

TOXICIDAD DE BORO EN PLANTACIONES DE BANANO (*Musa* AAA) EN COSTA RICA

Alfonso Vargas^{1/}* Fulvio Arias^{**}, Edgardo Serrano^{*} y Oscar Arias M.^{***}

Palabras clave: boro, *Musa* AAA, toxicidad

Keywords: boron, *Musa* AAA, toxicity

Recibido: 06/03/2007

Aceptado: 05/09/2007

RESUMEN

En las hojas de plantas de banano (*Musa* AAA, cvs. Grande Naine y Valery), se observó una necrosis marginal irregular y continua, la cual se desarrolló a partir de un área clorótica igualmente irregular, que avanzó del margen hacia el interior de la hoja. La parte central de la lámina foliar retuvo siempre su coloración verde original. Los análisis de suelo y tejido foliar mostraron que los síntomas fueron causados por altas concentraciones de boro, debido ya fuese a aplicaciones excesivas del nutrimento al suelo y al follaje, o por el efecto de aplicaciones muy frecuentes de boro vía fertirriego, combinado con una disminución de la concentración de calcio en la hoja.

ABSTRACT

Boron toxicity in banana (*Musa* AAA) plantations of Costa Rica. In banana plants (*Musa* AAA, cvs. Grande Naine and Valery), leaves with a marginal, irregular, and continuous necrosis, developed from an irregular chlorotic area, from the edge towards the internal part of the leaf blade, were observed. The central portion of the leaf kept the original green color. Soil and foliar analyses showed that symptoms were caused by high boron concentrations, probably due to excessive soil or foliage applications of the nutriment, or to the effect of very frequent applications of boron during fertirrigation, combined with a decrease of calcium in the leaf.

INTRODUCCIÓN

El boro (B) fue reconocido a principios del siglo pasado como un elemento esencial para las plantas y se clasifica como un micronutriente, en virtud de que es requerido en muy pequeñas cantidades (Jaramillo y Garita 1981a, Fageria *et al.* 2002). Está involucrado en el transporte de azúcares a través de las membranas celulares, la síntesis e integridad estructural de la pared celular, el desarrollo y crecimiento de procesos reproductivos, el metabolismo de las plantas, así como en la estructura y funcionamiento de la membrana celular (Brown *et al.* 2002). Tiene

influencia en la transpiración, debido al control de la formación de almidón y azúcar (Vargas 1998); participa en el desarrollo y elongación celular (Bennett 1993), así como en la utilización del Ca (Belalcázar *et al.* 1991), lo que sugiere una estrecha relación entre estos 2 elementos.

Los micronutrientes pueden alcanzar niveles excesivos dentro de la planta y perjudicar su crecimiento y producción. Esta condición es particularmente importante en el caso del B, cuya deficiencia o toxicidad pueden expresarse, en comparación con el resto de los nutrientes esenciales, con mayor facilidad dado que el rango entre deficiencia y toxicidad es muy pequeño

1/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: alfvarga@corbana.co.cr

* Corporación Bananera Nacional S.A.

** Pineapple Development Company.

*** Agrobiotecnología de Costa Rica.

(Reid *et al.* 2004). Los efectos de la toxicidad de B en la planta de banano son irreversibles, por lo que el tratamiento va orientado a corregir los efectos en las futuras generaciones (López *et al.* 2001).

El B que se absorbe en la planta de banano, antes de la floración, es usado totalmente en el desarrollo de los frutos (Lahav y Turner 1992). Su requerimiento en las monocotiledóneas, como el banano y el plátano, es 3-4 veces menor que en las dicotiledóneas (Bennett 1993, Marschner 1995), no obstante, el hecho de tener 1 solo meristemo terminal hace a las primeras especialmente vulnerables a su carencia o toxicidad (Patiño *et al.* 1974)

Síntomas de toxicidad de B, han sido descritos por Jaramillo y Garita (1981a,b) y Vargas (1999) en una plantación del Caribe de Costa Rica. En el primer caso, causada por altas aplicaciones al suelo, y en el segundo bajo condiciones de hidroponía. En plantación se expresó como una clorosis marginal y en hidroponía en forma de una necrosis marginal delgada, discontinua e irregular, en conjunto con una clorosis marginal de la hoja, permaneciendo la región adyacente a la vena principal de una tonalidad verde normal. En hidroponía o campo, dichos síntomas se presentaron en la totalidad de las hojas de la planta, pero fue más evidente en aquellas de menor edad.

