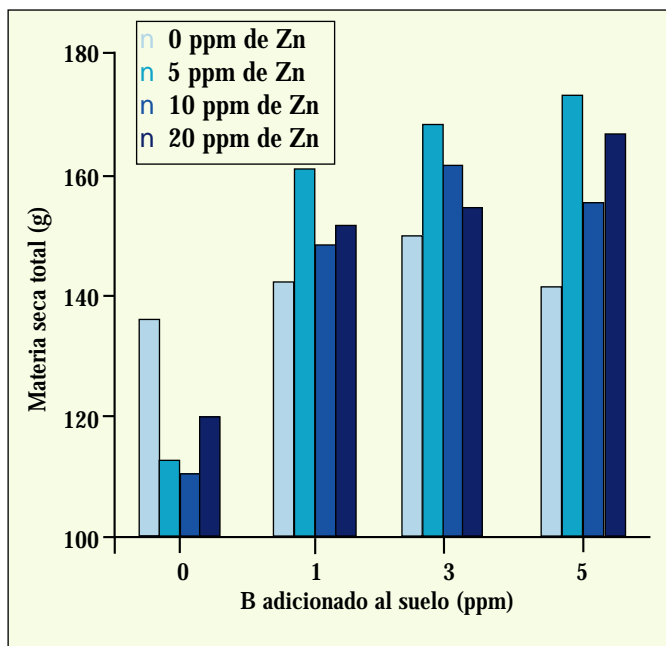


Figura 2. Materia seca total del café en función de los niveles de boro y zinc adicionados al sustrato.

demuestran que no existe evidencia que soporte la idea de que la franja entre deficiencia y toxicidad de B es estrecha (Chapman et al., 1997), y que el factor que gobierna la disponibilidad de B en la solución del suelo es la lixiviación (Catani et al., 1971; Ribeiro & Braga, 1974; Correa et al., 1985; Goldberg, 1997). Estos conceptos se discuten a continuación:

El B en la planta

La deficiencia de B afecta muchos procesos fisiológicos de la planta como el transporte de azúcares,

síntesis y estructura de la pared celular, lignificación, metabolismo de carbohidratos, metabolismo del RNA, AIA, fenoles y ascorbato, respiración e integridad de la membrana plasmática. Entre las diversas funciones atribuidas al B en las plantas dos están claramente definidas. Estas son la síntesis de la pared celular y la integridad de la membrana plasmática (Cakmak & Römheld, 1998).

Las funciones del B, los procesos fisiológicos relacionados con la deficiencia y los síntomas en la planta se resumen en la Figura 1 (Römheld, Comunicación personal).

El trabajo de Power y Woods (1997) proporciona abundante información acerca del B de mucha implicación práctica que se resume a continuación:

- u La absorción del potasio (K) aumenta con la de B. Casi no ocurre absorción de K en ausencia de B, es decir, muchos casos de deficiencia aparente de K pueden ser de hecho deficiencia de B.
- u El B juega un papel importante en el transporte de fósforo (P) a través de las membranas y así como ocurre con el K, muchos casos de deficiencia de P pueden ser reflejo de la deficiencia de B.
- u El B y el zinc (Zn) son esenciales para el funcionamiento óptimo de la ATPasa y de los sistemas redox de la membrana plasmática, es decir, sin B se puede reducir la eficiencia de Zn y viceversa.

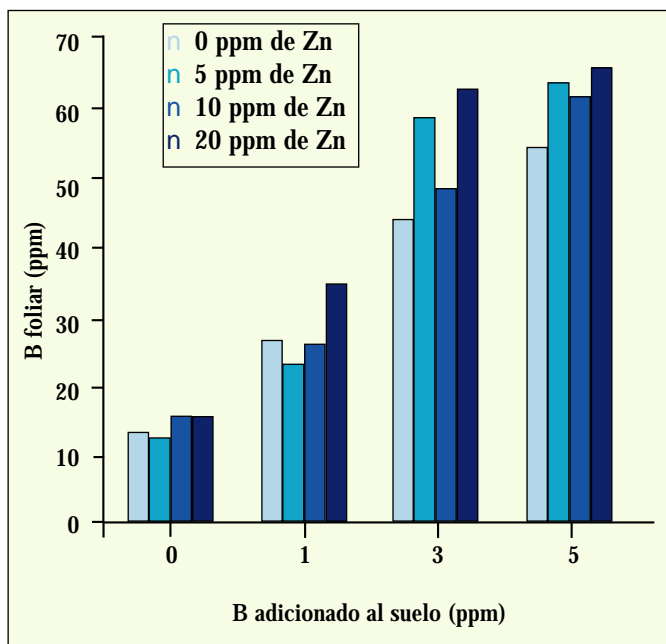


Figura 3. Contenido foliar de boro en el café en función de los niveles de zinc adicionados al sustrato.

