

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**FERTILIZACIÓN DE EUCALIPTO CON BORO
Efecto sobre los contenidos foliares**

por

Marcelo Gabriel FERRANDO URRUTIA

TESIS presentada como uno de los
requisitos para obtener el título de
Magister en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias del Suelo

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2010**

Tesis aprobada por:

Jorge Hernández

Ricardo Methol

Amabelia del Pino

Fecha: -----
23 de diciembre de 2009

Autor: -----
Marcelo G. Ferrando Urrutia

Director: -----
José P. Zamalvide

AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía (UDELAR), que gracias a su Programa de Posgrado, me ha permitido avanzar en mi formación académica.

Al Ing. Agr. José Zamalvide, por su orientación durante todo el desarrollo de la maestría y en todos los proyectos que emprendo.

A los Ing. Agr. Jorge Hernández, Ricardo Methol, Armando Rabuffetti y Amabelia del Pino, por su participación en el tribunal de evaluación, sus aportes y sugerencias para mejorar mi trabajo de tesis.

A la Ing. Agr. Mónica Barbazán por su apoyo constante y sus correcciones voluntarias de mi tesis.

A mis compañeros y amigos de Fertilidad de Suelos, Edafología y del Departamento de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía, que siempre están colaborando y animándome en todos mis trabajos.

A mis compañeros de maestría y mis amigos, que siempre han estado motivándome y apoyándome en mis proyectos.

A mis padres, hermanos y suegros, que siempre están presentes en las buenas y en las malas, brindándome todo su afecto.

A Evangelina y Mathías, por su cariño, estímulo y respaldo constante en todos los emprendimientos y decisiones.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS.....	III
TABLA DE CONTENIDO.....	IV
LISTA DE CUADROS Y FIGURAS.....	VI
RESUMEN.....	VII
SUMMARY.....	VIII
I. <u>INTRODUCCIÓN GENERAL</u>	1
II. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
A. EL BORO EN EL SUELO.....	3
1. <u>Boro en formas minerales</u>	4
2. <u>Boro en la solución del suelo</u>	4
3. <u>Boro adsorbido</u>	5
4. <u>Boro en la materia orgánica</u>	7
B. FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE BORO PARA LAS PLANTAS.....	9
1. <u>pH</u>	9
2. <u>Temperatura</u>	10
3. <u>Humedad</u>	11
4. <u>Textura</u>	11
5. <u>Interacciones con otros elementos</u>	12
C. EL BORO EN LA PLANTA.....	13
1. <u>Boro en eucaliptos</u>	16
D. DIAGNÓSTICO Y PREDICCIÓN DE DEFICIENCIAS.....	19
E. FERTILIZACIÓN CON BORO.....	22
III. <u>FERTILIZACIÓN DE EUCALIPTO CON BORO. EFECTO SOBRE LOS CONTENIDOS FOLIARES</u>	27
A. RESUMEN.....	27
B. SUMMARY.....	29
C. INTRODUCCIÓN.....	30

D. MATERIALES Y MÉTODOS	35
E. RESULTADOS	39
1. <u>Comparación de fuentes: Solubor contra LBF50</u>	39
2. <u>Respuesta a la aplicación de LBF50 superficial en árboles de 6 meses</u>	41
3. <u>Respuesta a la aplicación de LBF50 incorporado antes del trasplante</u>	43
F. DISCUSIÓN	44
G. CONCLUSIONES	47
H. BIBLIOGRAFÍA	49
IV. <u>DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES GLOBALES</u>	53
V. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	55
VI. <u>ANEXOS</u>	66

LISTA DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro N°	Página
1. Boratos comúnmente utilizados en agricultura	22
2. Localización geográfica, especie plantada, momento de instalación y tipo de experimento, en los diferentes sitios experimentales	35
3. Unidad, tipo de suelo y material de origen para cada sitio experimental.	36
4. Resultado de los análisis químicos de suelos	36

Figura N°	Página
Figura 1. Ciclo del boro en el suelo.	3
Figura 2. Disociación del ácido bórico.	4
Figura 3. Formación de complejos B-diol.	8
Figura 4. Concentración foliar de boro (mg.kg^{-1}) promedio de todos los sitios, en tres momentos de muestreo, para los tratamientos: T: Testigo; SB: Solubor y U: LBF50.	39
Figura 5. Concentración foliar de boro (mg.kg^{-1}) promedio de los sitios 1, 2 y 4 a los 24 meses post fertilización y 12 post refertilización, para los tratamientos: T: Testigo; SB: Solubor; SBR: Solubor Refertilizado; U: LBF50; UR: LBF50 Refertilizado.	41
Figura 6. Concentración foliar de boro (mg.kg^{-1}) en función de la dosis agregada (g.pl^{-1}) para el promedio de todos los sitios, en tres diferentes momentos.	42
Figura 7. Concentración foliar de boro (mg.kg^{-1}) en función de la dosis agregada (g.pl^{-1}), para cada sitio. (a) Muestreo a los 6 meses post fertilización. (b) Muestreo a los 12 meses post fertilización.	43

RESUMEN

La deficiencia de boro (B) en árboles se asocia tanto a características de suelos como a factores climáticos. La escasa retención de B por parte del suelo, la baja reutilización por parte de las plantas, y el movimiento dentro de la planta muy dependiente de la transpiración, entre otros factores, dificultan la prevención y corrección de deficiencias de este nutriente. Una adecuada nutrición boratada es necesaria no sólo para obtener altos rendimientos de los cultivos, sino también para evitar pérdida de calidad. Un manejo adecuado de la fertilización ayudaría a minimizar los problemas que se pueden presentar en momentos coyunturales como de baja evapotranspiración con alto crecimiento, sequías prolongadas o lluvias muy lixiviantes. El uso de fertilizantes de liberación lenta permitiría mantener niveles de B en la solución del suelo por más tiempo y disminuir las deficiencias. En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica sobre la dinámica del B en el suelo y en la planta, diagnóstico, predicción de deficiencias y fertilización. Posteriormente se presenta un estudio cuyo objetivo fue evaluar los cambios de disponibilidad en el tiempo del B proveniente de diferentes fuentes boratadas, dosis y formas de aplicación, a través de cambios en los contenidos foliares de B de *Eucalyptus globulus* (Labille) y *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden)] en distintos suelos de Uruguay. Se instalaron 12 experimentos de campo de tres diferentes tipos: 1) comparación de fuentes [Solubor (SB); y borato base ulexita (LBF50)] aplicadas en cobertura a árboles con seis meses de transplantados; 2) respuesta a la aplicación de LBF50 en dosis de 0, 2, 4, 6 y 8 g de B por planta, en cobertura, en árboles con seis meses de transplantados; y 3) respuesta a la aplicación de LBF50 en dosis de 0, 3, 6, 9 y 12 g de B por metro lineal, incorporado en la faja laboreada previo al transplante. Se evaluaron los contenidos foliares de B a los 6, 12 y 24 meses de la fertilización en los experimentos Tipos 1 y 2, y a los 6 y 18 meses de la fertilización en los experimentos Tipo 3. El LBF50 mostró alta solubilidad y baja residualidad, con similar eficiencia que el SB como aporte de B. La aplicación de LBF50 en dosis crecientes aumentó en forma lineal los contenidos foliares de los árboles, tanto en aplicaciones superficiales como incorporadas. Se alcanzaron niveles foliares de suficiencia con aplicaciones de apenas 2 g de B por planta.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*; *Eucalyptus grandis*; Solubor; Ulexita

SUMMARY

Boron (B) deficiency in trees is associated with both soil characteristics and climatic factors. The B low retention by soil, the low reutilization by plants, and the highly dependent perspiration movement within the plant, among other factors, make difficult the prevention and correction of the deficiencies of this nutrient. An adequate B nutrition is necessary, not only to obtain high yields of crops and but also to avoid loss of quality. Proper management of fertilizers would help to minimize problems that may occur at times, for example when evapotranspiration is low and growth is fast, or with prolonged droughts or very leaching rains. The use of slow release fertilizers would maintain levels of B in soil solution for longer and reduce the deficiencies. This study presents a literature review on the dynamics of B in soil and plant, diagnosis, prediction of deficiencies and fertilization. Second, we present another study whose aim was to evaluate the availability of B from different sources, doses and application forms through changes in foliar B content of *Eucalyptus globulus* (Labille) and *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden)] in different soils of Uruguay. Twelve field experiments were conducted grouped in three different types: 1) comparison of sources [Solubor (SB), and borate ulexite base (LBF50)], applied to trees transplanted six months before; 2) response to the application of LBF50 at 0, 2, 4, 6 and 8 g of B per plant, sprinkled over trees transplanted six months earlier; and 3) response to the application of LBF50 at 0, 3, 6, 9 and 12 g B per meter, incorporated into the band before transplanting. The B foliar contents were evaluated at 6, 12, and 24 months of fertilization experiments in the Types 1 and 2, and 6 and 18 months after fertilization in Type 3 experiments. The LBF50 showed high solubility and low residuality, with similar efficiency as the SB. The application of increasing doses of LBF50 linearly increased the B foliar contents of trees, both in sprinkled and band applications. The B sufficiency levels were achieved with foliar applications of only 2 g of B per plant.

Key words: *Eucalyptus globulus*; *Eucalyptus grandis*; Solubor; Ulexita

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

La forestación con eucaliptos en Uruguay ocupa un área aproximada de 700.000 ha, realizándose mayoritariamente en suelos de baja fertilidad, en los cuales las plantas son generalmente fertilizadas con nitrógeno y fósforo. Si bien en general los árboles con ese manejo presentan buen crecimiento y adaptación a las condiciones edafoclimáticas del país, en algunos casos (especialmente en suelos desarrollados sobre Basamento Cristalino, Areniscas Cretácicas y Areniscas de Tacuarembó), se han observado síntomas de deficiencias de boro (B).

El B es un oligoelemento esencial para el desarrollo de las plantas, su deficiencia es más común que la deficiencia de cualquier otro micronutriente, y ha sido reportada en 132 cultivos comerciales en más de 80 países (Shorrocks, 1997). Al igual que otros micronutrientes, se requieren bajas concentraciones de B para el crecimiento de las plantas, pudiendo el mismo ser tóxico cuando las concentraciones son altas. Si bien es esencial para las plantas superiores y algunas algas, el B no es necesario para los animales, los hongos, o los microorganismos.

Una adecuada nutrición boratada es necesaria no sólo para obtener altos rendimientos, sino también, en algunos casos, para evitar pérdida de calidad de los cultivos. La falta de B causa cambios anatómicos, fisiológicos y bioquímicos, la mayoría de los cuales tiene además efectos secundarios en el crecimiento de las plantas.

La deficiencia de B en árboles ha sido asociada tanto a las características de los suelos como a factores climáticos. La poca retención del ácido bórico en el suelo, baja reutilización en la mayoría de las plantas, movimiento interno muy dependiente de la transpiración, entre otros, dificultan la prevención y la corrección de las deficiencias. El conocimiento y entendimiento de los factores que afectan la disponibilidad de B en los suelos y su dinámica en suelo y planta, es imprescindible para lograr un manejo adecuado de este nutriente en cada situación específica. Para un manejo adecuado de la nutrición boratada, es necesario considerar además, los diferentes contenidos y

solubilidad de los fertilizantes boratados (dependiendo de su origen, presentación y del suelo sobre el que se aplica) en relación a suelos y cultivos.

En este trabajo se presenta, en primer lugar, una revisión bibliográfica sobre la dinámica del B en suelo y planta, diagnóstico y predicción de deficiencias, y fertilización con B. Posteriormente se exponen y discuten los resultados de ensayos comparativos de distintas fuentes, dosis, momentos y forma de aplicación de distintos fertilizantes boratados, para dos especies de eucaliptos, en formato de publicación según las normas de la revista *Agrociencia* (aún está pendiente su publicación). Por último, se realiza una discusión general del tema, presentándose algunas conclusiones generales del trabajo.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. EL BORO EN EL SUELO

El B en el suelo puede encontrarse en rocas y minerales, adsorbido en superficie de arcillas y en óxidos de Fe y Al, en la MO, y en la solución (Figura 1) (Prasad y Power, 1997; Havlin *et al.*, 2005). El contenido total de B en los suelos es de escasa significación agrícola, variando entre 0,9 y 1000 mg.kg⁻¹ (Wild, 1992) y normalmente en un rango de 2 a 100 mg.kg⁻¹ (Fleming, 1980).

La mayoría de los suelos tienen bajo contenido de B (<10 mg.kg⁻¹); los suelos con altos contenidos de B están asociados a vulcanismo reciente. De este total, el B fácilmente disponible para las plantas estaría entre menos del 5% (Havlin *et al.*, 2005) y un 10 % (Power y Woods, 1997), y proviene fundamentalmente de la descomposición de la MO y del B adsorbido en la superficie de las partículas del suelo (Prasad y Power, 1997). Comparado con otros nutrientes, la química de B en los suelos es muy simple, no sufriendo reacciones de oxidación-reducción o de volatilización (Römheld y Marschner, 1991).

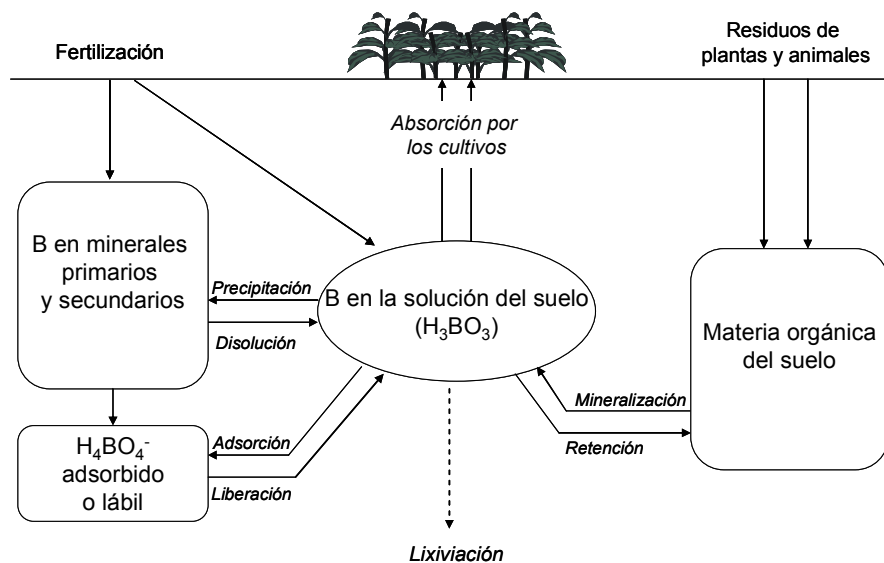


Figura 1. Ciclo del boro en el suelo (adaptado de Tisdale *et al.*, 1993).

suelos de regiones húmedas tienen bajas cantidades de B disponible para las plantas debido a su lixiviación a través del perfil del suelo (Prasad y Power, 1997). En suelos alcalinos con altos contenidos de B, la adsorción y liberación de B puede bufferear su concentración en solución, lo que reduce la lixiviación potencial (Tisdale *et al.*, 1993).

3. Boro adsorbido

La adsorción de B sobre minerales arcillosos y óxidos e hidróxidos de Al, Fe y Mg, ha sido ampliamente estudiada (Tisdale *et al.*, 1993; Prasad y Power, 1997; Malavé Acuña, 2005), aún cuando su magnitud en general no es muy elevada, siendo más importante en suelos con pH alto. Si bien existen diferencias entre suelos, en diversos trabajos se ha estimado el B adsorbido en condiciones naturales y en general es menor al 2 % del B total del suelo (Jin *et al.*, 1987; Hou *et al.*, 1994; Tsadilas *et al.*, 1994; Xu *et al.*, 2001). Elrashidi y O'Connor (1982), trabajando con suelos de zonas áridas, encontraron contenidos de B adsorbido entre 0,06 y 0,40 mg.kg⁻¹, mientras que Hou *et al.* (1994), analizaron 24 suelos de Canadá y encontraron contenidos en esta fracción entre 0,01 y 1,15 mg.kg⁻¹.

Los minerales arcillosos son importantes superficies adsorbentes de B en los suelos (Keren y O'Connor, 1982; Goldberg y Glaubig, 1986; Keren y Talpaz, 1984; Keren *et al.*, 1994). Para los minerales arcillosos, el orden de absorción por peso, es el siguiente: illita>montmorillonita >caolinita (Hingston, 1964; Tisdale *et al.*, 1993; Goldberg, 1997). Según Keren y Mezuman (1981), la diferencia entre montmorillonita y caolinita en la cantidad de B adsorbida puede ser pequeña bajo ciertas circunstancias y grande en otras. A bajos contenidos de B total y pH<9-9,5, la caolinita retiene más B que la montmorillonita. Sin embargo, para altos contenidos de B total, la adsorción por montmorillonita es mayor para cualquier valor de pH.