Los contenidos tóxicos de B en banano provocaron (Vargas 1999) aumentos de los contenidos foliares de N (9%), P (72%), K (116%), Ca (8%), Fe (31%), y Mn (87%); así como una reducción del 5% en la concentración de Cu.

La aparición de lesiones foliares en las plantas de banano (*Musa* AAA, cvs. Grande Naine y Valery), provenientes de áreas comerciales bajo cultivo intensivo, planteó diversas interrogantes sobre la naturaleza y el origen de los mismos, cuya respuesta fue el objetivo de este trabajo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lesiones foliares, que incluyeron necrosis y clorosis, fueron observadas con diferente intensidad (alta, media y baja) en varias fincas del Caribe

y del Pacífico Sur de Costa Rica. Áreas con alta intensidad se localizaron en las fincas San Pablo (Caribe) y Frutas Selectas del Trópico (Pacífico Sur), áreas con intensidad media en la finca La Rebusca (Caribe) y en sectores de Frutas Selectas del Trópico; y, áreas con intensidad baja en sectores de la finca Frutas Selectas del Trópico.

En la finca San Pablo, los síntomas se presentaron en marzo del 2006, en una pequeña área sembrada en 1959 con el cv. Valery (1750 plantas ha⁻¹), en un suelo Fluventic Endoaquepts. Las aplicaciones de B fueron de 5,1 kg ha⁻¹ año⁻¹ durante el 2005 y de 1,4 kg ha⁻¹ año⁻¹ de enero a marzo del 2006. En el área afectada, adicionalmente, se aplicó por error en el mes de febrero 1 solo ciclo, de alrededor de 10 kg ha⁻¹ año⁻¹ de B, con un fertilizante a base de ácido bórico.

En la finca Frutas Selectas del Trópico, los síntomas se presentaron con alta intensidad durante el 2004, en áreas de primera cosecha y en áreas con 3 años de sembradas a finales del 2005. Con intensidad media, a principios del 2006, en secciones de más de 3 años de sembradas, en todos los casos con el cv. Grande Naine. La plantación de primera cosecha se fertilizó foliarmente con 3,9 kg ha⁻¹ año⁻¹ de B, desde la siembra hasta la semana 16, y al suelo, mediante fertirriego con 0,78 kg ha⁻¹ año⁻¹ de B. En la plantación de 3 y más años de sembrada se utilizó fertirriego (2005) con 3,8 kg ha⁻¹ año⁻¹ de B, distribuidos semanalmente. Debido a un error en el sistema de fertirriego, el lote con clorosis marginal de alta intensidad recibió una sobredosis de fertilizante a base de B. El agua de riego presentaba un pH de 7,64, una dureza total de 110 mg l⁻¹, trazas de B, y 0,26 mS cm⁻¹ de conductividad eléctrica, lo que sugiere que sus aportes de B fueron escasos.

En la finca Rebusca, los síntomas se presentaron en setiembre del 2005, de manera generalizada. La plantación fue sembrada en 1991 con el cv. Grande Naine (1450 plantas ha⁻¹) en suelos clasificados como Andic Fluvaquentic y Fluventic Eutrudepts. Las aplicaciones de B fueron al suelo y vía foliar. De enero a octubre del 2005, se aplicó al suelo 6,82 kg ha⁻¹ año⁻¹ de B en 4 ciclos, con un fertilizante que contenía uleixita; vía foliar se

aplicó 0,72 kg ha⁻¹ año⁻¹ de B, distribuidos en 14 ciclos de fumigación aérea.