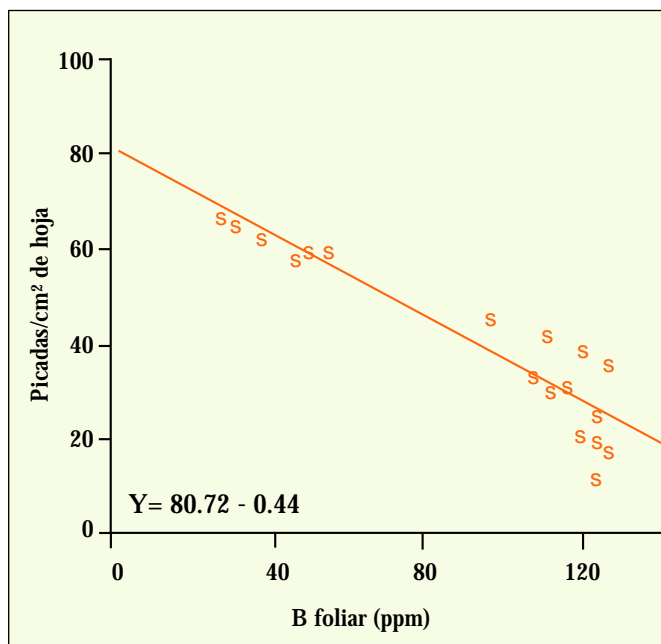


Figura 4. Relación entre el contenido de boro foliar y la intensidad del ataque de ácaros en plántulas de palma aceitera, 20 días después de la infestación.

- u La enzima ureasa es inhibida por el ácido bórico, esto explicaría porque fracasa la aplicación foliar de urea conjuntamente con ácido bórico.

Boaretto et al. (1997) advirtieron que la falta de correlación entre el contenido de B en las hojas y el rendimiento se debe a la dificultad de remoción del B retenido en la cutícula foliar o ligado a la capa péptica de la pared celular.

Lima Filho (1991), en su tesis de maestría, estudió la interacción entre B y Zn. Observó que el aumento en producción de materia seca del cafeto como respuesta a dosis crecientes de Zn ocurría tan pronto como se elevaba el contenido de B en el suelo. Es decir, la respuesta al Zn dependía de un contenido mínimo de B en el suelo (Figura 2). Las mejores respuestas al Zn se obtuvieron con los tratamientos de 3 y 5 ppm de B en el suelo (Figura 3).

LeNoble et al., (1993) y Lukaszewski & Blevins (1996) observaron que las dicotiledóneas mejoraban el crecimiento radicular en presencia de B, aun en condiciones de aluminio (Al) tóxico. Un segundo trabajo explica el fenómeno por la mayor producción de ascorbato en las plantas a las que se suplió B. Plantas con deficiencia de B recuperaron el desarrollo radicular con la adición de ascorbato al medio. Cabe aquí la pregunta: podría la fertilización con B incrementar el desarrollo del sistema radicular, mejorando la resistencia de los cultivos a los veranos tan frecuentes en ciertos sitios?

Es muy interesante el trabajo de Rajaratnam & Hock

(1975) con plántulas de palma aceitera. Se demostró que el aumento del contenido de B foliar redujo la infestación del ácaro rojo (*Tetranychus pirooei*) (Figura 4). Se observó además que existe correlación entre el B y la producción de cianidina, un polifenol que sería tóxico para el ácaro o que formaría complejos con compuestos nitrogenados que serían no disponibles o indigeribles por los ácaros (Figura 5). Nuevamente aquí la pregunta: Podría ser que lo observado en la palma aceitera podría también ocurrir en los cítricos, café y muchos otros cultivos?.

Boro en el suelo

Se considera que el factor que gobierna la disponibilidad de B en el suelo es la lixiviación. Sin embargo, la absorción del B por las plantas depende solamente de su actividad (concentración) en la solución del suelo. Esta a su vez depende de las reacciones de adsorción del B en los materiales activos en el suelo, como los óxidos de Fe y Al, minerales arcillosos, materia orgánica, hidróxido de magnesio $[Mg(OH)_2]$ y carbonato de calcio (CO_3Ca). La adsorción aumenta con el aumento del pH, temperatura, contenido de materiales adsorbentes y con la disminución de la humedad del suelo (Goldberg, 1993).