La adsorción de B por óxidos e hidróxidos ha sido estudiada por muchos investigadores (Goldberg, 1997). Trabajando con óxidos e hidróxidos de Al, Fe y Mg puros, se encontró que adsorben grandes cantidades de B, siendo la magnitud del

proceso dependiente del pH (Goldberg y Glaubig, 1988). Comparando por peso, los óxidos de Al retienen más B que los de Fe, por tener los primeros un alta área superficial. Si se compara por superficie adsorbente, la magnitud del proceso es similar (Goldberg y Glaubig, 1985). El hidróxido de Mg puede remover apreciables cantidades de B a partir de las soluciones. Rhoades *et al.* (1970), trabajando con suelos de zonas áridas, encontraron una alta correlación entre el contenido de hidróxido de Mg en los minerales silicatados del suelo y la adsorción de B. Estos suelos presentan altos contenidos de hidróxido de Mg en la estructura de los minerales de la arena y de las arcillas, lo que les confiere una alta capacidad de retención.

La retención de B sobre óxidos minerales ocurre rápidamente, completándose luego de un día de reacción (Goldberg *et al.*, 1993; de Bussetti *et al.*, 1995). La fijación sería a través de reacciones de retención física (superficialmente) y de intercambio de ligando (internamente) (Su y Suárez, 1995; Peak *et al.*, 2003). La adsorción de B sobre óxidos minerales disminuye por competencia de algunos iones en el siguiente orden: cloruros < sulfatos < arsenatos < fosfatos (Malavé Acuña, 2005).

Ha sido observada una mayor adsorción de B en los suelos con mayor contenido de carbonato de calcio (Elrashidi y O'Connor, 1982). Goldberg y Forster (1991) encontraron que si en suelos calcáreos se eliminan los carbonatos existentes, la magnitud de la adsorción se reduce significativamente, lo cual indica que en estos suelos el carbonato de calcio actúa como una importante fuente de adsorción de B. Según Malavé Acuña (2005), una manera efectiva de incrementar la retención de B en los suelos es mediante la aplicación de carbonato de calcio (encalado). Además del efecto directo por el aumento del pH de la solución, el carbonato de calcio actúa como una importante fosa adsorbente de B en suelos calcáreos a través de un probable mecanismo de intercambio con grupos carbonato (Goldberg, 1997; Malavé Acuña, 2005). Para Goldberg y Forster (1991), estos carbonatos juegan un papel importante disminuyendo los contenidos de B en solución, atenuando posibles efectos fitotóxicos de altas disponibilidades de B.

4. Boro en la materia orgánica

La materia orgánica (MO) del suelo representa una gran fuente potencial de B disponible para las plantas (Tisdale *et al.*, 1993). Su influencia en la disponibilidad de B es incuestionable, pero la medida en que lo hace está condicionada por factores tales como su grado de descomposición, el contenido de humedad y pH del suelo (Fleming 1980). Hou *et al.* (1994), trabajando con 24 suelos agrícolas de Canadá (con un amplio rango de propiedades físicas y químicas, y contenidos totales de B), encontraron contenidos promedio de B orgánico de $4,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ (8,6% del B total) con un rango de $1,4$ a 8 mg.kg^{-1} (1,8 a 23% del B total). Los contenidos de B disponible en el suelo han sido correlacionados significativamente con el contenido de carbono orgánico (Goldberg, 1997; Hou *et al.*, 1994). Según varios autores (Fleming, 1980; Havlin *et al.*, 2005), una alta disponibilidad de B en los horizontes superficiales comparados con los subsuperficiales, está relacionada a un mayor contenido natural de MO. El agregado de compuestos orgánicos a los suelos puede aumentar la absorción de B por las plantas e incluso causar fitotoxicidad.

Resultados aparentemente contradictorios surgen de la investigación de Yermiyahu *et al.* (2001). Estos autores observaron que la aplicación de bajas cantidades de compost en suelos arenosos y con bajos contenidos totales de B, aumentaba los niveles en solución y su absorción por las plantas. Por el contrario, en suelos con altos contenidos totales de B, a medida que aumentaban las cantidades de compost agregadas disminuía la disponibilidad de B y su absorción por las plantas. Este comportamiento sugeriría que si bien la MO sirve de fuente de B liberándolo a medida que se descompone, también actúa reteniendo el B y disminuyendo su contenido en solución (de las Salas, 1987; Bell *et al.*, 2002). Estas dos influencias opuestas sobre la disponibilidad para las plantas (aporte por mineralización y retención de B de la solución), pueden explicar los resultados aparentemente contradictorios que a menudo rodean el papel de la MO en la disponibilidad de B (Bell *et al.*, 2002).

La unión entre el B y la MO se vuelve más fuerte con el aumento en el número de grupos OH receptivos, como puede ocurrir con un aumento de la descomposición de MO (Fleming 1980). Yermiyahu *et al.* (1995) observaron que la retención de B sobre un suelo mineral aumentó con el aumento de los aportes de MO en forma de compost, disminuyendo significativamente los contenidos en la solución del suelo, especialmente en el rango de pH de 7 a 8,5. Estos autores sostienen que la retención de B por la MO puede ser mayor que por los componentes minerales.

Algunos estudios sugieren que el mecanismo de formación de complejos de B con compuestos orgánicos es mediante la unión con grupos diol asociados con ácidos carboxílicos, generando ésteres de boratos cíclicos estables con estructuras como las mostradas en la Figura 3 (Goldberg, 1997; Prasad y Power, 1997; Malavé Acuña, 2005).

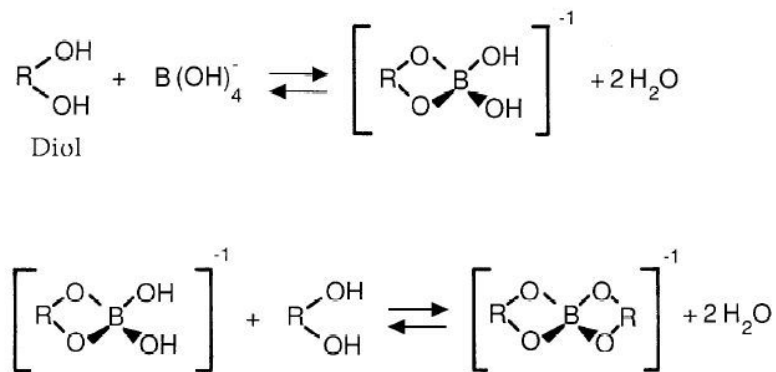


Figura 3. Formación de complejos B-diolo (Adaptado de Goldberg, 1997)

Yermiyahu *et al.* (1988), han reportado cierta irreversibilidad de la retención de B por la MO, posiblemente debida a esta asociación química entre el B y las moléculas orgánicas.

La MO, por lo tanto, puede ayudar a reducir al mínimo la pérdida de B de los suelos y al mismo tiempo mantener este elemento en una forma razonablemente disponible (Fleming 1980). En suelos con altos contenidos de B total, se podría reducir las cantidades de B disponible y su toxicidad para las plantas mediante el agregado de MO.

En suelos arenosos, en los cuales la lixiviación del B resulta en bajos contenidos totales, el agregado de MO puede reducir dicho lavado e incrementar su absorción por las plantas (Yermiyahu *et al.*, 2001).

B. FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE BORO PARA LAS PLANTAS

La disponibilidad de B estará afectada por el pH, temperatura, humedad y textura del suelo (Su y Suárez, 1995) y la interacción con otros elementos (Tistale, *et al.* 1993; Goldberg, 1997).

1. pH

El pH del suelo y el B soluble están significativamente correlacionados (Elrashidi y O'Connor, 1982), siendo máxima la disponibilidad de B en el suelo a pH entre 4,5 y 6,3 (de las Salas, 1987). Se ha observado una curva característica de adsorción de B al aumentarle el pH a los suelos (Mezuman y Keren, 1981; Keren *et al.*, 1985; Barrow, 1989), alcanzando un máximo cercano a pH 8-9, luego del cual la adsorción disminuye (Hingston, 1964; Goldberg, 1999; Goldberg *et al.*, 2000; Goldberg *et al.*, 2005).

Las variaciones en la adsorción por las variaciones de pH se explicarían por lo siguiente: a pH <7 predomina el $B(OH)_3$, el cual no es retenido por las arcillas. A medida que sube el pH por encima de 7, aumenta la presencia de $B(OH)_4^-$, aumentando la cantidad de boro adsorbida. Dado que la concentración de OH^- a pH <9 sigue siendo baja, el efecto en la adsorción de B es pequeño. A valores mayores de pH, aumenta la concentración de OH^- en relación al $B(OH)_4^-$, disminuyendo rápidamente la adsorción de B debido a la competencia con los OH^- por los sitios de adsorción (Keren y Mezuman, 1981).

La adsorción de B en óxidos y caolinita incrementa desde pH 3 a 6, exhibiendo un máximo entre pH 6-8.5, y disminución desde pH 8.5 hasta 11 (Goldberg *et al.*, 1993). En montmorillonita y suelos, la adsorción máxima se da a valores de pH cercanos a 9

(Goldberg *et al.*, 2000). La adsorción de B sobre CaCO_3 aumenta con el aumento del pH de la solución, alcanzando un pico entre 9,5 y 10, para luego disminuir a pH más alto (Goldberg y Forster, 1991; Goldberg *et al.*, 1993)

El encalado de suelos ácidos puede causar una deficiencia temporal de B en plantas susceptibles, dependiendo la severidad del contenido de humedad del suelo, y del tiempo transcurrido después de la aplicación, posiblemente por la variación en la velocidad de reacción de la caliza. Un encalado moderado se puede utilizar para disminuir la disponibilidad de B y su absorción por las plantas en suelos ricos en este nutriente (Havlin *et al.*, 2005).

2. Temperatura

Tanto las reacciones abióticas como las relacionadas con la actividad microbiana aumentan al aumentar la temperatura. La mineralización de la MO del suelo y/o de los restos vegetales es dependiente de la actividad biológica del suelo, la cual es estimulada por el incremento de temperatura hasta el óptimo del sistema biológico predominante (Tistale *et al.*, 1993). A 0 °C la actividad microbiana es poca, aumentando cuando la temperatura aumenta hasta un valor máximo cercano a los 35 °C (Kirschbaum, 1995).

El efecto de la temperatura en la adsorción de B dependerá de la mineralogía de la fracción arcilla del suelo. En aquellos con predominancia de minerales cristalinos, la retención disminuye al aumentar la temperatura de 8 a 40 °C (Goldberg *et al.*, 1993; de Bussetti *et al.*, 1995). En la montmorillonita y caolinita, el aumento de la temperatura de 10 a 40 °C disminuye la adsorción en más del 20%, siendo mayor el efecto de la temperatura en suelos caoliníticos que en esmectíticos (Goldberg *et al.*, 1993). En suelos amorfos, en cambio, Bingham *et al.* (1971) encontraron un leve aumento de la adsorción de B con el aumento de la temperatura de 10 a 40 °C.

3. Humedad

La deficiencia de B ha sido a menudo asociada a situaciones de sequía y condiciones de baja humedad del suelo. Esto se puede deber a que cuando se seca la capa superior del suelo, las raíces exploran y extraen agua desde profundidades mayores, donde generalmente los contenidos de B son bajos (Fleming 1980). En condiciones de baja humedad del suelo, la absorción de B por la raíz es menor (Havlin *et al.*, 2005; Malavé Acuña, 2005), reduciéndose también la mineralización de la MO del suelo y consiguiente liberación de B (Havlin *et al.*, 2005).

4. Textura

Muchos autores han visto que la adsorción de B por parte del suelo es dependiente de su textura (Mezuman y Kernel, 1981; Elrashidi y O'Connor, 1982; Keren y Talpaz, 1984). Goldberg *et al.* (2005) observaron que la adsorción de boro disminuye a medida que la textura del suelo es más gruesa. Esta tendencia es probablemente el resultado de la disminución en los sitios de adsorción de B que ocurre con la disminución en los contenidos de arcilla (Havlin *et al.*, 2005). Elrashidi y O'Connor (1982), encontraron una correlación significativa y positiva entre el B adsorbido y el contenido de arcilla del suelo.

Según Keren *et al.* (1985), cuanto más alto es el contenido de arcilla del suelo, más baja es la actividad de B de la solución, para cualquier cantidad de B agregado. Según estos autores, la cantidad de B adsorbido es dependiente de la textura del suelo, al igual que la concentración de B soluble.

Suelos arenosos con subsuelos de textura fina generalmente no responden al agregado de B de manera semejante a aquellos con subsuelos de textura gruesa. El B soluble agregado a suelos arenosos bajos en MO, puede ser lixiviado en profundidad. En suelos con mayor contenido de arcilla hay una menor lixiviación de B. Seguramente el efecto más importante de la arcilla sea que, al retener más humedad en el suelo, las raíces pueden absorber más B (Hunter *et al.*, 1990).

5. Interacciones con otros elementos

Para Gupta (1979), el nitrógeno (N) es de suma importancia en el consumo de B por las plantas. Ha sido reportado en diversos cultivos que la aplicación de N aumenta las posibles deficiencias de B, disminuyendo su toxicidad en las situaciones de exceso (Gupta, 1979). Carter y Brockley (1990), trabajando en pino y abeto, encontraron que aplicaciones de N pueden inducir deficiencias de B, pudiendo no expresarse plenamente la respuesta a las aplicaciones del primero mientras no sean mitigadas las de B. La aplicación de B y N por separado, mostró poco efecto en alargamiento de ramas, sin embargo, las aplicaciones combinadas de B y N, dieron lugar a una gran respuesta, estadísticamente significativa.

Para Redondo Nieto *et al.* (2009), la interacción entre el B y el calcio (Ca) es un aspecto importante en los estudios de nutrición mineral de plantas. Ambos nutrientes poseen características comunes: baja movilidad, reducida concentración citoplasmática, alteración del crecimiento en la deficiencia, función estructural en pared celular.

Según Havlin *et al.* (2005), cuando la disponibilidad de Ca es alta, las plantas pueden tolerar mayor disponibilidad de B, mientras que en condiciones de bajo Ca, la tolerancia disminuye. Altas cantidades de Ca en suelos alcalinos y recientemente sobreencalados restringen la disponibilidad de B, lo que protegería a los cultivos de un exceso de este nutriente. La relación Ca:B en tejidos de la hoja se ha utilizado para determinar el estado de B de los cultivos, observándose deficiencias de B para la mayoría de los cultivos, cuando las relaciones Ca:B son mayores a 1200:1 (Havlin *et al.*, 2005).

Muchos autores han reportado una interacción negativa entre potasio (K) y B, pudiendo (en cultivos sensibles) agravarse una deficiencia de B por una fertilización potásica (Dibb y Thompson, 1985), debiendo en muchos casos agregarse B para prevenir pérdidas de producción (Havlin *et al.*, 2005).

Existen pocos reportes de interacción entre fósforo (P) y B. Robertson y Loughman (1974), encontraron una disminución clara en la absorción de P en plantas deficientes en B. Esto sería debido a que la deficiencia de B causa engrosamiento de las raíces y retraso en la elongación, resultando en una menor absorción de P. El agregado de B a raíces con deficiencia de este nutriente, reestablece rápidamente su capacidad de absorber y metabolizar P (Adams, 1980).

C. EL BORO EN LA PLANTA

El B es absorbido por la planta desde la solución del suelo, donde la forma predominante es la de ácido bórico no disociado (H_3BO_3^0), el cual es altamente soluble. Las formas aniónicas (H_2BO_3^- , HBO_3^{-2} , BO_3^{-3} , y $\text{B}_4\text{O}_7^{-2}$) existentes cuando el pH del suelo es mayor a 7, son absorbidas menos fácilmente por las plantas que el H_3BO_3 (Havlin *et al.*, 2005). Su absorción es un proceso probablemente pasivo, dependiente de la concentración externa de ácido bórico, permeabilidad de las membranas, formación de complejos boratados en el interior de la raíz y tasa de transpiración, siendo afectada por diversos factores edáficos, tales como pH, textura del suelo, humedad, temperatura, MO y mineralogía de las arcillas (Hu y Brown, 1997). Según estos autores, entre los factores ambientales no edáficos, la tasa de transpiración es la que más afecta la absorción de B. Una mayor transpiración (que varía con la humedad relativa, temperatura, viento e intensidad lumínica) promoverá un aumento de la absorción de B. Por el contrario, la escasez de agua en el suelo, baja temperatura, alta luminosidad y bajo déficit de presión de vapor (baja tasa de pérdida de agua de la planta), pueden inducir una deficiencia temporal de este nutriente.