En todos los casos, para la determinación del contenido foliar de nutrimentos de las plantas afectadas, se utilizó la tercera hoja posicional de la planta en orden descendente (Lahav y Turner 1992); con una variación que consistió en dividir la hoja en 3 partes (interna, media y externa) para un mejor análisis del tejido afectado (Figura 1). Plantas sin síntomas de las fincas San Pablo, Rebusca, y Freeman, fueron muestreadas adicionalmente con el propósito de caracterizar los cambios en las concentraciones foliares de B.

El muestreo de suelos se efectuó en la banda de fertilización de las mismas plantas muestreadas foliarmente, con la ayuda de un barreno tubular. Cada planta constituyó una muestra, la cual fue repetida 6 veces en plantas con síntomas y sin ellos.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis Químico de CORBANA, S.A. Las muestras de suelo fueron sometidas a extracción por el método de Melich III para la determinación de Ca, Mg, y K, con KCl 1M para la determinación de acidez y agua para la de pH. Para la determinación de B en el suelo, se realizó una extracción con fosfato de calcio (500 mg l⁻¹), con una relación suelo:solución 1:2,5; leído con espectrofotómetro de Plasma, modelo Óptima 3000. Las muestras foliares fueron digeridas en microondas y la lectura de los elementos, con excepción del N que se determinó por combustión seca, se realizó en un espectrofotómetro de Plasma, modelo Óptima 3000.

RESULTADOS

Sintomatología

En las 3 fincas, todas las hojas de las plantas afectadas mostraron una necrosis marginal irregular y continua de color café y apariencia seca, la cual se desarrolló a partir de un área clorótica igualmente irregular, que avanzó del margen hacia el interior de la hoja. La parte central

de la lámina foliar mantuvo siempre su coloración verde original (Figura 2 a, b, c, d, e y f). La necrosis se presentó en plantas florecidas y jóvenes; siendo en estas últimas de menor intensidad.

Concentración de nutrimentos en el suelo

En la finca San Pablo, el suelo donde se encontraban las plantas con clorosis marginal, presentó concentraciones de B muy superiores a las del suelo donde se encontraban las plantas sin síntomas; el K, Ca y Mg fueron adecuados en ambos sitios. El pH y la acidez mostraron valores poco adecuados para el cultivo, aunque similares en ambas condiciones de suelo (Cuadro 1). En la finca Frutas Selectas del Trópico, las

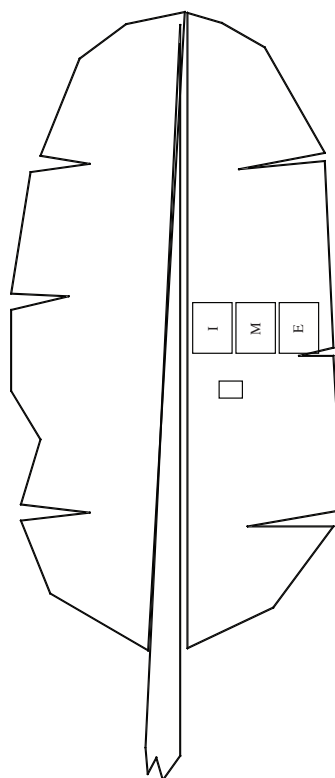


Fig. 1. Representación esquemática de la hoja de banano (*Musa AAA*) con la ubicación de las diferentes secciones: interna (I), media (M) y externa (E) de muestreo.