Los óxidos de Al fijan más B que los óxidos de Fe. A pH 6.0 la adsorción de B es aproximadamente 20 veces mayor en los óxidos de Al que en los óxidos de Fe (Figura 6 y 7). En las arcillas cristalinas, la adsorción sigue al siguiente orden: illita > montmorillonita >

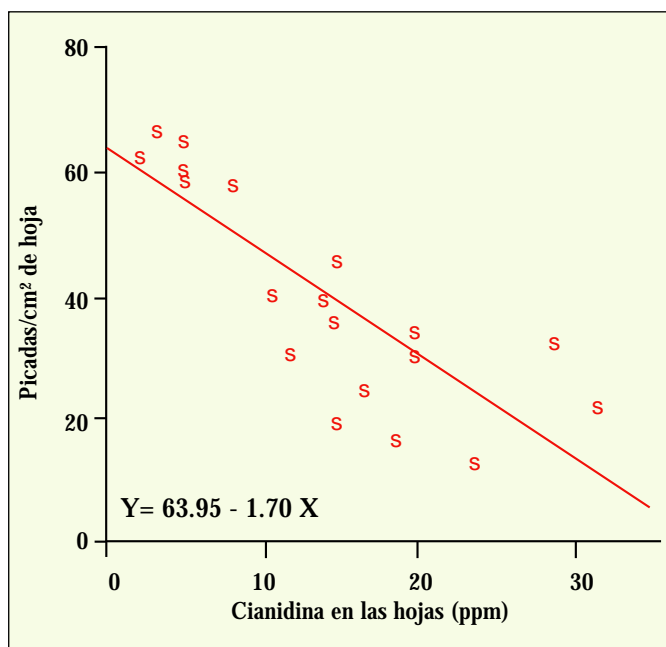


Figura 5. Relación entre el contenido de cianidina y la intensidad del ataque de ácaros en plántulas de palma aceitera, 20 días después de la infestación.

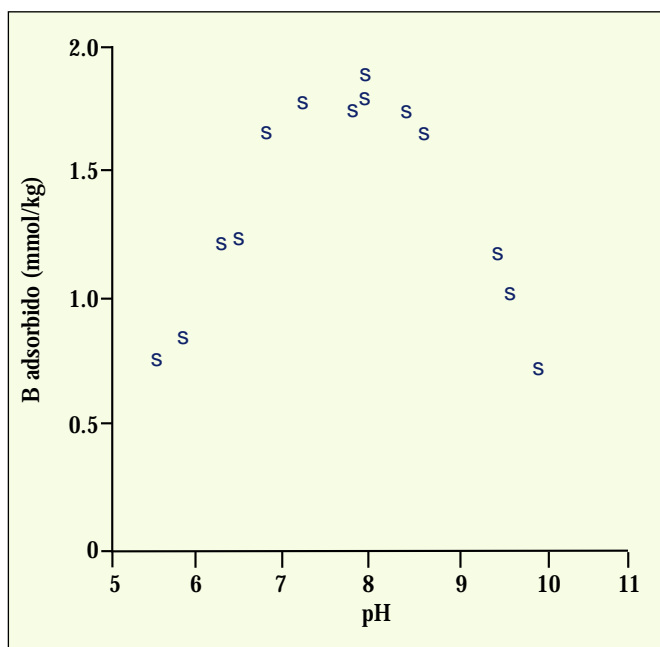


Figura 6. Adsorción del boro por óxido de hierro en soluciones que contienen 5 ppm B (Goldberg y Glaubig, 1985).

caolinita, además, la adsorción se incrementa con el pH (Figura 8).

En la Figura 6 es posible estimar que de una solución con 5 ppm de B a pH 6.0 se adsorben 10 mg de B/kg de óxido de Fe. Esto equivale a la adsorción de 0.2 kg de B por cada unidad de porcentaje de óxido de hierro presente en el suelo (suponiendo que 1 ha = 2 000 toneladas de suelo). Aplicando el mismo razonamiento en la Figura 7, se puede determinar que la adsorción de B llega a 4 kg de B por unidad de porcentaje de óxido de Al en el suelo.