La deficiencia de B ha sido a menudo asociada a situaciones de sequía. Si existe agua en horizontes más profundos del suelo y las raíces la extraen de ese lugar, como la concentración de B en la solución del suelo es generalmente menor (fundamentalmente si los suelos provienen de materiales pobres en B), la absorción será baja o insuficiente. Aún cuando los niveles de B en suelo sean altos, la baja humedad disminuye la

absorción de B por la raíz (Malavé Acuña, 2005), lo que puede ocasionar una deficiencia temporal o estacional. Por otro lado, en suelos profundos y bien drenados, luego de períodos de abundantes lluvias, el B de la solución puede ser lixiviado en profundidad (Havlin *et al.*, 2005), generándose también posibles momentos de deficiencias.

Una vez dentro de las células de la raíz, el H_3BO_3 se transporta fácilmente por el xilema hacia los sitios de crecimiento, donde es utilizado mayoritariamente en paredes y membranas celulares (Blevins y Lukaszewski, 1998; Havlin *et al.*, 2005). Dado que el movimiento ascendente desde las raíces hasta los brotes está impulsado principalmente por el gradiente en el potencial de agua generado por la transpiración, este movimiento primario por el xilema se dirige principalmente a los sitios que más transpiran, los cuales no suelen ser los sitios de mayor demanda de nutrientes (Pate, 1975). Debido a las diferencias en la transpiración se generan distintos contenidos de B entre hojas dentro de la misma rama (Silveira *et al.*, 1998; Ramos *et al.*, 2009;). Incluso dentro de una hoja, una excesiva oferta de B crea un gradiente en los contenidos en el siguiente sentido: pecíolo y nervaduras < parte media del limbo de la hoja < bordes y punta de la hoja (Kohl y Oertli, 1961; Oertli y Roth, 1969). La necrosis de los márgenes de las hojas por toxicidad de B es similar al efecto del exceso de sales, reflejando el patrón de distribución de la transpiración dentro del brote y sus órganos (Marschner, 2005).

En general el B es considerado inmóvil a través del floema, existiendo algunas excepciones en las cuales se comporta como móvil, entre las cuales podemos destacar los géneros *Apium* (que incluye el apio), *Malus* (que incluye las manzanos), *Prunus* (que incluye varias especies cultivadas por sus frutos, como el ciruelo, el cerezo, el duraznero, el damasco y el almendro) y *Pyrus* (que incluye los perales). La movilidad del B en estas especies estaría asociada a que producen altas cantidades de polioles (Sorbitol, Manitol y Dulcitol) (Brown y Shelp, 1997; Hu *et al.*, 1997; Blevins y Lukaszewski, 1998). En los cultivos en los cuales el B es inmóvil por el floema (como en el género *Eucalyptus*), como no puede ser retranslocado cuando la absorción es insuficiente, se requiere un aporte constante por parte del suelo, que satisfaga las demandas en cada momento (Mengel *et al.*, 2001). La aparición de síntomas de

deficiencia se dará primero en las partes jóvenes y en activo crecimiento de las plantas, incluyendo los ápices vegetativos y reproductivos, flores, frutos y semillas.

En algunas plantas, aún cuando el crecimiento vegetativo aparentemente no es afectado por la deficiencia de B, sí lo es el crecimiento reproductivo. Así, es frecuente observar que las plantas permanecen libres de síntomas de deficiencia de B hasta que comienza la etapa reproductiva, apareciendo entonces una variedad de síntomas de deficiencia tales como: aborto de capullos o flores, flores masculinas estériles, aborto de frutos, vainas sin semillas o con un número reducido, semillas pequeñas, o frutos con calidad alterada a causa de lesiones inducidas por la falta de B (Bell, 1997).

Entre las diversas funciones atribuidas al B en las plantas hay dos claramente definidas: la síntesis de la pared celular y la integridad de la membrana plasmática (Römheld y Marschner, 1991; Cakmak y Römheld, 1997). Hay pocas dudas de que el B juega un papel clave en el desarrollo, la elongación celular, y la integridad estructural de las paredes celulares, resintiéndose el normal desarrollo ante su deficiencia (Power y Woods, 1997). El B proporciona uniones cruzadas entre los polisacáridos de la pared celular, otorgándole estructura (importante para la extensión de la célula, regulación del transporte de H^+ , retención del Ca^{+2} celular, y control de la producción de lignina después de la extensión de la célula). Las uniones del B son flexibles, permitiendo la extensión de la pared celular, la cual se interrumpe cuando ocurre una deficiencia. Estas funciones son diferentes en dicotiledóneas y monocotiledóneas, siendo las gramíneas menos dependientes de B para la estructura de la pared celular, aunque sigue siendo importante (Havlin *et al.*, 2005).

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 ácido ribonucleico, ácido indolacético, fenoles y ascorbatos, respiración e integridad de la membrana plasmática (Dugger, 1983; Römheld y Marschner, 1991; Power y Woods, 1997). Según varios autores la cesación del alargamiento de la raíz es una primera consecuencia de la deficiencia de B (Cohen y Lepper, 1977; Lovatt *et al.*, 1981). La falta de B disminuye la viabilidad y vigor del

polen (afectando en forma importante la elongación del tubo polínico) (Dugger, 1983; Matoh, 1997) y/o de la semilla (Dell y Huang, 1997; Havlin *et al.*, 2005). Ha sido reconocido el papel del B en la fijación simbiótica del N (en algas como *Anabaena* y en leguminosas que forman nódulos con *Rhizobium*), y en reducir el efecto tóxico del Al en el desarrollo de las raíces de las plantas (Villalobos, 2001).

La toxicidad de B en plantas es infrecuente en la mayoría de los suelos arables, a menos que estos hayan sido fertilizados en exceso. En regiones áridas, sin embargo, la toxicidad de B puede ocurrir naturalmente o puede desarrollarse debido a un alto contenido de B en aguas de riego (Havlin *et al.*, 2005).

1. Boro en eucaliptos

En montes adultos de eucaliptos, los contenidos totales de B en la biomasa son bajos, menores a $3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Bellote *et al.*, 1980; Turner y Lambert, 1996, Judd *et al.*, 1996), pero su deficiencia es igualmente frecuente. Además de las funciones citadas, en los árboles el B es fundamental para la cicatrización de heridas o rajaduras de la corteza, por lo que su deficiencia favorecerá la infección por hongos (Malavolta *et al.*, 1997; Silveira *et al.*, 1998), algunos de los cuales pueden causar importantes pudriciones en el duramen, con la consecuente debilidad estructural y aumento de quebraduras por viento (Reali, 2000). También ha sido demostrado que la aplicación de B aumenta la resistencia a las heladas (Cooling y Jones, 1970). Los síntomas de deficiencia en árboles han sido ampliamente descritos (Savory, 1962; Tokeshi *et al.*, 1976; Stone, 1990; Dell y Malajczuk, 1994) incluyendo, entre otros: deformaciones en puntos de crecimiento, hojas nuevas pequeñas, deformadas y con clorosis, acortamiento de los entrenudos. Varios autores (Silveira *et al.*, 1998; Maffeis *et al.*, 2000) han observado un efecto depresivo de la deficiencia de B en la producción de hojas de eucaliptos. En situaciones de deficiencia severa se produce la muerte o secado apical ("dieback"), con la consiguiente pérdida de la dominancia y el rebrote de las yemas laterales (Silveira *et al.*, 2002). El secado apical ocurre generalmente el primer año luego del transplante,

repercutiendo en el crecimiento al segundo y tercer año. Dado que la carencia de B produce también detención del crecimiento radicular (Cohen y Lepper, 1977; Lovatt *et al.*, 1981), la profundidad de enraizamiento de las plantas con deficiencia será menor, por lo tanto si ésta ocurre en el primer año, los árboles serán más susceptibles de daño por sequía. Si en este período la deficiencia no fue muy severa, la planta puede retomar su crecimiento normal (Savory, 1962), posiblemente debido a una mayor exploración radicular luego de que la planta adquiere un cierto tamaño y al reciclaje de B a través de las hojas muertas. Aún siendo momentáneas, como las deformaciones son permanentes, estas deficiencias pueden ocasionar pérdidas importantes en rendimiento y calidad, especialmente en montes para aserrado (Bell *et al.*, 2002).

Los efectos de la aplicación de B en la producción de materia seca de eucaliptos han sido reportados por muchos autores (Silveira *et al.*, 1998; 2000; Sakya *et al.*, 2002; Ramos *et al.*, 2009), aunque con resultados muchas veces contradictorios. Ha sido constatado por algunos autores (Maffeis *et al.*, 2000; Silveira *et al.*, 2000) que la ausencia de B en la solución del suelo reduce drásticamente el crecimiento de las plantas y que la no aplicación de B limita significativamente el crecimiento en altura de *E citriodora*. Por otro lado, Ramos *et al.* (2009), trabajando en invernáculo, con dos diferentes suelos de Brasil y con diferentes agregados de B, no encontraron variaciones significativas en la altura de plantas de *E citriodora* a los 140 días luego del transplante (aún cuando se observaron síntomas de deficiencia), reportando reducciones en la producción de materia seca debidas a un efecto tóxico del B. Estos resultados indicarían que la altura de la planta por sí sola posiblemente no sea un buen parámetro para evaluar la respuesta del eucalipto a la aplicación de B.

Silveira *et al.* (2004) trabajando con *E. grandis* y *E. saligna* de hasta 266 días de edad, observaron necrosis en las hojas nuevas y muerte de yema apical en los tratamientos con las dosis mayores de B. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Maffeis *et al.* (2000) con *E. citriodora*, en los cuales la ausencia o exceso de B en las plantas mostró la muerte de la yema apical, con la consecuente paralización del crecimiento y posterior brotación de yemas axilares.

Las exigencias de B son diferentes entre especies y clones. Silveira *et al.* (2004) comparando *E. grandis* y *E. saligna*, verificaron respuestas distintas a la fertilización con B para la variable altura. En el vivero, *E. saligna* presentó mayor sensibilidad a fitotoxicidad de B que *E. grandis*. Silveira *et al.* (1995, citados por Silveira *et al.*, 2004) estudiaron la absorción de nutrientes por clones de eucalipto y constataron que *E. grandis* presentó mayor acumulación de nutrientes que *E. saligna*. Este resultado sería un indicador de mayor eficiencia en la absorción de nutrientes de una especie en relación a la otra, teniendo como consecuencia un mayor desarrollo de las plantas. Barreto *et al.* (2007), trabajando con seis clones comerciales de *E. grandis* x *E. urophylla* en invernáculo, concluyen que la eficiencia de uso del B varía entre los clones.

Silveira *et al.* (2000) observaron que *E. citriodora* mostró ser una especie con un rango amplio entre deficiencia y toxicidad, no detectándose síntomas de toxicidad ni restricción de crecimiento con contenidos foliares de hasta 202 mg.kg⁻¹. Por otro lado, Andrade *et al.* (1995), trabajando con *E. camaldulensis*, *E. dunnii*, *E. globulus* y *E. urophylla*, encontraron que para *E. urophylla* dicho rango es relativamente estrecho, pareciendo ser la especie más sensible a concentraciones elevadas. En este trabajo, los autores observaron que *E. globulus* fue la especie más exigente en B.

Para Savory (1962), la prevención de deficiencias en el primer año mediante el agregado de B, logrará árboles más grandes en el segundo año, lo que sumado al fertilizante boratado residual en el suelo, evitará deficiencias posteriores. De todos modos, si es necesario, será posible hacer una segunda aplicación al segundo año.

Según Bell *et al.* (2002) la demanda de B por los eucaliptos aumenta considerablemente con la edad de la planta. Estos autores reportan información de árboles fertilizados con 2,4 kg.ha⁻¹ de B, los cuales mostraron inicialmente síntomas de toxicidad, luego de un año se recuperaron y crecieron bien hasta el cuarto año donde volvieron a aparecer síntomas de deficiencia.

D. DIAGNÓSTICO Y PREDICCIÓN DE DEFICIENCIAS

El uso de herramientas tales como análisis foliar y de suelo puede ayudar a diagnosticar y minimizar los problemas por deficiencias de B, aunque con ciertas limitantes.

Comúnmente el B presente en los suelos se fracciona separándolo en tres categorías: B total, B soluble en ácido y B soluble en agua (Sah y Brown, 1997). En la mayoría de los suelos, el contenido total de B no es un indicador adecuado para la nutrición de las plantas, dado que este elemento se encuentra a menudo en formas muy insolubles, como los minerales en el grupo de turmalina. Cuando los minerales que contienen B se meteorizan, se liberan formas solubles de B, disponibles para la absorción por las plantas (Byers *et al.*, 2001).

El contenido de B soluble en ácido de un suelo es un indicador algo mejor que el B total, pero no es un índice fiable de la disponibilidad para la planta, especialmente en suelos calcáreos que neutralizan la acidez del extractante (Sah y Brown, 1997).

Se considera que el B soluble en agua hirviendo durante cinco minutos frecuentemente correlaciona bien con el contenido de B disponible para las plantas, siendo este método el más extensamente utilizado (Sah y Brown, 1997; Malave Acuña, 2005). A través de los años han surgido diferentes alternativas a este método, como propuestas convenientes para determinar la disponibilidad de B en las plantas, tales como: extracción con agua o con 2 mmol.L⁻¹ de DPTA a temperatura ambiente, extracción con agua o con solución de BaCl₂ y calentamiento con microondas, extracción con sorbitol, Na₄OAc 1M a pH=7, CaCl₂ 0,01M caliente, CaCl₂ 0,01M + manitol 0,05 M a 20°C, agua caliente presurizada, DTPA-sorbitol (Sah y Brown, 1997; Malave Acuña, 2005), Mehlich-1 (Byers *et al.*, 2001). Resulta necesario establecer correlaciones entre tipos de suelo particulares y las metodologías de extracción.

Chaudhary y Shukla (2004), trabajando en suelos áridos de India, encontraron que el CaCl₂ 0,01M caliente y el agua caliente extraen comparativamente más B que otros extractantes. Si bien ambos métodos en general extraen cantidades similares, el CaCl₂

tiene la ventaja de obtener extractos más claros (Fleming, 1980; Self, 1993), disminuyendo la interferencia de la coloración a la hora de la determinación.

El rango de B soluble en agua comprende desde menos de 0,5 a 97 mg.kg⁻¹, con un promedio inferior a 2 mg.kg⁻¹ (Self, 1993). En la mayoría de los suelos agrícolas de regiones húmedas el B soluble en agua generalmente presenta valores entre 0,1 y 3,0 mg.kg⁻¹. En suelos de regiones áridas se pueden acumular sales de boro, generando valores muy elevados de B soluble en agua (Fleming, 1980). Según Hou *et al.* (1994) el B extraído con CaCl₂ 0,01 M en general representa menos del 2% del B total.

El análisis de suelo ha tenido un éxito razonable en la predicción de la disponibilidad de B para las plantas, aunque no de manera universal. Cada vez es más evidente que el dato de análisis por si solo no puede ser utilizado para predecir la deficiencia de B, dado que los valores críticos varían con los factores ambientales que afectan la absorción de B (Sims y Johnson, 1991), y con las diferentes especies y cultivares (Bell, 1997).

La cantidad de B en la solución del suelo en un momento dado es solo una pequeña fracción del total de B absorbido por los cultivos durante todo el período de crecimiento, y el mismo deberá ser repuesto varias veces durante el ciclo del cultivo. Por lo tanto será más importante evaluar el potencial del suelo para reponer continuamente el B a la solución. La capacidad del suelo para reponer el B frente a las pérdidas por lixiviación o absorción por la planta, estará determinada por la textura, mineralogía, pH y materia orgánica del suelo (Bell, 1997). En las condiciones de suelo y clima del Uruguay, el B disponible en solución no tendría un equilibrio químico que lo repusiera frente a variaciones en su concentración (como ocurre en otros nutrientes como P o K), por lo cual no se esperaría que los análisis de suelos sean buenos predictores de la respuesta a la aplicación de B.

En el caso del análisis foliar, a pesar de presentar mejor poder de predicción que el de suelo, existen también diversos factores a definir, que afectan directamente la interpretación: hoja a muestrear, edad de la planta, especie, cultivar, condiciones ambientales (Bell, 1997). Dada la baja o nula movilidad del B por el floema en la

mayoría de las especies, las hojas maduras y/o viejas presentarán contenidos de B mayores a las hojas jóvenes. Por este motivo, las hojas viejas no son adecuadas para el diagnóstico. Inclusive algunos autores han sugerido el muestreo de las partes jóvenes o en crecimiento de la planta, respecto a la última hoja completamente desarrollada. Éstas últimas estarían mostrando la situación del momento en el cual se desarrollaron y no de la situación actual, por lo cual su análisis serviría solo si la disponibilidad de B ha sido constante durante el tiempo, pero no cuando la misma ha variado. No obstante, en ocasiones es necesario hacer un diagnóstico basado en estas hojas (Huang *et al.*, 1996). Dada las diferencias en rangos críticos de B entre hojas de diferente edad, se debe tener mucho cuidado a la hora del muestreo. En especies en las cuales existe retranslocación de B, es esperable que las hojas recientemente maduras reflejen bien la situación del cultivo respecto a este nutriente.