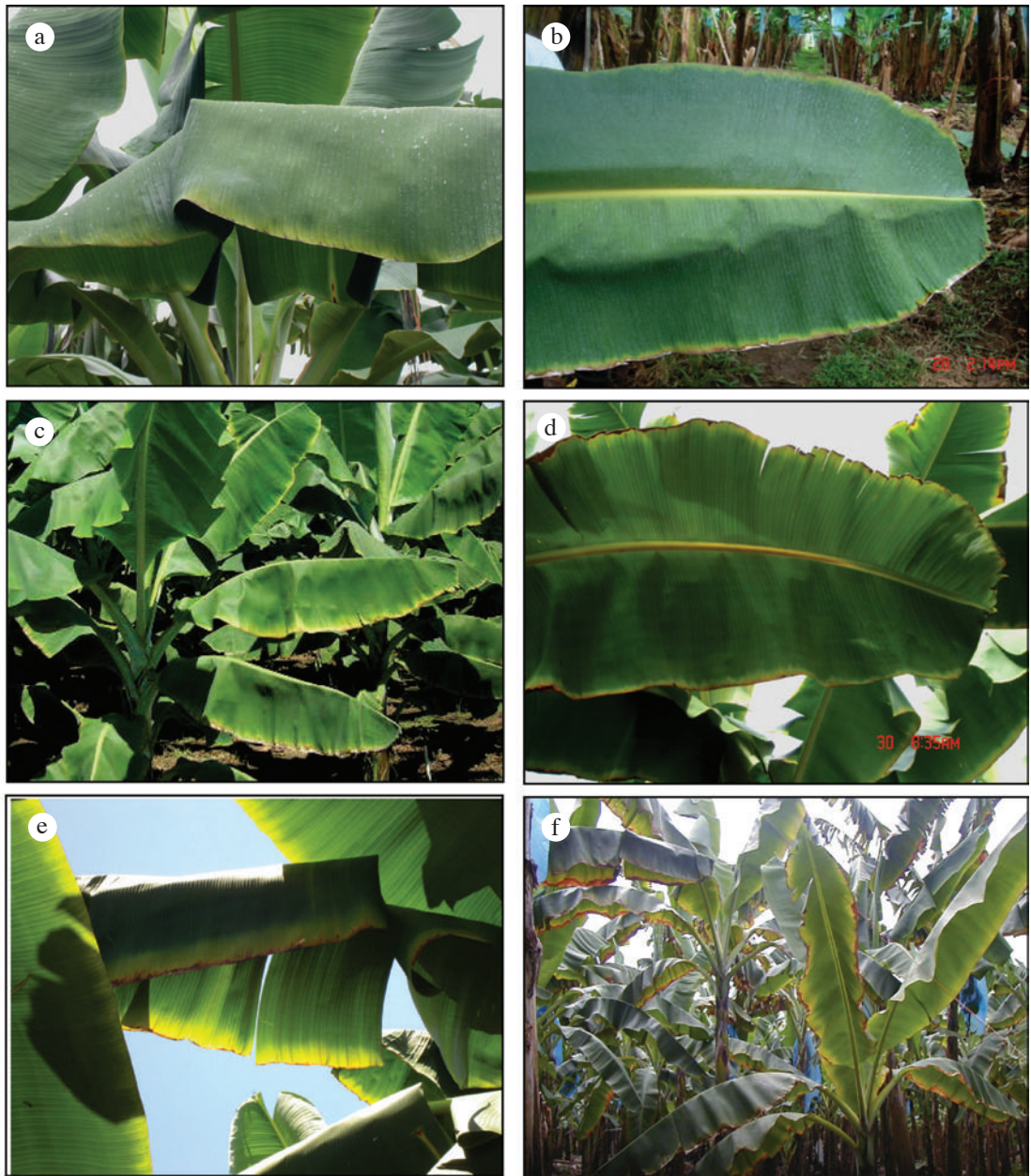


Fig. 2. Hojas de plantas de banano (*Musa* AAA) con diferente intensidad de síntomas propios de una toxicidad de *B. ligera* (2 a,b), media (2 c,d) y alta (2 e,f).

Cuadro 1. Características químicas del suelo, en áreas cultivadas con banano (*Musa* AAA, cvs. Valery y Grande Naine), con síntomas de una toxicidad de B y ausencia de los mismos.