Catani et al., (1971), trabajando con muestras de suelo de los horizontes B de un Latosol rojo oscuro y un Podzsol rojo amarillo, observaron que la adsorción de B aumentó con la concentración de B de la solución de equilibrio y con el incremento del pH. Con la menor concentración de B probada en el estudio (5.0 mg/ml) y con pH 6.0 hubo fijación de 3.5 ppm de B, equivalentes a 7.0 kg de B/ha.

Ribeiro & Braga (1974), trabajando con 14 muestras de la capa superficial de Latosoles de Mina Gerais observaron valores de adsorción de B que variaban entre 8 y 34 ppm (16 a 64 kg de B/ha). Observaron también el efecto directo del pH en el incremento de la adsorción de B.

Correa et al. (1985), estudiaron la respuesta de café a la aplicación de B en dos Latosoles, uno arcilloso (75% de arcilla) y otro arenoso (11% de arcilla) y llegaron a las siguientes conclusiones, muy interesantes desde el punto de vista práctico:

- u La capacidad de adsorción de B depende de la textura del suelo, es decir, del contenido de arcilla. Cuanto mayor es el contenido de arcilla mayor es la adsorción;
- u La absorción de B por las raíces del café está en función del contenido de B en equilibrio en la solución del suelo (alrededor de 0.6-0.8 ppm) y no del B adsorbido por el suelo;
- u Las extracciones de B del suelo con la pasta de saturación o HCl 0.05 N presentaron mejores correlaciones con el absorbido por las raíces del café (Tabla 1).

Se puede observar en la Tabla 1 que el Latosol rojo distrófico con 75% de arcilla adsorbió 4.25 mg B/kg de suelo (equivalentes a 8.5 kg de B/ha, en la capa superficial a 20 cm de profundidad), lo que equivale también a decir un adsorción de a alrededor de 0.1 kg B por cada unidad de porcentaje de arcilla) para mantener una concentración de 0.60 g B/g en el extracto de saturación. Esta concentración a su vez proporcionó la mayor producción de peso seco total de las plantas de café. En el Latosol amarillo oscuro distrófico, con apenas 11% de arcilla, la mayor producción de peso seco total se dio a una concentración de 0.77 g B/g de suelo en el extracto de saturación, un poco mayor que en el suelo anterior, posiblemente debido a la menor capacidad tapón de este suelo. Esto corresponde a una adsorción de 2.05 mg B/kg de suelo, lo que equivalen a 4.10 kg B/ha en la capa superficial a 20 cm de profundidad, o alrededor de 0.4 kg de B por cada unidad de porcentaje de arcilla.

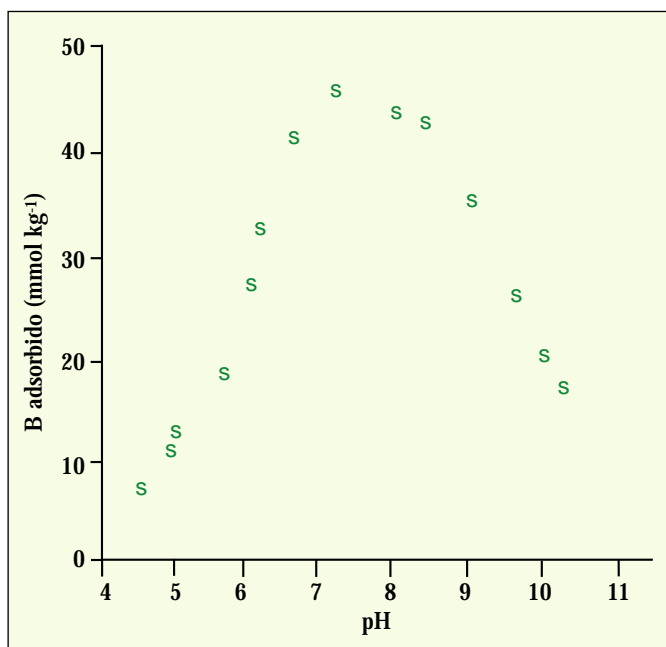


Figura 7. Adsorción del boro por óxido de aluminio en soluciones que contienen 5 ppm B (Goldberg y Glaubig 1985, citados por Goldberg 1997).