Los factores medioambientales que reducen de manera importante la absorción de B (por sus efectos sobre el crecimiento de las plantas y entrada de B), alteran la probabilidad de que ocurra una deficiencia de B. Sin embargo, debido a que factores ambientales como bajo contenido de agua en el suelo, baja temperatura y baja demanda atmosférica de agua, se dan en forma intermitente o temporalmente durante el período de crecimiento, sus consecuencias para la nutrición boratada son difíciles de predecir. Dado que los cambios en las concentraciones de B en las hojas (inducidos por condiciones ambientales inusuales) no siguen el patrón normal en el que los valores críticos se basan, los valores críticos de condiciones normales no pueden aplicarse en las condiciones inusuales (Bell, 1997).

Como regla general los requerimientos de las dicotiledóneas son mucho mayores que los de las monocotiledóneas, con contenidos foliares que están generalmente entre 20 a 60 mg.kg⁻¹ y 6 a 18 mg.kg⁻¹, respectivamente. Como criterio general, para la mayoría de las dicotiledóneas, la deficiencia de B ocurre a menudo cuando la concentración en la hoja es menor a 20 mg.kg⁻¹ (Havlin *et al.*, 2005).

E. FERTILIZACIÓN CON BORO

El B es uno de los micronutrientes más extensamente aplicados y si bien su agregado puede realizarse con fuentes orgánicas e inorgánicas, estas últimas son las más ampliamente utilizadas.

Los agregados de restos y compuestos orgánicos al suelo, aumentarán la disponibilidad de B. Por ejemplo, el contenido de B en estiércol animal varía entre 0.001 y 0.005%, por lo tanto, el uso de este tipo de materiales (en las cantidades usualmente utilizadas) proporcionará al mineralizarse, suficiente B disponible para las plantas (Havlin *et al.*, 2005).

Los principales productos inorgánicos utilizados los podemos separar en dos tipos: los refinados o sintéticos, materiales completamente solubles que se puede aplicar tanto en solución como en forma sólida, y los depósitos naturales molidos (de menor solubilidad), los cuales tienen propiedades químicas y físicas variables (Cuadro 1) (Shorrocks, 1997).

Tipo de producto	Formula teórica del mineral puro	Nombre	B (%)
Productos refinados	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Tetraborato de Na pentahidratado	14.9
	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Solubor ®	20.8
	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Tetraborato de Na decahidratado: Borax	11.3
	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	Tetraborato de Na	21.4
	$\text{B}(\text{OH})_3$	Ácido Bórico	17.5
Depósitos naturales molidos	$2\text{CaO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Colemanita	variable
	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{CaO} \cdot 5\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Ulexita	variable
	$2\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Datolita	variable
	$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Hidroboracita	variable
	$2\text{MgO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Ascharita	variable

Cuadro 1. Boratos comúnmente utilizados en agricultura (adaptado de Shorrocks, 1997).

La fuente más común son los boratos de sodio como es el bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) (Havlin *et al.*, 2005), aunque en la actualidad son utilizados más ampliamente los productos que contienen menos agua de hidratación (Mortvedt y Cox, 1985; Mortvedt y Woodruff, 1993). El bórax mineral proviene de depósitos geológicos de antiguos lagos, de los cuales se extrae, muele y refina para la eliminación de impurezas. Los mayores

depósitos se encuentran en Turquía y en el desierto de Mojave (EEUU), existiendo depósitos importantes en Rusia, Argentina, Perú, Bolivia, Chile, Méjico y China (Mortvedt y Woodruff, 1993). El bórax también se puede sintetizar a partir de otros compuestos boratados.

El bórax y el ácido bórico se disuelven fácilmente en los suelos y están rápidamente disponibles para su la absorción por las plantas, pero al mismo tiempo si el B no es adsorbido puede ser lixiviado. El tetraborato del sodio pentahidratado se disuelve más lentamente que decahidratado y más rápido que el bórax anhidro, pero no ha habido ninguna indicación de que estas diferencias sean agronómicamente importantes. Una vez en la solución del suelo no hay diferencias químicas (Shorrocks, 1997). Con el fin de facilitar la disolución en agua fría se ha desarrollado el producto Solubor®. El Solubor® es una fuente soluble de B altamente concentrada que se disuelve más rápidamente que el bórax y el ácido bórico, pudiendo ser aplicado vía foliar, líquido o en polvo. (Shorrocks, 1997; Havlin *et al.*, 2005).

La colemanita (borato de Ca) es de uso frecuente en suelos arenosos porque es menos soluble y menos afectada por la lixiviación que los boratos de sodio (Martens and Westermann, 1991; Mortvedt, 1991; Mortvedt y Woodruff, 1993; Havlin *et al.*, 2005;). Su disponibilidad depende en gran medida del tamaño de las partículas. Dada su baja solubilidad, se prefiere utilizar el material finamente molido (250 mallas), lo que dificulta su manejo y aplicación homogénea (Stone, 1990).

La ulexita y la hidroboraquita pueden considerarse como de solubilidad intermedia entre los boratos de sodio y los de calcio. Se ha visto que la ulexita molida a un tamaño de 2-5 mm tiene una solubilidad comparable a la colemanita finamente molida, siendo mucho más fácil de aplicar con equipos terrestres o aéreos (Stone, 1990). Además de tamaño de partícula, su solubilidad dependerá de la proporción de sodio, magnesio y de calcio presentes en el mineral (Mortvedt, 1994). Dependiendo del origen del yacimiento, la mineralogía, composición química y contenido de B del material extraído será diferente y tendrá distinta solubilidad una vez aplicado al suelo.

La ulexita y la colemanita como fertilizantes se utilizan generalmente para la aplicación directa al suelo. Cuando esos minerales son utilizados durante la fabricación de fertilizantes compuestos (que aportan B y otros nutrientes), ellos pueden reaccionar con residuos ácidos (formando ácido bórico), pasando de ser un borato de lenta solubilidad a una forma rápidamente soluble (Shorrocks, 1997).

Otra fuente de B de liberación lenta son los llamados "frits", los cuales contienen diversas concentraciones de uno o más micronutrientes. Son producidos por la fusión en un horno de una mezcla en polvo de materiales de micronutrientes y silicatos. La mezcla fundida se enfría, seca, y se muele a polvo. La solubilidad de los micronutrientes es controlada por el tamaño de las partículas y la composición de la matriz (Mortvedt y Woodruff, 1993; Mortvedt, 1994).

Si bien los frits con B tienen una tasa de liberación más lenta y más uniforme que otros fertilizantes boratados (Fleming, 1980), son relativamente costosos y no proporcionan una gran ventaja con respecto a otras fuentes, cuando éstas son aplicadas correctamente (Stone, 1990). Si bien estos productos se comercializaron en los EE.UU desde 1955 a 1980, su uso ha disminuido considerablemente en las últimas décadas (Mortvedt, 1994). En Europa su uso se ha restringido casi exclusivamente a la horticultura (Fleming, 1980).

El uso de fuentes solubles brinda una solución a corto plazo y muy dependiente de situaciones ambientales. Períodos con abundantes lluvias pueden ocasionar pérdidas por lixiviación de todo el B aplicado, arrastrándolo hasta zonas alejadas de las raíces. El uso de fuentes de liberación lenta puede minimizar este efecto, puesto que estas fuentes irán reponiendo el B perdido por lixiviación o absorbido por las plantas, lo que no implica que igualmente pueda producirse alguna deficiencia temporal.

Cuando es necesario utilizar fertilizantes boratados con acción prolongada (como por ejemplo en forestación), se podrían usar materiales menos solubles y de molienda gruesa. Para evaluar la eficiencia real, además de las interrogantes sobre la variabilidad física y química, deberá considerarse el tamaño de partícula, condición física y forma de aplicación (en cobertura o incorporado al suelo) (Shorrocks, 1997).

Según Mortvedt (1994), la mayor parte de la investigación de comparación de fuentes de B ligeramente solubles para su aplicación en suelos arenosos, se realizó hace más de 30 años. Si bien los resultados mostraron una menor lixiviación por el uso de estas fuentes en suelos bajo condiciones de alta pluviosidad, se sigue recomendando la utilización de fuentes solubles tanto al suelo como en forma foliar. Una de las razones de esto sería que las fuentes menos solubles deben incorporarse al suelo en forma de polvo para que sean eficaces para los cultivos, lo cual no sería compatible con los fertilizantes granulados y el equipo de aplicación actualmente en uso (Mortvedt, 1994).

Para Shorrocks (1997), los resultados de estudios de eficiencia de aplicación de B usando diferentes minerales triturados, no serían comparables. Mientras que en Nueva Zelanda se utiliza ulexita como un borato de acción lenta, en Brasil es considerada como semejante al bórax. Para este autor, las finas partículas de ulexita se comportan de manera similar al bórax (tanto incorporada al suelo como aplicada en superficie), mientras que las grandes partículas de ulexita no incorporada proporcionarán B por más tiempo. Lamentablemente se han reportado muy pocos estudios comparativos de aplicaciones de distintas fuentes a campo, siendo la mayoría de éstos en ensayos maceteros y con el objetivo de cuantificar toxicidad y lixiviación, pero no la respuesta de los cultivos. A nivel nacional existen escasas referencias de ensayos con B (Méndez, 2003; Sayagués y Méndez, 2006), utilizando solo fuentes solubles.

Las incertidumbres sobre la velocidad de reacción de un borato de liberación lenta serán de mayor preocupación para los cultivos anuales que para los perennes (Shorrocks, 1997). Varios autores (Byers *et al.*, 2001; Rojas y Ruiz, 2003), trabajando en alfalfa en invernadero concluyen que, luego de cierto tiempo, todas los tipos de fuentes proporcionarán suficiente B para las plantas. Hunter *et al.* (1990) concluyen que las deficiencias de B en pino podrían manejarse mediante aplicaciones preventivas de fuentes parcialmente solubles como Ulexita y Colemanita.

En cuanto a las dosis de fertilizante boratado a aplicar en eucaliptos, las recomendaciones son muy variables según fuentes, regiones y especies. Barret *et al.* (citados por Balloni, 1979), mostraron que la extrapolación de resultados puede ser

peligrosa, observándose que en algunas situaciones la aplicación al suelo de 4 g de B por planta produjo fitotoxicidad, mientras que en otras el agregado de 16 g de B no tuvo tal efecto. Barros y Novais (1996) reportan para Brasil mayores crecimientos en altura y reducción de la muerte apical en *E. citriodora* y *E. robusta*, con la aplicación de 50 g de bórax por planta, y reducción de muerte apical y aumentos de volumen en *E. camaldulensis* y *E. grandis*, por aplicación de 10 o 20 gramos de bórax por planta a la siembra. En Chile, Prado y Toro (1996) reportan recomendaciones de 2-4 g de B por planta como boronatrocalcita (ulexita) para corregir deficiencias en plantaciones de *E. globulus*. Cooling y Jones (1970), en Zambia, observaron aumentos en la altura, troncos más rectos y menor muerte apical de *E. grandis* a los 4 años, con la aplicación de 8 g de B por planta dos meses después del trasplante. Knight y Nicholas (1996) indican que la aplicación preventiva de 3 g de B por planta (mezcla 3:1 de colemanita y borato de sodio) en *E. regnans* al trasplante, en algunas zonas de Nueva Zelanda de probable deficiencia, disminuyó su aparición, aunque generó en algunos casos síntomas de toxicidad. Estos autores indican que en los últimos años se ha sustituido los fertilizantes boratados tradicionales (boratos solubles de sodio) por fuentes de más lenta disolución (ulexitas) molida a tamaño de 2-5 mm.

En Uruguay el uso de fertilizantes boratados ha sido casi exclusivamente en horticultura intensiva y las principales fuentes de B tradicionalmente utilizadas han sido fuentes solubles como el ácido bórico, bórax y solubor. En los últimos años han comenzado a utilizarse fuentes del tipo ulexita (con contenidos de B que oscilan entre 10% y 17%), las cuales por no tener procesos químicos tienen un menor costo por unidad de B que las fuentes solubles.

III. FERTILIZACIÓN DE EUCALIPTO CON BORO. EFECTO SOBRE LOS CONTENIDOS FOLIARES

Ferrando Urrutia, Marcelo Gabriel

Facultad de Agronomía. Universidad de la República. Av. Garzón 780. CP 12900.

Montevideo, Uruguay. mferrand@fagro.edu.uy

A. RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios de disponibilidad en el tiempo del B proveniente de diferentes fuentes (SB: Solubor, y LBF50: borato base ulexita), dosis y formas de aplicación, a través de los cambios en los contenidos foliares de *E.globulus* [*Eucalyptus globulus* (Labille)] y *E.grandis* [*Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden)], en distintas situaciones de suelos y manejo. En ocho sitios experimentales del Uruguay, se instalaron 12 experimentos de campo de tres diferentes tipos: 1) comparación entre fuentes boratadas (SB vs LBF50), aplicadas en cobertura, a árboles con seis meses de transplantados; 2) respuesta a la aplicación de LBF50 en dosis de 0, 2, 4, 6 y 8 g de B por planta, en cobertura, en árboles con seis meses de transplantados; y 3) respuesta a la aplicación de LBF50 en dosis de 0, 3, 6, 9 y 12 g de B por metro lineal, incorporado en la faja laboreada previo al transplante. Se evaluaron los contenidos foliares de B a los 6, 12 y 24 meses de la fertilización en los experimentos tipo 1 y 2, y a los 6 y 18 meses en los experimentos tipo 3. El LBF50 mostró una alta solubilidad y baja residualidad, con similar eficiencia que el SB como aporte de B para los eucaliptos. La aplicación de LBF50 en dosis crecientes, aumentó en forma lineal los contenidos

foliares, tanto en aplicaciones superficiales como incorporadas. Se alcanzaron niveles foliares de suficiencia con aplicaciones de apenas 2 g de B por planta.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*; *Eucalyptus grandis*; Solubor; Ulexita

BORON FERTILIZATION OF EUCALYPTUS

Effect on foliar contents

B. SUMMARY

The aim of this study was to evaluate changes in availability of B from different sources (SB: Solubor, and LBF50: Ulexite base borate), dose and application form, through changes in foliar contents of *E. globulus* [*Eucalyptus globulus* (Labill)] and *E. grandis* [*Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden)] in different soils and management situations. In eight experimental sites of Uruguay, 12 field experiments were installed of three different types: 1) comparison between boric sources (SB vs. LBF50) topdressed to trees six months after transplant, 2) response to the application of LBF50 at doses of 0, 2, 4, 6 and 8 g of B per plant, topdressed to trees six months after transplant, and 3) response to the application of LBF50 at doses of 0, 3, 6, 9 and 12 g of B per meter, incorporated to the tilled plantation line before transplanting. Foliar B contents were assessed at 6, 12 and 24 months after fertilization in experiments type 1 and 2, and 6 and 18 months in type 3 experiments. The LBF50 showed high solubility and low residual effect, with similar efficiency as the SB in terms of B supply for eucalyptus. The application of LBF50 in increasing doses, increased linearly leaf content in both surface and incorporated applications. Boron levels in leaves reached sufficiency values with applications of only 2 g of B per plant.

Key words: *Eucalyptus globulus*; *Eucalyptus grandis*; Solubor; Ulexita

C. INTRODUCCIÓN

La forestación en Uruguay se realiza mayoritariamente en suelos de baja fertilidad, en los cuales las plantas son generalmente fertilizadas solo con N y P. Sin embargo, en algunos casos, se han observado síntomas similares a los citados como deficiencias de boro (B), especialmente en suelos desarrollados sobre Basamento Cristalino, Areniscas Cretácicas y Areniscas de Tacuarembó. Estos síntomas fueron posteriormente confirmados mediante análisis de laboratorio, presentando bajos contenidos foliares de B, menores a los contenidos encontrados en árboles sin sintomatología.

La deficiencia de B es más común que la deficiencia de cualquier otro micronutriente, y ha sido reportada en 132 cultivos comerciales en más de 80 países (Shorrocks, 1997). En eucaliptos, los contenidos totales de B en la biomasa son bajos, menores a $3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Bellote *et al.*, 1980; Judd *et al.*, 1996; Turner y Lambert, 1996; Malavolta *et al.*, 1997), pero su deficiencia es igualmente frecuente. Los síntomas de deficiencia de B en eucaliptos han sido ampliamente descritos (Savory, 1962; Tokeshi *et al.*, 1976; Dell y Malajczuk, 1994; Malavolta *et al.*, 1997; Silveira *et al.*, 1998) incluyendo, entre otros: deformaciones en puntos de crecimiento, hojas nuevas pequeñas, deformes y con clorosis, acortamiento de los entrenudos. En situaciones de deficiencia severa se produce la muerte o secado apical ("dieback"), con la consiguiente pérdida de la dominancia y el rebrote de las yemas laterales (Silveira *et al.*, 2002). El secado apical ocurre generalmente el primer año luego del transplante, repercutiendo en el crecimiento al segundo y tercer año. Si en este período la deficiencia no fue muy severa, la planta puede recuperarse (Savory, 1962), posiblemente debido a una mayor

exploración radicular luego de que la planta adquiere un cierto tamaño. Aún siendo momentáneas, estas deficiencias pueden ocasionar pérdidas importantes en rendimiento y calidad, especialmente en montes para aserrado.