Finca	Síntomas	pH	cmol (+) l ⁻¹				mg l ⁻¹
			Ac. Extrac.	Ca	Mg	K	B
San Pablo	Presentes	4,64	5,48	16,4	5,42	3,90	95,3
San Pablo	Ausentes	4,56	5,56	20,5	6,44	1,30	2,0
FSDT ¹	Presentes	6,08	0,06	30,5	14,6	0,65	1,0
FSDT	Ausentes	5,26	0,59	28,8	10,98	0,69	0,4
Niveles óptimos		>5,5*	< 0,5 *	> 5,0 **	> 2,25 **	> 0,6 **	0,6 *

¹ Frutas Selectas del Trópico. * Díaz-Romeu y Hunter (1978) (invernadero); ** Soto (2002).

concentraciones de acidez, Ca, Mg y K fueron similares y adecuadas para el cultivo en ambas condiciones. En dicho sitio, los contenidos de B fueron más bajos, aunque en el suelo donde se ubicaron las plantas con clorosis marginal intensa, la concentración de B fue 0,6 mg l⁻¹ mayor que en el área no afectada, cantidad considerada alta según Díaz-Romeu y Hunter (1978).

Concentración de nutrientes en la planta

Los tejidos foliares de las plantas, con síntomas de intensidad media, presentaron concentraciones de 27, 39 y 35 mg kg⁻¹ de B, en la parte

interna de la hoja 3 en las fincas San Pablo, Frutas Selectas del Trópico y Rebusca, respectivamente; mientras que las plantas con síntomas de intensidad alta, mostraron 151 y 73 mg kg⁻¹ de B en las fincas San Pablo y Frutas Selectas del Trópico, respectivamente. En plantas asintomáticas los contenidos de B fueron de 10 a 15 mg kg⁻¹. Tanto en las plantas con síntomas de intensidad media como alta, el contenido foliar de B fue en aumento desde el centro hacia el margen de la hoja. La concentración de N, Ca, Mg y K no mostró ninguna relación respecto a la de B (Cuadro 2). La relación Ca:B disminuyó conforme aumentó la concentración de B ($y=3054,4x^{-0,8869}$; $R^2=0,940$)

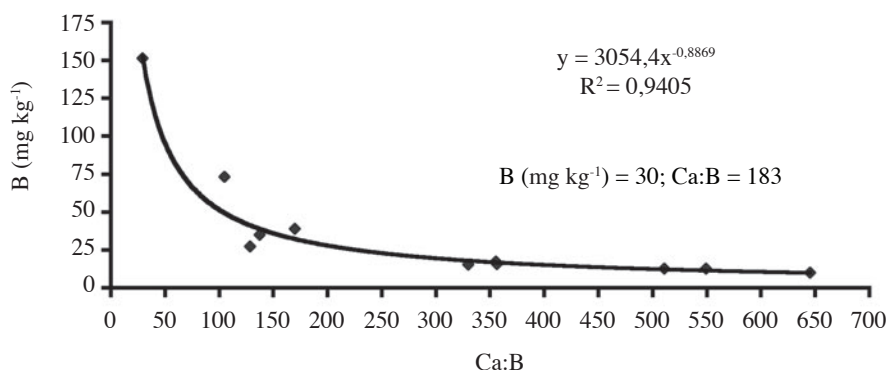


Fig. 3. Relación entre el contenido de B y el cociente Ca:B.

Cuadro 2. Contenidos foliares de N, K, Ca, Mg, B y relación Ca:B, en la parte interna, media, y externa de la hoja N° 3, en plantas de banano (*Musa* AAA, cv. Valery y Grande Naine) con diferente intensidad de síntomas de una toxicidad de B.