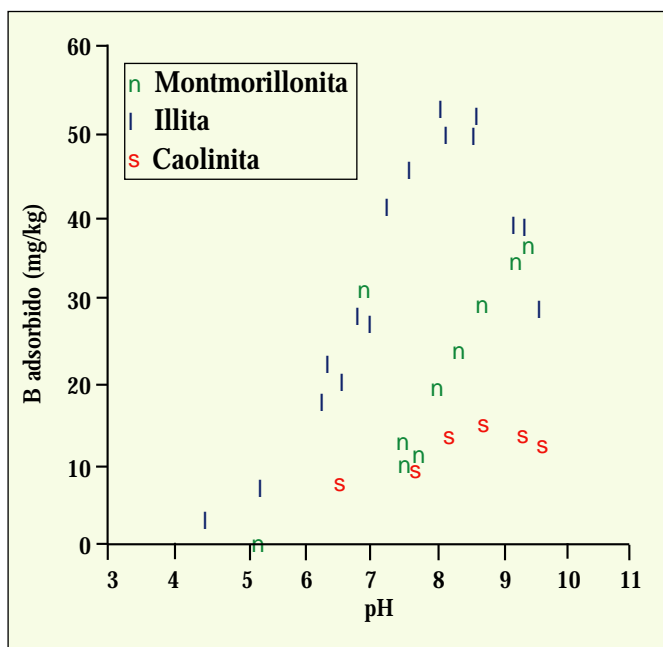


Figura 8. Adsorción de boro en diferentes arcillas en soluciones que contienen 2 ppm de boro (Higston, 1964, citado por Goldberg 1997).

Tabla 1. Efectos del boro en el suelo (adicionado, adsorbido y extraído) en el desarrollo de las plantas y en la concentración de boro en las hojas de cafeto (Correa et al., 1985).

B adicionado	B adsorbido	----- B extraído -----		Peso seco total	B foliar
		Extracto de saturación ¹	Extracción HCl 0.05 N		
g/ml	mg/kg	----- g -----		g/planta	ppm
----- LR Distrófico, 75% arcilla -----					
0	1.55	0.07	0.14	18.7	52
0.5	2.70	0.30	0.58	21.8	60
1.0	4.25	0.60	0.69	23.6	88
2.0	7.30	0.80	0.70	23.0	95
4.0	9.70	1.22	1.16	18.3	107
8.0	15.55	3.00	1.44	10.3	253
----- LAO Distrófico, 11% arcilla -----					
0	0.50	0.16	0.45	11.4	60
0.5	0.80	0.60	0.41	12.7	86
1.0	1.15	0.68	0.80	15.9	92
2.0	2.05	0.77	0.90	21.5	102
4.0	2.80	1.93	1.10	16.9	172
8.0	3.70	3.19	1.43	11.1	243

1 Resultados expresados en peso seco.

Como consecuencia de lo anterior se observa que las dosis de B necesarias para el desarrollo óptimo de las plantas es superior a las dosis máximas de B recomendadas actualmente. Por ejemplo se recomienda 1.5 kg de B/ha para la soya (EMBRAPA Soya, 1999) y 3.0 kg de B /ha para el café (CFSEMG, 1999). Aquí nuevamente la pregunta: se debería probar dosis mayores de B basándose en los contenidos de arcilla de los horizontes subsuperficiales del suelo que queremos corregir?.

Conclusiones

El B participa de una serie de procesos fisiológicos dentro de la planta y en ocasiones su deficiencia se confunde con la de otros nutrientes como la de P y K. Entre las funciones del B en las plantas, dos están muy bien definidas: la síntesis de la pared celular y la integridad de las membranas plasmáticas. Por esta razón, en presencia de una deficiencia de B no crecen nuevas raíces y tampoco nuevas brotaciones.

La disponibilidad de B en la solución del suelo está gobernada por la adsorción de B con los coloides del suelo.

La adsorción de B se incrementa con el contenido de arcilla y con el pH del suelo.

Aparentemente, las dosis de B actualmente recomendadas no logran mantener la concentración adecuada de B en la solución del suelo para el

óptimo desarrollo de las plantas, particularmente en suelos arcillosos y con exceso de encalado.

Es necesario conducir más investigación para afinar la recomendación de B en los sistemas de cultivo actuales.