La falta de B disminuye también la viabilidad y vigor del polen (afectando en forma importante la elongación del tubo polínico (Dugger, 1983; Matoh, 1997) y/o de la semilla (Dell y Huang, 1997), siendo fundamental para la cicatrización de heridas o rajaduras de la corteza, por lo que su deficiencia favorecerá la infección por hongos (Malavolta *et al.*, 1997; Silveira *et al.*, 1998), algunos de los cuales pueden causar importantes pudriciones en el duramen, con la consecuente debilidad estructural y aumento de quebraduras por viento (Reali, 2000). También ha sido demostrado que la aplicación de B aumenta la resistencia a las heladas (Cooling y Jones, 1970).

El B es absorbido por la planta desde la solución del suelo, resultando principalmente de la mineralización de la materia orgánica y/o la disolución de minerales ricos en B. La forma predominante en la solución (en suelos con pH entre 5 y 9) es la de ácido bórico no disociado (H_3BO_3^0), altamente soluble. Su absorción es un proceso probablemente pasivo, dependiente de la concentración externa de ácido bórico, permeabilidad de las membranas, formación interna de complejos y tasa de transpiración, siendo afectada por diversos factores edáficos, tales como pH, textura del suelo, humedad, temperatura, materia orgánica y mineralogía de las arcillas (Hu y Brown, 1997). Según estos autores, entre los factores ambientales no edáficos, la tasa de transpiración es la que más afecta la absorción de B. Una mayor transpiración (que está en función de la humedad relativa, temperatura, viento e intensidad lumínica) promoverá

un aumento de la absorción de B. Por el contrario, la escasez de agua en el suelo, baja temperatura, alta luminosidad y bajo déficit de presión de vapor (baja tasa de pérdida de agua de la planta), pueden inducir una deficiencia temporal de este nutriente.

La deficiencia de B ha sido a menudo asociada a situaciones de sequía. Si existe agua en horizontes más profundos del suelo y las raíces la extraen de ese lugar, como la concentración de B en la solución del suelo es generalmente menor (fundamentalmente si los suelos provienen de materiales pobres en B), la absorción será baja o insuficiente. Aún cuando los niveles de B en suelo sean altos, la baja humedad disminuye la absorción de B por la raíz (Malavé Acuña, 2005), lo que puede ocasionar una deficiencia temporal o estacional. Por otro lado, en suelos profundos y bien drenados, luego de períodos de abundantes lluvias, el B de la solución puede ser lixiviado en profundidad (Havlin *et al.*, 2005), generándose también posibles momentos de deficiencias.

En general el B es considerado inmóvil a través del floema, excepto para algunas pocas especies que producen significativas cantidades de polioles (Sorbitol, Manitol y Dulcitol) como algunos integrantes de las familias Rosaceae, Rubiaceae y Celastraceae (Brown y Shelp, 1997). Como el B no puede ser retranslocado cuando la absorción es insuficiente, se requiere un aporte constante que satisfaga las demandas en cada momento (Mengel *et al.*, 2001).

Diversos autores (Vail *et al.*, 1961; Savory, 1962; Stone y Will, 1965; Cooling y Jones, 1970; Hopmans y Flinn, 1984; Dell, 1996), detectaron síntomas de deficiencia de B en diferentes especies de pino y eucalipto, y verificaron una sensible mejora cuando aplicaron este nutriente al suelo o a la planta, con disminución del "dieback" a

cantidades insignificantes, y un importante aumento en la producción y/o calidad. Barret *et al.* (citado por Balloni, 1979), mostraron que la extrapolación de resultados puede ser peligrosa, observándose que en algunas situaciones la aplicación al suelo de 4 g de B por planta produjeron efectos de fitotoxicidad, mientras que en otras el agregado de 16 g de B no tuvo tal efecto. El limitado rango entre los umbrales de deficiencia y toxicidad complica aún más su dosificación racional.

El uso de herramientas de diagnóstico, tales como análisis foliar y de suelo, puede ayudar a minimizar los problemas, aunque con ciertas limitantes. Los análisis de suelo para evaluar la disponibilidad de B para la planta presentan en general bajo poder predictivo, dado que los valores críticos varían con los factores ambientales que afectan la absorción de B (Sims y Johnson, 1991), y con las especies, cultivares (Bell, 1997) o clones. Además, en las condiciones de suelo y clima de Uruguay, el B disponible en solución no tiene un equilibrio químico que lo reponga frente a variaciones en su concentración (como ocurre en otros nutrientes como P o K). En el caso del análisis foliar, a pesar de presentar mejor poder de predicción que el de suelo, existen también diversos factores que afectan directamente la interpretación: hoja a muestrear, edad de la planta, especie, cultivar, condiciones ambientales (Bell, 1997).

Las principales fuentes de B utilizadas en Uruguay son fuentes solubles como el ácido bórico (H_3BO_3 ; 17,5 % de B), bórax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$; 11,3 % de B) y Solubor® ($Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$; 20,8 % de B). Recientemente han comenzado a utilizarse fuentes menos solubles originadas de roca molidas con boratos de sodio y calcio (tipo ulexita, $NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$) sin tratamientos químicos (tras la extracción hay un proceso de

secado, molido y concentrado) y por lo tanto de menor costo por unidad de B que las fuentes solubles, con contenidos de B que oscilan entre 10 % y 17 %.

El uso de fuentes solubles brinda una solución a corto plazo y muy dependiente de situaciones ambientales. Períodos con abundantes lluvias pueden ocasionar pérdidas por lixiviación de todo el B aplicado, arrastrándolo hasta zonas alejadas de las raíces. El uso de fuentes de liberación lenta puede minimizar este efecto, puesto que estas fuentes irán reponiendo el B perdido por lixiviación o absorbido por las plantas, lo que no implica que igualmente pueda producirse alguna deficiencia temporal.

Según Shorrocks (1997), los resultados de estudios de eficiencia de aplicación de B usando diferentes minerales triturados no serían comparables. Mientras que en Nueva Zelanda se utiliza ulexita como un borato de acción lenta, en Brasil es considerada como semejante al bórax. Para este autor, las finas partículas de ulexita se comportan de manera similar al bórax (tanto incorporada al suelo como aplicada en superficie), mientras que las grandes partículas de ulexita no incorporada proporcionarán B por más tiempo. Lamentablemente se han reportado muy pocos estudios comparativos de aplicaciones minerales a campo, siendo la mayoría de éstos en ensayos maceteros y con el objetivo de cuantificar toxicidad y lixiviación, pero no la respuesta de los cultivos. A nivel nacional existen escasas referencias de ensayos con B (Méndez, 2003; Sayagués y Méndez, 2006), utilizando solo fuentes solubles.

El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios de disponibilidad en el tiempo del B proveniente de diferentes fuentes (solubles y parcialmente solubles en agua), dosis y formas de aplicación de fertilizante boratado, a través de los cambios en los contenidos

foliares de *E.globulus* [*Eucalyptus globulus* (Labille)] y *E.grandis* [*Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden)], en distintas situaciones de suelos y manejo.

D. MATERIALES Y MÉTODOS

Se instalaron 12 experimentos de respuesta al agregado de B, en 8 diferentes sitios experimentales del país, sobre suelos que por sus características, hacen posible la aparición de deficiencias de B (Basamento Cristalino, Areniscas Cretácicas y Areniscas de Tacuarembó). La instalación se realizó dentro de campos destinados a la producción forestal. Excepto por la fertilización boratada, el resto de las prácticas agrícolas fueron las usadas por las empresas en sus predios. En los cuadros 2, 3 y 4, se muestra la ubicación y características de los diferentes sitios experimentales.

Cuadro 2. Localización geográfica, especie plantada, momento de instalación y tipo de experimento, en los diferentes sitios experimentales

Sitio	Latitud	Longitud	Especie	Instalación	Tipo exp.
1	31°16'S	55°43'O	<i>E. grandis</i>	Otoño-2005	1 y 2
2	32°49'S	58°01'O	<i>E. grandis</i>	Otoño-2005	1 y 2
3	32°30'S	57°22'O	<i>E. globulus</i>	Otoño-2005	1 y 2
4	34°17'S	54°11'O	<i>E. globulus</i>	Otoño-2005	1 y 2
5	31°23'S	55°32'O	<i>E. grandis</i>	Prim.-2005	3
6	32°30'S	57°17'O	<i>E. grandis</i>	Prim.-2005	3
7	33°00'S	57°19'O	<i>E. globulus</i>	Prim.-2005	3
8	34°07'S	54°03'O	<i>E. globulus</i>	Prim.-2005	3

Cuadro 3. Unidad, tipo de suelo y material de origen para cada sitio experimental

Sitio	Unidad de suelos ¹	Clasificación de suelos		Material de origen
		Uruguay ¹	Soil Taxonomy ²	
1	Rivera	Acrisol Ócrico Abrúptico Ar r.	Fine, mixed, semiactive, thermic Typic Hapludult	Removilizaciones de Areniscas de Tacuarembó
2	Tres Bocas	Argisol Distrito Ocrico Abrúptico Ar hm.	Fine, mixed, superactive, thermic Typic Argiudoll	Sedimentos Areno-Arcillosos y Arenosos de Salto
3	Algorta	Argisol Distrito Ocrico Abrúptico Ar h.	Fine, mixed, superactive, thermic Abruptic Argiudoll	Sedimentos Arcillo-Arenosos/Areniscas Cretácicas
4	Sierra de Polanco	Litosol Subéutrico Melánico ArFr.	Coarse-loamy, mixed, superactive, thermic Lithic Hapludoll	Basamento Cristalino
5	Rivera	Acrisol Ócrico Abrúptico Ar r.	Fine, mixed, semiactive, thermic Typic Hapludult	Removilizaciones de Areniscas de Tacuarembó
6	Algorta	Argisol Distrito Ócrico Abrúptico Ar h.	Fine-loamy, mixed, superactive, thermic Typic Hapludalf	Sedimentos Arcillo-Arenosos/Areniscas Cretácicas
7	Paso Palmar	Brunosol Subéutrico Lúvico ArGb, mp, ps	Fine, mixed, superactive, thermic Pachic Argiudoll	Sedimentos Francos/Areniscas Cretácicas
8	Sierra de Polanco	Litosol Subéutrico Melánico ArFr.	Coarse-loamy, mixed, superactive, thermic Lithic Hapludoll	Basamento Cristalino

¹MAP/DSF, 1976.

²Soil Survey Staff, 1999.

Cuadro 4. Resultado de los análisis químicos de suelos

Sitio	pH	C	MO	P	Ca	Mg	K	Na	Suma bases
	H ₂ O	%	%	mg.kg ⁻¹	cmol _c .kg ⁻¹				
1	4,45	0,99	1,7	4	0,58	0,33	0,19	0,33	1,43
2	5,33	2,13	3,7	4	7,50	1,28	0,57	0,27	9,62
3	5,03	1,12	1,9	3	2,80	0,79	0,16	0,25	4,00
4	5,07	1,51	2,6	4	2,00	1,00	0,48	0,33	3,81
5	4,93	0,47	0,8	4	0,49	0,16	0,12	0,32	1,09
6	4,76	1,13	2,0	6	1,80	0,80	0,21	0,32	3,13
7	5,11	2,47	4,3	9	8,00	1,87	0,35	0,36	10,58
8	4,96	2,81	4,8	3	3,80	1,55	0,46	0,36	6,17

Se instalaron tres diferentes tipos de experimentos:

Experimentos Tipo 1) Comparación de una fuente soluble (Solubor®, Na₂B₈O₁₃.4H₂O, 20,8 % B) contra otra parcialmente soluble (LBF50, borato base ulexita

-NaCaB₅O₉.8H₂O, 17,6 % B), aplicadas en cobertura, a árboles con seis meses de transplantados. El diseño experimental fue en bloques con parcelas al azar, con cuatro repeticiones. Los tratamientos fueron: Testigo (T), Solubor (SB), Solubor Refertilizado (SBR), LBF50 (U), LBF50 Refertilizado (UR). La dosis aplicada fue de 4 g de B por planta, refertilizándose (en los tratamientos que correspondía) al año de la instalación del experimento (18 meses desde el transplante), con igual dosis. En todos los casos la aplicación del fertilizante fue realizada en cobertura, distribuida a ambos lados del árbol, a una distancia aproximada de 30 cm (Sitios 1 al 4; instalación Otoño/2005).

Experimentos Tipo 2) Respuesta a la aplicación de LBF50 en dosis de 0, 2, 4, 6 y 8 g de B por planta (B0, B1, B2, B3 y B4 respectivamente), aplicadas en cobertura (distribuida a ambos lados del árbol a una distancia aproximada de 30 cm), en árboles con seis meses de transplantados. El diseño experimental fue en bloques con parcelas al azar, con tres repeticiones. (Sitios 1 al 4; instalación Otoño/2005).

Experimentos Tipo 3) Respuesta a la aplicación de LBF50 en dosis de 0, 3, 6, 9 y 12 g de B por metro lineal (B0, B1, B2, B3 y B4 respectivamente), incorporado en la faja laboreada previo al transplante. El diseño experimental fue en bloques con parcelas al azar, con cuatro repeticiones. (Sitios 5 al 8; instalación primavera/2005).

En los experimentos del Tipo 1 y 2, cada parcela incluía un total de diez árboles distribuidos en dos filas, con un árbol sin fertilizar como borde compartido para separar parcelas en la misma fila, y una fila sin fertilizar como borde compartido hacia los costados. Se evaluó la totalidad de árboles existentes en cada parcela.

En los experimentos del Tipo 3, cada parcela incluyó dos filas de ancho por 14 m lineales de largo, dejando una fila sin fertilizar como borde compartido hacia los costados. Se evaluaron todos los árboles de cada parcela menos el primero y último dentro de la misma fila.

Los sitios 1, 2, 5 y 6 fueron forestados con *E. grandis* [*Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden)], mientras que los restantes lo fueron con *E.globulus* [*Eucalyptus globulus* (Labille)].

En los experimentos tipo 1 y 2, se realizaron muestreos foliares a los 6, 12 y 24 meses de la fertilización (12, 18 y 30 meses del transplante; se mencionarán como muestreos 1 2 y 3). En los experimentos tipo 3 los muestreos foliares se realizaron a los seis y 18 meses de la fertilización (transplante). La época de muestreo fue en otoño, tomándose la última hoja totalmente desarrollada del último crecimiento, de la mitad de la copa y de los cuatro puntos cardinales. Las muestras fueron secadas a 65 °C por 48 horas y molidas. Se analizó el contenido total de B mediante una digestión por vía seca (cenizas), determinándose por el método de la Azometina-H (Malavolta *et al.*, 1997).

El análisis estadístico de los datos se realizó a través de los Análisis de Varianza (por sitio y para el conjunto de los sitios de igual edad), Análisis de Regresión y Correlación, utilizando el programa InfoStat (2004). En los experimentos Tipo 1, como la refertilización se realizó a los 18 meses del transplante, para los muestreos previos se consideraron las parcelas UR y SBR como repeticiones de los tratamientos U y SB respectivamente, lo que aumentó el número de repeticiones al realizar el análisis estadístico (excepto para el testigo que quedó con 4 repeticiones).

E. RESULTADOS

Primeramente cabe destacar que no se encontraron contenidos foliares en el rango considerado como de deficiencia de B ($<10 \text{ mg.kg}^{-1}$ para *E. globulus*, $<8 \text{ mg.kg}^{-1}$ para *E. grandis*, árboles de 1-5 años, Boardman *et al.*, 1997), lo que podría deberse a que en el período de estudio no se habrían dado condiciones que favorecieran su aparición.

1. Comparación de fuentes: Solubor contra LBF50

En la Figura 4 se muestra la concentración foliar promedio de todos los sitios, para los tres muestreos.