Finca	Cultivar	Intensidad del síntoma	Sección ³ analizada	%				mg kg ⁻¹	Ca:B ¹
				N	K	Ca	Mg	B	
San Pablo	Valery	Ausente	Interna	2,47	3,51	0,64	0,30	10	645
Siquirres	Grande Naine	Ausente	Interna	2,73	3,84	0,69	0,26	12	549
Freeman	Valery	Ausente	Interna	2,58	3,89	0,65	0,31	13	511
Rebusca	Grande Naine	Ausente	Interna	2,60	3,77	0,50	0,25	15	330
FSDT ²	Grande Naine	Baja	Interna	3,26	3,94	0,61	0,29	17	355
San Pablo	Valery	Media	Interna	2,76	4,70	0,35	0,13	27	128
Rebusca	Grande Naine	Media	Interna	2,58	3,40	0,48	0,28	35	137
FSDT	Grande Naine	Media	Interna	2,25	2,67	0,66	0,36	39	170
FSDT	Grande Naine	Alta	Interna	2,34	3,30	0,75	0,37	73	105
San Pablo	Valery	Alta	Interna	3,08	4,02	0,44	0,28	151	29
Nivel Crítico (López <i>et al.</i> 2001)				2,60	3,00	0,50	0,20	11	
Rebusca	Grande Naine	Media	Media	2,86	3,61	0,51	0,28	30	172
FSDT	Grande Naine	Media	Media	2,70	2,72	0,56	0,35	41	137
San Pablo	Valery	Media	Media	3,34	3,28	0,45	0,24	48	95
Rebusca	Grande Naine	Media	Media	2,86	3,61	0,51	0,28	30	172
FSDT	Grande Naine	Alta	Media	3,03	3,28	0,72	0,41	110	71
San Pablo	Valery	Alta	Media	3,44	3,33	0,51	0,37	1322	4
Rebusca	Grande Naine	Media	Externa	2,92	3,15	0,51	0,31	39	132
FSDT	Grande Naine	Media	Externa	3,06	2,89	0,41	0,35	124	33

¹ Ca:B=(%Ca *10000)/B mg kg⁻¹.

² Frutas Selectas del Trópico.

³ Tercera hoja en orden descendente.

(Figura 3). Adicionalmente, en la finca Frutas Selectas del Trópico, previo a la manifestación de síntomas (intensidad media), ocurrió una fuerte reducción en la concentración de Ca en la hoja, de la semana 34 a la 50 del 2005 (Figura 4).

DISCUSIÓN

Los síntomas observados en plantas jóvenes y adultas concuerdan con aquellos descritos por Jaramillo y Garita (1981 a,b) y Vargas (1999), como correspondientes a una toxicidad de B, al igual que las concentraciones indicadas como tóxicas por Martín-Prével (1987) para plantas recién florecidas y con los niveles tóxicos de B en el suelo de acuerdo con Díaz-Romeu y Hunter (1978).

Marschner (1995) y Fageria *et al.* (2002) indican que la distribución de B está gobernada por la transpiración. Dado que en la hoja ocurre la mayor tasa de transpiración, se encuentra la mayor la cantidad de B y existe una relación entre la intensidad de la transpiración y la distribución diferencial del nutrimento en la hoja. Por ello, un suplemento excesivo de B crea un gradiente de su contenido: pecíolos < parte media de la lámina foliar < punta de la hoja. También

aumenta en el mismo el gradiente en la tasa de transpiración y pérdida de agua. Por consiguiente, la necrosis de los márgenes o de las puntas de las hojas, se produce como consecuencia de dicha condición y son expresiones visuales típicas de la toxicidad de B.