Bibliografía

- Boaretto, A. E., C. S. Tiritan. y T. Muraoka. 1977. Effects of foliar applications of boron on citrus fruit and on foliage and soil boron concentration. In: Bell, R. W. & B. Rerkasem, (eds.). Boron in Soils and Plants. Kluwer Academic Publishers. p.121-123.
- Cakmak, I. y V. Romheld. 1977. Boron deficiency induced impairments of celular functions in plants. In: Dell, B., P.H. Rown y R. W. Bell. (eds.). Boron in soil and plants: review. Symposium, Chiang Mai, reprinted Plant and Soil, v.193, n1-2, p.71-83.
- Cakmak, I., H. Kurz y H. Marschner. 1995. Short-term effects of boron germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. *Physiol. Plantarum*, v.95, p.11-18.
- Catani, R. A., J. C. Alcarde y F. M. Kroll. 1971. Adsorcao de boro pelo solo. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, v.28, p.189-198.
- Chapman, V. J., D. G. Edwards, F. P. C. Blamey y C. J. Asher. 1977. Challenging the dogma of a narrow supply range between deficiency and toxicity of boron. In: Bell, R. W. & B. Rerkasem. (eds.). Boron in Soils and Plants. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. p. 151-155.

- CFSEMG-Comissao de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais. 1999. Recomendacoes para o uso de correctivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ta aproximacao. Vicosa: Universidade Federal de Vicosa. 359 p.
- Correa, A. E., M. A. Pavan y M. Miyazawa. 1985. Aplicacao de boro no solo e respostas do cafeeiro. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, v.20, n.2, p.177-181.
- EMBRAPA soja.1999. Recomendacoes técnicas para a cultura da soja no paraná 1999/2000. Londrina: 236p. (EMBRAPA Soja. Documentos, 131).
- Goldberg, S. 1977. Chemistry and mineralogy of born in soils. In: Gupta, U. C. (ed.). Boron and its role in crop production. Boca Raton: CRC Press, p. 3-44.
- LeNoble, M.E., D. G. Blevins, R. J. Miles. 1993. Extra boron maintains root growth under toxic aluminum conditions. Better Crops. Summer. p. 3-5.
- Lima Filho, O. F. 1991. Calibracao de boro e zinco para o cafeeiro (coffea arabica L. Cv. Catuaí amarelo). Piracicaba, 100p. Tese (mestrado) – Centro de Energía

Nuclear na Agricultura/USP.

- Rajartnam, J. A., L. I. Hock. 1975. Effect of boron nutrition on intensity of red spider mite attack on oil palm seedings. Experimental Agriculture, v.11, n.1, p 59-63.
- Lukaszewski, K. M. y D. G. Blevins. 1996. Root growth inhibition in boron-deficient or aluminum-stressed squash may be a result of impaired ascorbate metabolism. Plant Physiology, v. 112, p.1135-1140.
- Power, R. P. y W. G. Woods. 1977. The chemistry of boron and its speciation in plants. In: Dell, B., P. H. Ron y R. W. Bell. (eds.). Boron in soil and plants: review. Symposium, Chiang Mai, reprinted Plant and Soil, v. 193, n. 1-2, p.1-13.
- Ribeiro, A. C., J. M. Braga. 1974. Adsorcao de boro pelo solo. Experimentae, v.17, n.12, p.293-310.
- Ribeiro, A. C., P. T. G. Guimaraes y V. Alvarez. 1999. Recomendacoes para o uso de correctivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ta. Aproximacao. Vicosa: Universidade Federal de Vicosa. 359p.

Nueva Impresión

Manual de Nutrición y Fertilización de la Caña de Azúcar



Así como la caña de azúcar se cultiva en diferentes condiciones físicas, químicas y biológicas de suelo y en diferentes condiciones climatológicas, el productor de caña enfrenta una diversidad de problemas muy complejos. La interacción entre factores de suelo y ambiente afecta los requerimientos nutricionales, el crecimiento y el rendimiento de la caña y además complica el entendimiento de la producción tanto a los estudiantes como a los agricultores experimentados. Un conjunto de decisiones de manejo deben tomarse antes, durante y después de la siembra. El monitorizar e interpretar el crecimiento de la planta durante el ciclo es un trabajo arduo. Para resolver estos problemas es necesario adquirir cierto nivel de conocimiento de las condiciones nutricionales de la caña. Este libro ayudará a los productores de caña a tomar decisiones adecuadas en el uso de fertilizantes. Esta guía describe e ilustra los desórdenes nutricionales en una manera simple y sin complicaciones y esto ayudará al estudiante y al agricultor experimentado a entender los requerimientos nutricionales de la caña.

La segunda impresión del **Manual de Nutrición de la Caña de Azúcar** esta a disposición de los interesados. El costo de esta publicación es US \$ 8:00 dólares más US \$ 3:00 dólares por costo de correo y puede ser adquirida en las oficinas de INPOFOS o en los sitios de venta en otros países.