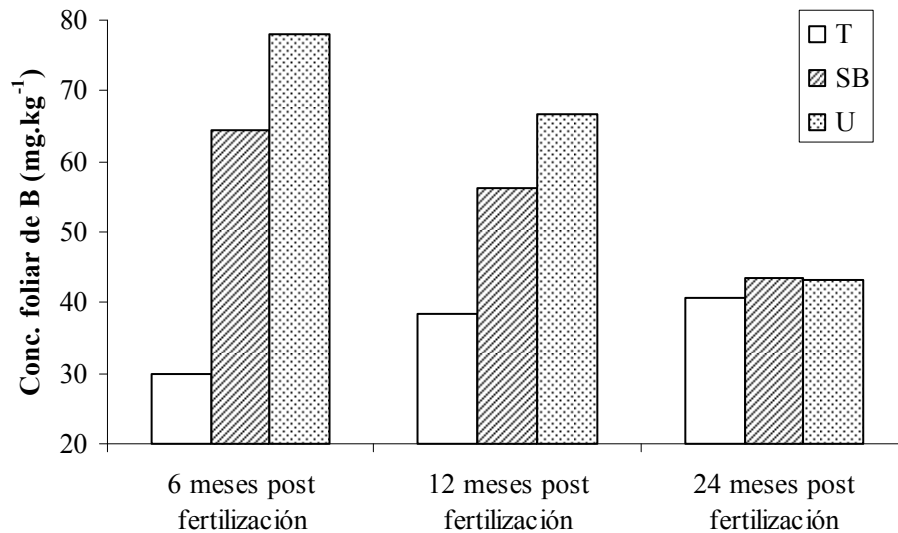


Figura 4. Concentración foliar de boro (mg.kg^{-1}) promedio de todos los sitios, en tres momentos de muestreo, para los tratamientos: T: Testigo; SB: Solubor y U: LBF50. En los dos primeros muestreos se promedian los cuatro sitios mientras que en el tercer muestreo son tres.

Si bien los contenidos foliares de B en los tratamientos fertilizados disminuyen con el tiempo, en el promedio de todos los sitios/muestreo, las plantas fertilizadas tenían más B que los testigos ($P_{1er\ muestreo}=0,023$, $P_{2º\ muestreo}=0,041$ y $P_{3er\ muestreo}= 0,029$). Comparando entre fuentes, en el promedio de todos los sitios/muestreo se observa una tendencia (aunque no significativa) a mayores contenidos foliares en las plantas fertilizadas con U respecto a las que recibieron SB.

En los dos primeros muestreos, para cada sitio, los contenidos foliares de B de los tratamientos fertilizados fueron siempre mayores que en los testigos ($P<0.001$). Sin embargo, solo en los Sitios 3 y 4, U fue estadísticamente superior a SB ($P<0.01$). En el Sitio 3 los contenidos foliares en todo el experimento fueron altos, debido a una fertilización generalizada realizada por error por la empresa, lo cual no evitó que igualmente se expresaran las diferencias entre tratamientos.

En el tercer muestreo las diferencias entre el testigo y los tratamientos fertilizados es estadísticamente diferente solo para el Sitio 1 ($P=0,066$).

En el análisis conjunto de las concentraciones foliares en el tercer muestreo (para los sitios 1, 2 y 4), se observó un aumento significativo por la refertilización realizada a los 12 meses de la instalación ($P_{SB\ vs\ SBR} = 0.093$, $P_{U\ vs\ UR} = 0.015$) (Figura 5). El Sitio 3 no pudo ser muestreado debido a la severa defoliación sufrida por una gran infección de *Mycosphaerella spp.* En el análisis por sitio, existieron diferencias significativas en el Sitio 1 ($P_{SB\ vs\ SBR} = 0.089$, $P_{U\ vs\ UR} = 0.068$) y 2 ($P_{SB\ vs\ SBR} = 0.108$, $P_{U\ vs\ UR} = 0.025$), pero no en el Sitio 4 (datos no mostrados).

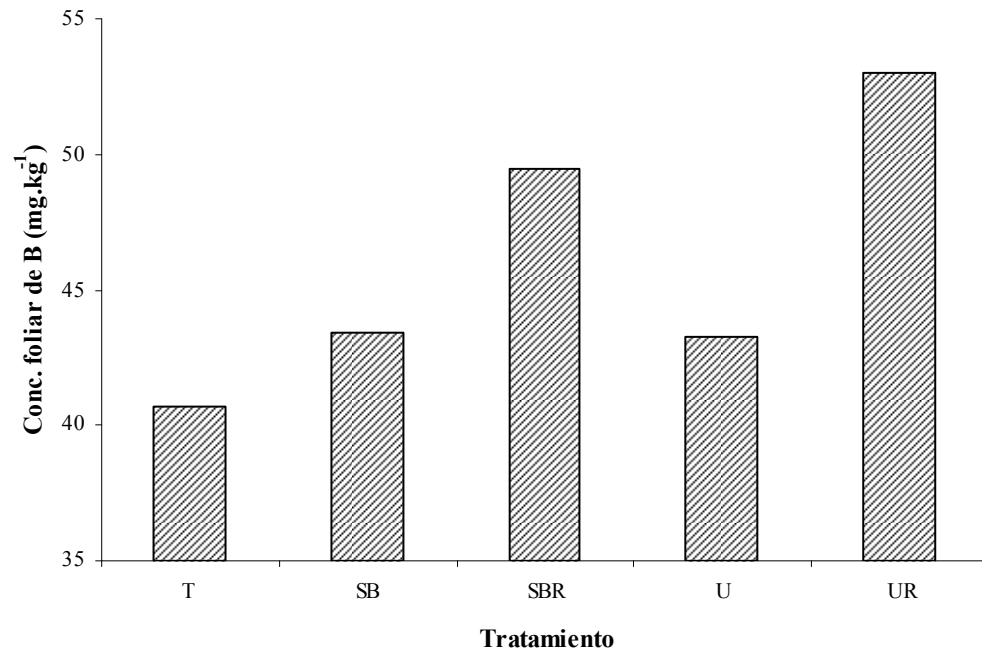


Figura 5. Concentración foliar de boro (mg.kg⁻¹) promedio de los sitios 1, 2 y 4 a los 24 meses post fertilización y 12 post refertilización, para los tratamientos: T: Testigo; SB: Solubor; SBR: Solubor Refertilizado; U: LBF50; UR: LBF50 Refertilizado.

2. Respuesta a la aplicación de LBF50 superficial en árboles de 6 meses

El análisis conjunto de todos los sitios mostró incrementos lineales y significativos en los contenidos foliares de las plantas fertilizadas en función de la dosis ($P < 0.01$ al 1^{er} y 2^o muestreo; $P < 0.10$ al 3^o), para las tres fechas de muestreo. Los R^2 fueron bajos pero eso es esperable pues se están promediando diferentes sitios ($R^2_{1er\ muestreo} = 0,31$; $R^2_{2o\ muestreo} = 0,12$; $R^2_{3er\ muestreo} = 0,03$). La diferencia entre testigo y el resto de las dosis fue altamente significativa ($P < 0.0001$).

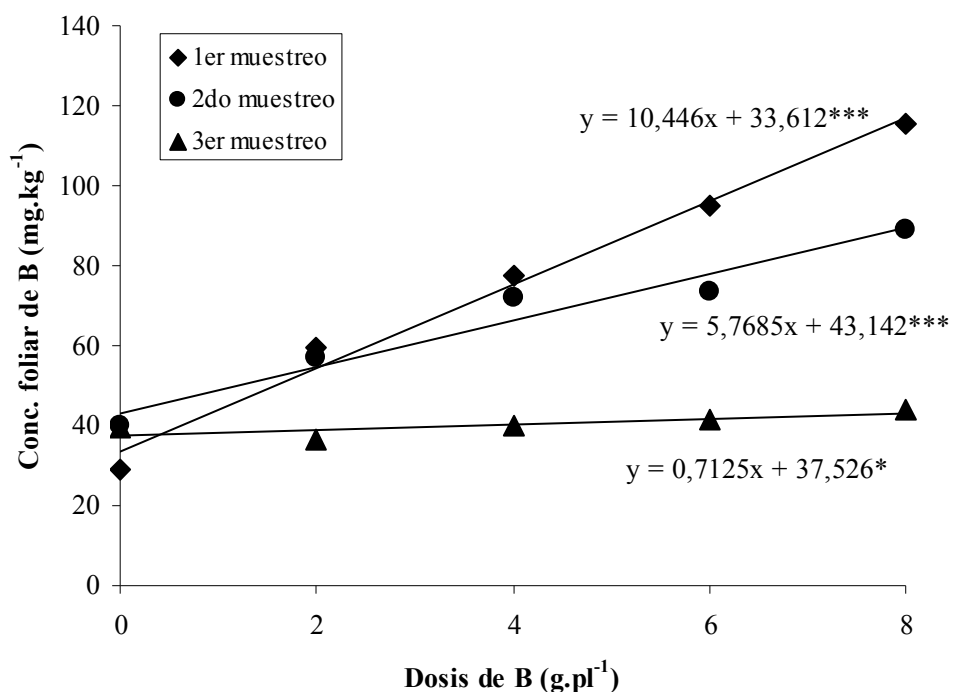


Figura 6. Concentración foliar de boro (mg.kg⁻¹) en función de la dosis agregada (g.pl⁻¹) para el promedio de todos los sitios, en tres diferentes momentos. 1^{er} muestreo: 6 meses post fertilización; 2^o muestreo: 12 meses post fertilización; 3^{er} muestreo: 24 meses post fertilización.

El análisis por sitio mostró similar comportamiento, llegando en algunos casos a concentraciones foliares de B superiores a los 200 mg.kg⁻¹.

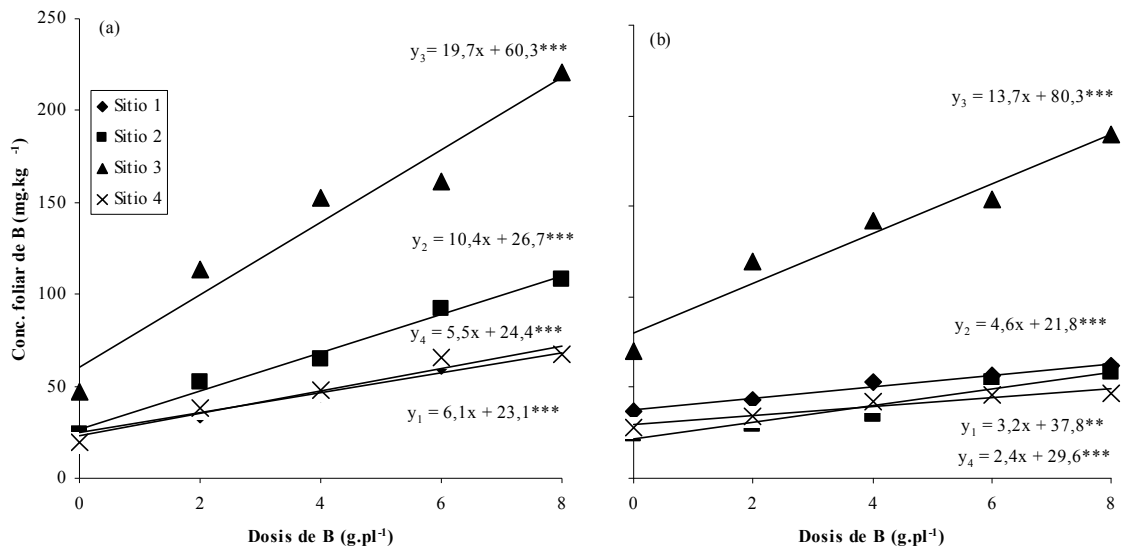


Figura 7. Concentración foliar de boro (mg.kg⁻¹) en función de la dosis agregada (g.pl⁻¹), para cada sitio. (a) Muestreo a los 6 meses post fertilización. (b) Muestreo a los 12 meses post fertilización.

Se observa una respuesta positiva en los contenidos respecto a la dosis, aún cuando se realizaron aplicaciones adicionales (no previstas) por parte de una de las empresas (sitio 3).

3. Respuesta a la aplicación de LBF50 incorporado antes del transplante

El análisis conjunto de todos los sitios mostró aumentos lineales y significativos en los contenidos foliares (en los dos muestreos), asociados a los incrementos en las dosis de B aplicadas.

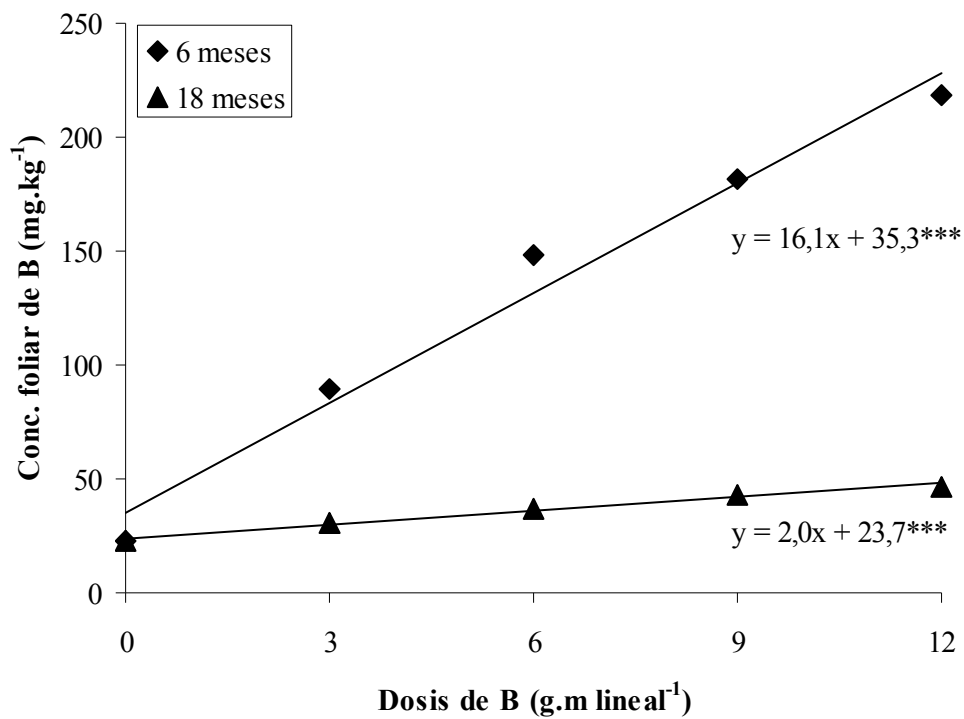


Figura 5. Concentración foliar de boro (mg.kg^{-1}) en función de la dosis agregada (g por m lineal), para el promedio de los sitios, en dos momentos de muestreo (6 y 18 meses del trasplante/fertilización).

Los contenidos foliares a los seis meses, en algunos casos, superaron los 400 mg.kg^{-1} de B. Las plantas con contenidos foliares de B excesivamente altos ($>100 \text{ mg.kg}^{-1}$) mostraron claros síntomas de toxicidad

F. DISCUSIÓN

Una observación general de los contenidos foliares en los testigos (en todos los tipos de experimento), nos permite ver que aumentan con la edad de la planta. El análisis estadístico mostró que la diferencia en los contenidos foliares de los testigos al segundo

y tercer muestreo fue significativa para prácticamente todos los sitios y experimentos, tanto en análisis a través de sitio por tipo de experimento, como individuales por sitio (datos estadísticos no presentados). Este aumento podría adjudicarse a una exploración radicular más exhaustiva y/o a una mayor eficiencia de absorción al aumentar la edad de las plantas, la cual les permitiría absorber suficiente B del suelo para alcanzar niveles de suficiencia. Por otro lado, la gran movilidad del B en el suelo, asociada a dicha mayor exploración y eficiencia radicular de los árboles, les podría estar permitiendo absorber B aplicado a distancias mayores de las previstas, pudiendo existir absorción desde parcelas vecinas. Trabajos recientes de fertilización con ^{15}N en eucaliptos (Ing. Agr. Ph. D. Carlos Perdomo, 2009, comunicación personal), han mostrado absorción por árboles distantes 8 m del punto de aplicación (dos entrefilas). Asumiendo una dinámica similar de estos nutrientes, el diseño posiblemente debería haber incluido mayor distancia entre los tratamientos.

Los contenidos de B en las plantas de los tratamientos fertilizados con este nutriente, indicarían que ambas fuentes presentaron una buena disponibilidad para las plantas en los dos años posteriores a la aplicación, con contenidos que tienden a ser mayores cuando se aplicó U. Contrariamente a lo esperado, esta fuente se comportó de manera similar a SB en cuanto a solubilidad. Probablemente la acidez de los suelos ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ entre 5,33 y 4,45) influyó de manera importante en la solubilización de la fuente menos soluble. De todos modos, los contenidos foliares mayores (aunque no siempre significativos) en las plantas fertilizadas con U pueden ser relacionados a una liberación más continua en el tiempo. El comportamiento de U similar a una fuente soluble, se

evidenció en los aumentos de los contenidos foliares en todos los experimentos, aún cuando la aplicación fuera realizada en cobertura (experimentos Tipo 1 y Tipo 2). Posiblemente la existencia de diferente granulometría dentro del fertilizante hizo que existiera diferente solubilidad, lo que concordaría con lo expresado por Shorrocks (1997).