Los síntomas fueron causados tanto en la finca San Pablo como en la finca Frutas Selectas del Trópico por aplicaciones de este elemento al suelo, ya fuese como fertilizante granulado en la primera de ellas, o como parte del fertirriego en la segunda. Adicionalmente, en el caso de la plantación de primera cosecha de la Finca Frutas Selectas del Trópico y de aquella ubicada en finca Rebusca, ello se agravó en función de una serie de aplicaciones foliares de B, un aumento en la frecuencia del fertirriego (Frutas Selectas del Trópico) y una abrupta disminución de la disponibilidad de Ca, provocada por factores climáticos (Frutas Selectas del Trópico). Al respecto, Fageria *et al.* (2002) y Nable *et al.* (1997) reportan que aplicaciones excesivas de B al suelo y foliar son causas de toxicidad. En banano, Turner (1985) reporta que aplicaciones de 3,3 g planta⁻¹ de ácido bórico causaron toxicidad. Dado que el Ca tiene un rol importante en el desarrollo y funcionamiento de membranas y paredes celulares (White y Broadley

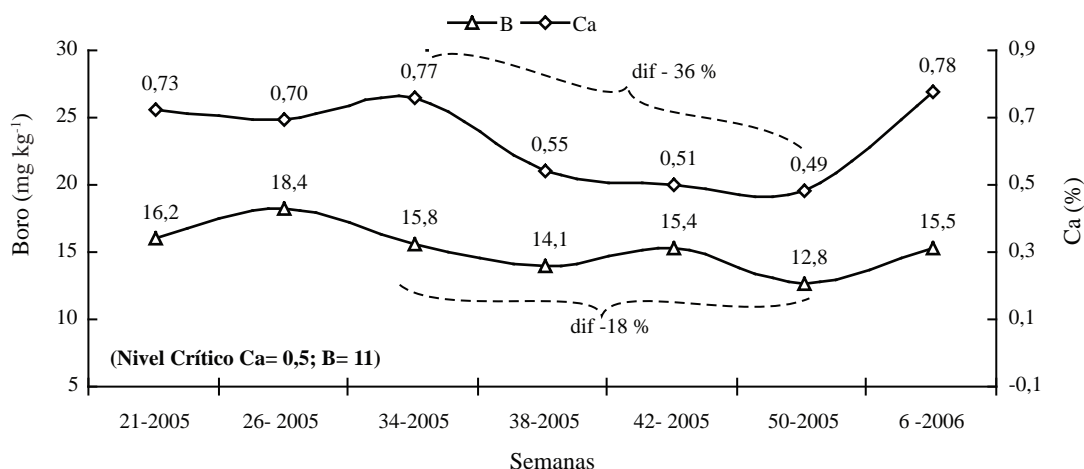


Fig. 4. Comportamiento de las concentraciones de Ca y B en la finca La Flor desde la semana 21 del 2005 y la semana 6 del 2006.

2003), su deficiencia provoca la formación de tejidos frágiles. De acuerdo con Reid *et al.* (2004), la disrupción en el desarrollo de la pared celular es una condición para la ocurrencia de la toxicidad por B. Esta condición se presentó en la finca Frutas Selectas del Trópico, donde previo a la aparición de síntomas ocurrió una fuerte reducción de la concentración de Ca en la hoja. Dicha disminución fue de 33,7%, en donde los contenidos de Ca pasaron de 0,77 a 0,51%; mientras que los contenidos de B en ese mismo período variaron poco (18%) y se mantuvieron sobre el nivel crítico.

De acuerdo con los valores de B, se sugiere con base en nuestras observaciones, que la toxicidad de B puede presentarse con valores cercanos a 30 mg kg⁻¹ en la hoja y no a 80 mg kg⁻¹ como indican Robinson *et al.* (1997). Adicionalmente, se sugiere sobre la base de la relación Ca:B y sobre su sinergismo, que valores de Ca:B menores o cercanos a 183, pueden ser una alerta sobre el riesgo de toxicidad por dicho nutrimento. Esta relación sugiere que bajo diferentes concentraciones de Ca, una misma cantidad de B puede ser tóxica o no.