El hecho que U tuviera una solubilidad mayor a la esperada implicó que las dosis aplicadas en los experimentos de B incorporado (ensayos Tipo 3) alcanzaran niveles de toxicidad para las plantas (con contenidos foliares que en algunas situaciones superaron los 400 mg.kg^{-1}), con la consiguiente aparición de síntomas foliares de toxicidad. En estos casos el efecto no sólo fue de la dosis, sino del momento y forma de aplicación (incorporado y previo al transplante). En los experimentos con aplicación en cobertura a los seis meses del transplante, si bien existió aumento en las concentraciones foliares, éstos fueron menores y no se observó sintomatología de toxicidad.

La residualidad de esta fuente (evaluada a partir de los contenidos foliares), sería similar al SB, concordando con lo expresado por Shorrocks (1997) respecto a la solubilidad de las ulexitas en los suelos de Brasil. Los contenidos foliares a los 24 meses de la aplicación en la mayoría de los sitios/tratamientos no fueron significativamente diferentes a los contenidos de los testigos. Considerando los aumentos en los contenidos de los testigos, si comparamos las concentraciones foliares de los tratamientos fertilizados a los 24 meses contra las concentraciones foliares de los testigos a los seis meses, las diferencias continúan siendo muy significativas (tanto por sitio como a través

de sitio, datos no presentados), por lo cual podría esperarse que existiera cierta residualidad.

El aumento lineal de los contenidos foliares de B en función de las diferentes dosis de fertilizante a los pocos meses de la aplicación, permite ver la rápida disponibilidad de este nutriente en esta fuente y la facilidad de absorción por parte de las plantas.

En todos los casos se observó un aumento lineal en los contenidos foliares con las diferentes dosis de B aplicadas, no mostrando caída aún con las dosis mayores. Las dosis más bajas (entre 2 y 6 g de B por planta dependiendo del tipo de experimento) parecerían ser suficientes para alcanzar niveles foliares que podrían considerarse de suficiencia (12 a 50 mg.kg⁻¹ y 15 a 30 mg.kg⁻¹ para *E. globulus*, y *E. grandis* respectivamente, para árboles de 1-5 años, según Boardman *et al.*, 1997). Las plantas con altos contenidos foliares de B (mayores a 80 a 100 mg.kg⁻¹) mostraron claros síntomas de toxicidad. Al año del transplante, si bien disminuyeron los contenidos foliares, todavía se observó residualidad de la fertilización. Luego de 24 meses de la aplicación, los contenidos foliares de los tratamientos fertilizados disminuyeron hasta valores que no se diferenciaron significativamente de los testigos, manteniéndose igualmente dentro del rango de suficiencia.

G. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio permiten afirmar que en los suelos estudiados, el fertilizante LBF50 tendría la misma eficiencia que el Solubor como aporte de B para las plantaciones de eucaliptos. Este fertilizante, a pesar de ser de tipo ulexita, se comportó

como de alta solubilidad y baja residualidad, presentado un comportamiento similar al Solubor.

La aplicación de LBF50 en dosis crecientes, tanto en forma superficial a los seis meses del trasplante como incorporado al suelo previo al trasplante, incrementó en forma lineal los contenidos foliares, lo cual muestra que es una fuente eficiente de suministro de B a las plantas, independientemente de la forma de aplicación (superficial o incorporada).

Se alcanzaron niveles foliares de suficiencia con aplicaciones de apenas 2 g de B por planta.

El análisis foliar se mostró como una herramienta adecuada para detectar diferencias de aportes de este micronutriente para las plantas, por lo cual, correctamente calibrado, permitiría su utilización en las recomendaciones de fertilización.

H. BIBLIOGRAFÍA

- Balloni E. A. 1979. A utilização de boro em florestas plantadas. IPEF. Circular técnica N° 70. 16 p.
- Bell R. W. 1997. Diagnosis and Prediction of Boron Deficiency for Plant Production. *Plant and Soil* 193: 149-168.
- Bellote A. F. J., Sarruge J. R., Haag H. P. e Oliveira G. D. 1980. Extração e exportação de nutriente pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden em função da idade: 2 - Micronutrientes. *IPEF* 20: 27-45.
- Boardman R., Cromer R.N., Lambert M.J. and Webb M.J. 1997. Forest Plantations. En: *Plant Analysis, an Interpretation Manual*. 2ª ed. D. J. Reuter, J. B. Robinson (ed.). Collingwood: CSIRO, Australia. pp 505-561.
- Brown P.H. and Shelp B. J. 1997. Boron Mobility in Plants. *Plant and Soil* 193: 85-101.
- Cooling E.N. and Jones B.E. 1970. The Importance of Boron and NPK Fertilizers to *Eucalyptus* in the Southern Province, Sambia. *East African Agricultural and Forestry Journal* 36(2): 185-194.
- Dell B. 1996. Diagnosis of Nutrient Deficiencies in Eucalypts. En: *Nutrition of Eucalypts*. P.M. Attiwiill and M.A. Adams (ed). CSIRO, Australia. pp 417-440.
- Dell B. and Huang L. 1997. Physiological Response of Plants to Low Boron. *Plant and Soil* 193: 103-120.
- Dell B. and Malajczuk N. 1994. Boron Deficiency in Eucalypt Plantations in China. *Can. J. For. Res.* 24(12): 2409–2416.

- Dugger W. M. 1983. Boron in Plant Metabolism. En: Enciclopedia of Plant Physiology, New Series, vol 15b. A Laüchi, RL Bielecki (eds). Springer-Verlag, Berlín, pp. 626-650.
- Havlin J.L., Beaton J. D., Tisdale S.L. and Nelson W.L. 2005. Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. 7a. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson, 515 p.
- Hopmans P. and Flinn D. W. 1984. Boron Deficiency in *Pinus radiata* D. Don and the Effect of Applied Boron on Height Growth and Nutrient Uptake. Plant and Soil 79: 295-298.
- Hu H. and Brown P.H. 1997. Absorption of Boron by Plants Roots. Plant and Soil 193: 49-58
- Infostat versión 2004. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Judd T.S., Attiwill P.M. and Adams M.A. 1996. Nutrient Concentration in *Eucalyptus*: a Synthesis in Relation to Differences Between Taxa, Sites and Components. En: Nutrition of Eucalypts. P.M. Attiwiill and M.A. Adams (ed). CSIRO, Australia. pp 123-153
- Malavé Acuña A. 2005. Los suelos como fuente de boro para las plantas. Revista Científica UDO Agrícola 5: 10-26.
- Malavolta E., Vitti G.C. e De Oliveira S. A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ª Edición. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 319 p.

- MAP/DSF. 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes. Montevideo, Uruguay.
- Matoh T. 1997. Boron in Plant Cell Walls. *Plant and Soil* 193: 59-70.
- Méndez A. 2003. Evaluación del estado nutricional en plantaciones de *E. globulus* Labill. ssp. *globulus*. Fac de Agronomía, Tesis Ing. Agr. 95 p.
- Mengel, K.; Kirkby, E. A.; Kosegarten, H. and Appel, T. 2001. Principles of plant nutrition. 5th. ed. Edited by Konrad Mengel and Ernest A. Kirkby with the support of Harald Kosegarten and Thomas Appel. Dordrecht: Kluwer, 849p.
- Reali P. 2000. Daños por falta de Boro. Disminución de la rentabilidad forestal en *E. globulus* ssp. *globulus* en el Sureste del Uruguay. *Forestal* 15: 25-27.
- Savory B.M. 1962. Boron Deficiency in Eucalyptus in Northern Rhodesia. *Empire Forestry Review* 41(2): 118-26.
- Sayagués L. y Méndez A. 2006. Deficiencia de boro en *E. globulus* ssp. *globulus* en Uruguay. *Forestal* 30:15-18
- Shorrocks V. M. 1997. The Occurrence and Correction of Boron Deficiency. *Plant and Soil* 193:121-148.
- Silveira R. L. V. de A., Gonçalves A. N. e Krüger T. L. 1998. Estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* Hook cultivado sob diferentes doses de boro e sua relação com a agressividade de *Botryosphaeria ribis*. *Scientia Forestalis* 53: 57-70.
- Silveira R. L. V. de A., Moreira A., Takashi E. N., Sgarbi F. e Branco E. F. 2002. Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de

- Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. CERNE (UFL), Lavras 8(2): 108-117.
- Sims S. R. and Johnson G.V. 1991. Micronutrients Soil Test. En: Micronutrients In Agriculture 2nd ed. Eds. J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman and R. M Welch. Soil Science Society America Book series N° 4. pp 427-476.
- Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd ed. Agric. Handbk. NRCS, Washington, DC. 436 p.
- Stone E.L. and Will G.M. 1965. Boron Deficiency in *Pinus radiata* and *Pinus pinaster*. Forest Science 11(4): 425-433.
- Tokeshi H., Guimarães R.F. e Tomazello Filho M. 1976. Deficiência de boro em *Eucalyptus* em São Paulo. Summa Phytopathologica 2: 122-126.
- Turner J. and M. Lambert. 1996. Nutrient Cycling and Forest Management. En: Nutrition of Eucalypts. P.M. Attiwiill and M.A. Adams (ed). CSIRO, Australia pp 229-248.
- Vail J.W., Parry M.S. and Calton W.E. 1961. Boron Deficiency Dieback in Pines. Plant and Soil 14(4): 393-398.

IV. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES GLOBALES

Las características de la dinámica del B en suelo y planta hacen que sea difícil evitar la aparición de alguna sintomatología o daño por deficiencia, en algún momento del ciclo del cultivo, para materiales sensibles. Es necesario un manejo adecuado de la fertilización (tipo de fertilizante, forma y dosis de aplicación), para ayudar a minimizar los problemas que se pueden presentar en momentos coyunturales como: baja evapotranspiración con alto crecimiento, sequías o lluvias muy lixiviantes.

El uso de fertilizantes de liberación lenta permitiría mantener niveles de B en la solución del suelo por más tiempo y disminuir dichos problemas, a la vez de tener un menor costo que los productos de síntesis, altamente solubles. Con este tipo de fuentes también podrían minimizarse los efectos tóxicos derivados de altas concentraciones momentáneas.

La comparación de Solubor (borato de sodio soluble) versus LBF50 (borato de Na y Ca tipo ulexita, de menor solubilidad), mostró similar eficiencia de utilización del B por parte de las plantas. La fuente LBF50 no mostró la alta residualidad que aparece citada en muchos trabajos para las ulexitas.

Es necesario un mejor ajuste de la dosis, forma y momento de aplicación del fertilizante para evitar deficiencias o excesos en las plantas. La dosis y forma de aplicación será muy dependiente del tipo de fertilizante y de características del suelo que favorezcan la disolución de las fuentes menos solubles o las pérdidas por lavado. Para ello deberían realizarse estudios comparativos de solubilidad y residualidad de diferentes

fuentes en distintos suelos, evaluándose no solo la absorción por parte de las plantas, sino también los efectos en rendimiento (altura, DAP, volumen) y calidad (deformaciones de tronco). La necesidad y momento de refertilización, dependerá de la residualidad de los distintos productos y de las posibles pérdidas del ácido bórico existente en la solución del suelo.

Debido a la gran variabilidad de los fertilizantes provenientes de diferentes depósitos naturales (sin procesos químicos), sería importante que se generaran metodologías de caracterización de estos productos, con información del contenido soluble y comportamiento en nuestros suelos.

La evaluación de otros factores locales que favorezcan o predispongan la aparición de deficiencias de B, tales como temperatura, humedad, déficit de presión de vapor, precipitaciones, luminosidad, etc., serviría como complemento a la hora de evaluar la aplicación de B a las plantaciones.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, F. 1980. Interactions of Phosphorus With Other Elements in Soil and Plants. En: The Role of Phosphorus in Agriculture. R.C. Dinauer (ed). American Society of Agronomy, Madison, WI. pp:655-680.
- Andrade, S.; De Barros, N.; Ferreira R.; Teixeira, J.; Leal P. 1995 Exigencia y distribución de boro en plantas de eucalipto. BOSQUE. 16: 53-59.
- Balloni E. A. 1979. A utilização de boro em florestas plantadas. IPEF. Circular técnica N° 70. 16 p.
- Barreto, V.C.M.; Valeri, S.V.; Silveira, R.L.V.A.; Takahashi, E.N. 2007. Eficiência de uso de boro no crescimento de clones de eucalipto em vasos. Scientia Florestalis. 76: 21-33.
- Barros, N.; Novais, R. 1996. Eucalypt Nutrition and Fertilizer Regimes in Brazil. En: Nutrition of Eucalypts. Attiwill, P. y M. Adams (eds.). CSIRO Publishing Australia, pp 335- 355.
- Barrow, N. 1989. Testing a Mechanistic Model. X. The Effect of pH and Electrolyte Concentration on Borate Sorption by a Soil. J. Soil Sci. 40: 427-435.
- Bell, R. W. 1997. Diagnosis and Prediction of Boron Deficiency for Plant Production. Plant and Soil 193: 149-168.
- Bell, R.W.; Dell, B.; Huang, L. 2002. Boron Requirements of Plants. En: Boron in Plant and Animal Nutrition. New York, USA: Kluwer Academic/Plenum Publishers, pp.63 85.
- Bellote, A. F. J.; Sarruge, J. R.; Haag, H. P.; Oliveira, G. D. 1980. Extração e exportação de nutriente pelo *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden em função da idade: 2 - Micronutrientes. IPEF 20: 27-45.

- Bingham, F.; Page, A.; Coleman, N.; Flach, K. 1971. Boron Adsorption Characteristics of Selected Soils from Mexico and Hawaii. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 35: 546-550.
- Blevins, D. G.; Lukaszewski, K. M. 1998. Boron in Plant Structure and Function. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49:481-500.
- Boardman R., Cromer R.N., Lambert M.J. and Webb M.J. 1997. Forest Plantations. En: *Plant analysis, an interpretation manual*. 2^a ed. D. J. Reuter, J. B. Robinson (ed.). Collingwood: CSIRO, Australia. pp 505-561.
- Brown, P.H.; Shelp, B. J. 1997. Boron Mobility in Plants. *Plant and Soil* 193: 85-101.
- Byers, D. E.; Mikkelsen, R. L.; Cox F. R. 2001. Greenhouse Evaluation of Four Boron Fertilizer Materials. *Journal of Plant Nutrition*. 24: 717-725
- Cakmak, I.; Römheld, V. 1997. Boron Deficiency-Induced Impairments of Cellular Functions in Plants. *Plant and Soil*. 193: 71-83.
- Carter, R.E.; Brockley, R.P. 1990. Boron Deficiencies in British Columbia: Diagnosis and Treatment Evaluation. *For. Ecol. Manage.* 37: 83-94.
- Chaudhary, D. R.; Shukla, L. M. 2004. Evaluation of Extractants for Predicting Availability of Boron to Mustard in Arid Soils of India. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 35: 267 – 283.
- Cohen, M. S.; Lepper, R. Jr. 1977. Effect of Boron on Cell Elongation and Division in Squash Roots. *Plant Physiol.* 59: 884-887
- Cooling, E.N.; Jones, B.E. 1970. The Importance of Boron and NPK Fertilizers to Eucalyptus in the Southern Province, Zambia. *East African Agricultural and Forestry Journal* 36(2): 185-194.
- De Bussetti, S.; Ferreiro, E.; Helmy, A. 1995 Sorption of Boron by Hydrous Al-oxide. *Clays Clay Miner.* 43: 58-62

- De Las Salas, G. 1987. Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica. 447 p.
- Dell, B.; Huang, L. 1997. Physiological Response of Plants to Low Boron. *Plant and Soil* 193: 103-120.
- Dell, B.; Malajczuk N. 1994. Boron Deficiency in Eucalypt Plantations in China. *Can. J. For. Res.* 24(12): 2409–2416
- Dibb, D.W.; Thompson, W. R. Jr. 1985. Interaction of Potassium with Other Nutrients. En: Potassium in Agriculture. R. D. Munson (ed). Published by: Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA, pp. 515 - 533.
- Dugger, W. 1983. Boron in Plant Metabolism. En: Enciclopedia of Plant Physiology, New Series, vol 15b. A Laüchi, RL Bielecki (eds). Springer-Verlag, Berlín, pp. 626-650.
- Elrashidi, M.; O'Connor G. 1982. Boron Sorption and Desorption in Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 27-31.
- Fleming, G.A. 1980. Essential Micronutrients I: Boron and Molybdenum. En: Applied Soil Trace Elements. B.E. Davies (ed). Published by John Wiley & Sons Ltd. Pp: 155-197.
- Goldberg, S. 1999. Reanalysis of Boron Adsorption on Soils and Soil Minerals Using the Constant Capacitance Model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 823-829.
- Goldberg, S. 1997. Reactions of Boron With Soils. *Plant and Soil* 193: 35-48.
- Goldberg, S.; Corwin, D.; Shouse, P.; Suárez, D. 2005. Prediction of Boron Adsorption by Field Samples of Diverse Textures. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 1379-1388.
- Goldberg, S.; Lesch, S.; Suárez, D. 2000. Predicting Boron Adsorption by Soils Using Soil Chemical Parameters in the Constant Capacitance Model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1356-1363.