LITERATURA CITADA

- BELALCÁZAR S., SALAZAR C., CAYÓN C., CASTILLO L., VALENCIA J. 1991. Manejo de plantaciones. pp: 149-239. *In.* El cultivo del plátano en el trópico. S. Belalcázar, J. Toro y R. Jaramillo (eds). Instituto Colombiano Agropecuario. Manual de Asistencia N° 50.
- BENNETT W. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. College of Agricultural Sciences and Natural Resources. Texas Tech University, Lubbock. The American Phytopathological Society. 202 p.
- BROWN P., BELLALLOU M., WIMMER M., BASSIL E., RUIZ J., HU H., PFEFFER H., DANIEL F., ROMHELD V. 2002. Boron in plant biology. *Plant Biology* 4: 205-223.
- DÍAZ-ROMEY R., HUNTER A. 1978. Metodologías de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigación en invernadero. CATIE. Turrialba, Costa Rica, 62 p.
- FAGERIAN., BALIGAR V., CLARK R. 2002. Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy* 77: 185-268.
- JARAMILLO R., GARITA R. 1981a. Diagnóstico sobre la presencia de clorosis marginal en una finca bananera del área de Guápiles. Informe Mensual UPEB (Panamá) 5 (41):23-25.
- JARAMILLO R., GARITA R. 1981b. Diagnóstico sobre la presencia de clorosis marginal en una finca bananera del área de Guápiles. Informe Mensual UPEB (Panamá) 5 (42):28-32.
- LAHAV E., TURNER D. 1992. Fertilización del banano para rendimientos altos. Boletín N° 7. Instituto de la Potasa y el Fósforo. 70 p.
- LÓPEZ A., VARGAS A., ESPINOZA J., VARGAS R. 2001. Síntomas de deficiencias nutricionales y otros desórdenes fisiológicos en el cultivo del banano (*Musa AAA*). Instituto de la Potasa y el Fósforo. Guía de Campo. 53 p.
- MARTIN-PREVEL P. 1987. Banana. pp.637-670. *In.* Martin-Prevel P, Gagnard J., Gautier P. (eds). Plant analysis as a guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops. New York-Paris, Lavoisier publishing.
- MARSCHNER H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2^d ed. London, UK, Academic 889 p.
- NABLE R., BAÑUELOS G., PAULL J. 1997. Boron toxicity. *Plant and Soil* 193: 181-198.
- PATIÑO H., CAMPO R., GAVIRIA M., HURTADO M., AGUIRE A. 1974. Dos afecciones del plátano y el banano en Colombia. *Noticias Fitopatológicas* 4(2):189-210.
- POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE. 1998. Manual de fertilidad de suelos. The Potash and Phosphate Institute, USA. 85 p.

- REID RJ., HAYES JE., POST A., STANGOULIS JCR., GRAHAM RD. 2004. A critical analysis of the causes of boron toxicity in plants. *Plant, Cell and Environment* 25: 1405-1414.
- ROBINSON JB.; TREEBY M., STHEPENSON RA. 1997. Fruits, vines and nuts. pp: 347-379. *In*. DJ. Reuter and JB. Robinson (eds). *Plant analysis and interpretation manual*. CSRIO Publishing. Collingwood, Australia.
- SOTO E. 2002. Determinación de los niveles críticos de potasio, calcio, magnesio y fósforo en suelos dedicados al cultivo de banano (*Musa AAA*) bajo condiciones de vivero en Costa Rica. *In*. Sandoval J. (ed). *Informe anual 2002*. San José CR. Dirección de Investigaciones de CORBANA. 157 p.
- TURNER DW. 1985. Fertilizing bananas -calcium, magnesium and trace elements. Department of Agriculture, New South Wales. *Agfact H6.3.6 5ª ed.* p. 162-164.
- VARGAS A. 1998. Los nutrientes minerales esenciales, su función dentro del metabolismo de las plantas y su relación con los cultivos de banano y plátano (*Musa AAA, AAB*). *CORBANA* 23(50):137-144.
- VARGAS A. 1999. Síntomas de toxicidad y contenido de macro y micronutrientes en plantas de banano (*Musa AAA*) bajo condiciones de cultivo hidropónico. *CORBANA* 24(51): 61-78.
- WHITE PJ., BROADLEY MR. 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany* 92: 487-511.