- Goldberg, S.; Forster H.; Heick, E. 1993. Temperature Effects on Boron Adsorption by Reference Minerals and Soils. *Soil Sci.*156: 316-321.
- Goldberg, S.; Forster H. 1991. Boron Sorption on Calcareous Soils and Reference Calcites. *Soil Sci.* 152: 304–310.
- Goldberg, S.; Glaubig, R. 1988. Boron and Silicon Adsorption on an Aluminum Oxide. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52(1): 87-91
- Goldberg, S.; Glaubig, R. 1986. Boron Adsorption and Silicon Release by the Clay Minerals Kaolinite, Montmorillonite, and Illite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50:1442-1448.
- Goldberg, S.; Glaubig, R. 1985. Boron Adsorption on Aluminum and Iron Oxide Minerals. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1374-1379.
- Gupta, U.C. 1979. Boron Nutrition of Crops. *Adv. Agron.* 31: 273-307.
- Havlin, J. L.; Beaton, J. D.; Tisdale, S.L.; Werner N. L. 2005. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. 7a. ed. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson, 515 p.
- Hingston, F. 1964. Reactions Between Boron and Clays. *Aust. J. Soil Res.* 2:83-95.
- Hopmans P. and Flinn D. W. 1984. Boron deficiency in *Pinus radiata* D. Don and the effect of applied boron on height growth and nutrient uptake. *Plant and Soil* 79: 295-298.
- Hou, J.; Evans, L. J.; Spiers, G. A. 1994. Boron Fractionation in Soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 1841–1853.
- Hu, H.; Brown, P.H. 1997. Absorption of Boron by Plants Roots. *Plant and Soil* 193: 49-58

- Hu, H.; Penn, S. G.; Lebrilla, C. B.; Brown, P. H. 1997. Isolation and Characterization of Soluble Boron Complexes in Higher Plants (The Mechanism of Phloem Mobility of Boron). *Plant Physiol.* 113: 649-655.
- Huang, L.; Ye, Z.; Bell, R.W. 1996. The Importance of Sampling Immature Leaves for the Diagnosis of Boron Deficiency in Oilseed Rape (*Brassica napus* cv. Eureka). *Plant Soil.* 183: 187-198.
- Hunter, I.R.; Will, G.M.; Skinner, M.F. 1990. A Strategy for Correction of Boron Deficiency in Radiata Pine Plantations in New Zealand. *For. Ecol. Manage.* 37: 77-82.
- Jin, J.; Martens D. C.; Zelancy, L. W. 1987. Distribution and Plant Availability of Soil Boron Fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51, 1228-1231.
- Judd, T.S.; Attiwill, P.M.; Adams, M.A. 1996. Nutrient Concentration in Eucalyptus: A Synthesis in Relation to Differences Between Taxa, Sites and Components. En: *Nutrition of Eucalypts*. Attiwill, P. y M. Adams (eds.). CSIRO Publishing Australia, pp 123-153.
- Keren R.; Grossl P. R.; Sparks D. L. 1994. Equilibrium and Kinetics of Borate Adsorption-Desorption on Pyrophyllite in Aqueous Suspensions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1116-1122
- Keren, R.; Bingham, F.; Rhoades J. 1985. Effect of Clay Content in Soil on Boron Uptake and Yield of Wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1466-1470.
- Keren, R.; Talpaz, H. 1984. Boron Adsorption by Montmorillonite as Affected by Particle Size. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 555–559.
- Keren, R.; O'Connor, G.A. 1982. Effect of Exchangeable Ions and Ionic Strength on Boron Adsorption by Montmorillonite and Illite. *Clays and Clay Minerals.* 30: 341-346.

- Keren, R.; Mezuman, U. 1981. Boron Adsorption by Clay Minerals Using a Phenomenological Equation. *Clays and Clay Minerals*. 29: 198-204.
- Kirschbaum, M. 1995. The Temperature Dependence of Soil Organic Matter Decomposition, and the Effect of Global Warming on Soil Organic C Storage. *Soil Biol. Biochem.* 27: 753-760.
- Knight, P.; Nicholas, I. 1996. Eucalypt Nutrition: New Zealand Experience. En: *Nutrition of Eucalypts*. Attiwill, P. y M. Adams (eds.). CSIRO Publishing Australia, pp 275-302.
- Kohl H. C. Jr.; Oertli J. J. 1961. Distribution of Boron in Leaves. *Plant Physiol.* 36: 420-424.
- Lovatt, C. J.; Albert, L.S.; Tremblay, G.C. 1981. Synthesis, Salvage, and Catabolism of Uridine Nucleotides in Boron-Deficient Squash Roots. *Plant Physiol.* 68: 1389-1394.
- Maffei A. R.; Silveira; R. L. V. A; Brito J. O. 2000. Reflexos das deficiências de macronutrientes e boro no crescimento de plantas, produção e qualidade de óleo essencial em *Eucalyptus citriodora*. *Scientia Forestalis*. 57: 87-98.
- Malavé Acuña, A. 2005. Los suelos como fuente de boro para las plantas. *Revista Científica UDO Agrícola* 5: 10-26.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; De Oliveira, S. A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2ª Edición. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 319 p.
- Marschner, H. 2005. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd. ed. London : Academic Press, 889 p.
- Martens, D.C.; Westermann, D.T. 1991. Fertilizer Application for Correcting Micronutrient Deficiencies. En: *Micronutrients in Agriculture*, 2nd ed. Soil

Science Society of America Book Series, N° 4, Published by: Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA, pp. 549-592.

Matoh, T. 1997. Boron in Plant Cell Walls. *Plant and Soil* 193: 59-70.

Méndez, A. 2003. Evaluación del estado nutricional en plantaciones de *E. globulus* Labill. ssp. *globulus*. Fac de Agronomía, Tesis Ing. Agr. 95 p.

Mengel, K.; Kirkby, E. A.; Kosegarten, H.; Appel, T. 2001. Principles of plant nutrition. 5th. ed. Edited by Konrad Mengel and Ernest A. Kirkby with the support of Harald Kosegarten and Thomas Appel. Dordrecht: Kluwer, 849p.

Mezuman, U.; Keren, R. 1981. Boron Adsorption by Soils Using a Phenomenological Adsorption Equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 722-726.

Mortvedt, J.J. 1994. Needs for Controlled-Availability Micronutrient Fertilizers. *Fertilizer Research*. 38: 213-221.

Mortvedt, J.J.; Woodruff, J.R. 1993. Technology and Application of Boron Fertilizers for Crops. En: Gupta U C (ed.), *Boron and Its Role in Crop Production*. Boca Raton, FL: CRC Press. pp 157 - 176.

Mortvedt, J.J. 1991. Micronutrient Fertilizer Technology. En: *Micronutrients in Agriculture*, 2nd ed. Soil Science Society of America Book Series, N° 4, Published by: Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA, pp. 523-548.

Mortvedt, J.J.; Cox F.R.. 1985. Production, Marketing and Use of Calcium, Magnesium, and Micronutrient Fertilizer. En: Engelstad, O.P. *Fertilizer Technology and Use*. Editor, Soil Science of Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA. pp 455-481

Oertli, J. J.; Roth, J. A. 1969. Boron Supply of Sugar Beet, Cotton and Soybean. *Agron. J.* 61: 191-195.

- Pate, J. S. 1975 Exchange of Solutes Between Phloem and Xylem and Circulation in the Whole Plant. En: Encyclopedia of Plant Physiology, new series. Springer-Verlag, New York. Vol. 1, Transport in Plants. I. Phloem Transport. Eds. M H Zimmermann and J A Miburn. pp 451-473.
- Peak, D.; Luther Iii G.; Sparks. D. 2003. ATR-FTIR Spectroscopic Studies of Boric Acid Adsorption on Hydrous Ferric Oxide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 67(14): 2551-2560
- Power, P. P.; Woods, W.G. 1997. The Chemistry of Boron and its Speciation in Plants. *Plant and Soil* 193: 1-13.
- Prado, J.; Toro, J. 1996. Silviculture of Eucalypt Plantations in Chile. En: Nutrition of Eucalypts. Attiwill, P. y M. Adams (eds.). CSIRO Publishing Australia, pp 357-369.
- Prasad, R.; Power, J. F. 1997. Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. Ed. CRC. New York. USA. 356p.
- Ramos, S. J.; Faquin, V.; Ferreira, R. M. A.; Araújo, J.L.; Carvalho, J. G. 2009. Crescimento e teores de boro em plantas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) cultivadas em dois latossolos sob influência de doses de boro e disponibilidade de água. *Revista Árvore*. 33: 57-65.
- Reali, P. 2000. Daños por falta de Boro. Disminución de la rentabilidad forestal en *E. globulus* ssp. *globulus* en el Sureste del Uruguay. *Forestal* 15: 25-27.
- Redondo Nieto, M.; Bonilla, I; Bolaños, L. 2009. El boro (B) y la relación boro-calcio (B-Ca²⁺).
http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/bolarios/Investigacion/boro.htm.
Última visita: 10 de octubre de 2009.

- Rhoades, J. D.; Ingvalson, R. D.; Hatcher, J. T. 1970. Adsorption of Boron by Ferromagnesian Minerals and Magnesium Hydroxide. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 34: 938-941.
- Robertson, G. A.; Loughman, B. C. 1974. Reversible Effects of Boron on the Absorption and Incorporation of Phosphate in *Vicia Faba* L. *New Phytol.* 73: 291-298.
- Rojas, C.; Ruiz, R. 2003. Evaluación agronómica de diferentes fuentes de boro. *R.C. Suelo Nutr. Veg.* 3:1-7.
- Römheld, V.; Marschner, H. 1991. Function of Micronutrients in Plants. En: *Micronutrients in Agriculture*, 2nd ed. Soil Science Society of America Book Series, N° 4, Published by: Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA, pp. 297-328.
- Sah, R.; Brown, P. 1997. Techniques for Boron Determination and Their Application to the Analysis of Plant and Soil Samples. *Plant and Soil* 193: 15-33.
- Sakya, A.T.; Dell, B.; Huang, L. 2002. Boron Requirements for *Eucalyptus globulus* Seedlings. *Plant and Soil.* 246: 87-95.
- Savory, B.M. 1962. Boron Deficiency in Eucalyptus in Northern Rhodesia. *Empire Forestry Review* 41: 118-26.
- Sayagués, L.; Méndez, A. 2006. Deficiencia de boro en *E. globulus* ssp. *globulus* en Uruguay. *Forestal* 30:15-18
- Self, J. R. 1993. Soil Testing for Boron on Alkaline Soils. En: Gupta U C (ed.), *Boron and Its Role in Crop Production*. Boca Raton, FL: CRC Press. pp 125-135.
- Shorrocks, V. M. 1997. The Occurrence and Correction of Boron Deficiency. *Plant and Soil* 193:121-148.

- Silveira, R. L. V. A.; Moreira, A.; Takashi, E. N. 2004. Crescimento e sobrevivência de mudas de eucalipto sob doses de boro cultivadas em condições de viveiro e de campo. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, 28(2): 366-371.
- Silveira, R. L. V. A.; Moreira, A.; Takashi, E. N.; Sgarbi, F.; Branco, E. F. 2002. Sintomas de deficiência de macronutrientes e de boro em clones híbridos de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*. *CERNE (UFL)*, Lavras 8(2): 108-117.
- Silveira, R.L.V.A.; Takahashi, E.N.; Sgarbi, F.; Camargo, M.A.F; Moreira, A. 2000. Crescimento e estado nutricional de brotações de *Eucalyptus citriodora* sob doses de boro em solução nutritiva. *Scientia Forestalis*. 57: 53-67.
- Silveira, R.L. V. De A.; Gonçalves, A.N.; Krünger T.L. 1998. Estado nutricional de *Eucalyptus citriodora* Hook cultivado sob diferentes doses de boro e sua relação com a agressividade de *Botryosphaeria ribis*. *Scientia Forestalis* 53: 57-70.
- Sims, S.R.; Johnson, G.V. 1991. Micronutrients Soil Test. In: *Micronutrients in Agriculture* 2nd ed. Eds. J. J. Mortvedt, F. R. Cox, L. M. Shuman and R. M Welch. Soil Science Society America Book series Nº 4. pp 427-476.
- Stone, E.L. 1990. Boron Deficiency and Excess in Forest Trees: A review. *Forest Ecology and Management*. 37: 49-75.
- Su, C.; Suárez, D. 1995. Coordination of Adsorbed Boron: A FTIR Spectroscopic Study *Environmental Science & Technology*. Vol. 29: 302-311
- Tisdale, S.; Nelson, W.; Beaton, J.; Havlin, J. 1993. *Soil Fertility and Fertilizers*. 5a. ed. New York : MacMillan, 634 p.
- Tokeshi, H.; Guimarães, R.F.; Tomazello Filho, M. 1976. Deficiência de boro em *Eucalyptus* em São Paulo. *Summa Phytopathologica* 2: 122-126.

- Tsadilas, C.D.; Yassoglou, N.; Posmas, C.S.; Kallianou, C.H. 1994. The Availability of Soil Boron Fractions to Olive Trees and Barley and their Relationships to Soil Properties. *Plant and Soil* 162: 211-217
- Turner, J.; Lambert, M. 1996. Nutrient Cycling and Forest Management. In: *Nutrition of Eucalypts*. P.M. Attiwill and M.A. Adams (ed). CSIRO, Australia. pp 229-248.
- Villalobos, E. 2001. *Fisiología de la producción de los cultivos tropicales*. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 231p.
- Wild, A. 1992. *Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell*. Longman Group UK Limited, London. 1045 p.
- Xu, J.M.; Wang, K.; Bell, R.W.; Yang, Y.A.; Huang, L.B. 2001. Soil Boron Fractions and their Relationship to Soil Properties. *Soil Sci Soc Am J* 65: 133-138
- Yermiyahu, U.; Keren, R.; Chen, Y. 2001. Effect of Composted Organic Matter on Boron Uptake by Plants. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1436-1441.
- Yermiyahu, U.; Keren, R.; Chen, Y. 1995. Boron Sorption by Soil in the Presence of Composted Organic Matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:405-409
- Vail J.W., Parry M.S. and Calton W.E. 1961. Boron deficiency dieback in pines. *Plant and Soil* 14(4): 393-398.

VI. ANEXOS

NORMAS PARA LOS AUTORES

Agrociencia es una revista arbitrada de la Facultad de Agronomía y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), que publica artículos relacionados a las ciencias agropecuarias. Los artículos son enviados por el comité editor a dos revisores externos (*peer review*). Los trabajos deben ser enviados a la secretaria de la revista, de acuerdo a las Normas para los Autores. El material publicado se torna propiedad de esta revista y los autores son responsables por los conceptos e informaciones en sus artículos. Se autoriza la reproducción total o parcial del material que aparece en Agrociencia (Uruguay), con la obligación de citar la fuente. La mención de marcas comerciales no representa recomendación preferente por parte de la Facultad de Agronomía ni de INIA Uruguay.

Remisión y categorías de los artículos

Los trabajos deben ser inéditos, y se enviarán como archivos MS-Word® a los editores a: agrocien@fagro.edu.uy. El archivo se designará con el apellido y nombre del primer autor. Los trabajos pueden corresponder a las siguientes categorías:

Artículo de investigación: presenta resultados de investigación original. Pueden ir bajo la forma de Comunicación breve.

Revisión: corresponde al análisis y sistematización de resultados de investigaciones sobre un campo en el que el o los autores tienen comprobada trayectoria.

Nota técnica: incluye los resultados de investigación desde una perspectiva interpretativa y crítica sobre un tema específico, a partir de fuentes originales. Algunos ejemplos pueden ser la descripción de alguna región, una problemática socioeconómica rural o la situación de rubros de producción agropecuaria.

El artículo de investigación puede tener hasta 6.500 palabras en total, la comunicación breve y la nota técnica hasta 3.500 y la revisión hasta 8.500.

Presentación. Los trabajos se enviarán a doble espacio, con fuente Arial Narrow de 12 puntos. Las hojas se numerarán en el margen inferior derecho, y los renglones en el margen izquierdo.

Carátula. Figurará el título del trabajo, el apellido y nombre del autor/es (ej. Rodríguez Alvaro¹,...), el lugar de trabajo (identificado con el superíndice), la dirección postal y el correo electrónico del autor con el que se mantendrá la correspondencia. No deben figurar títulos académicos ni cargos laborales. Al pie de la carátula debe aparecer el título abreviado del artículo para el encabezamiento de las páginas.

Título y subtítulos. De no más de 15 palabras, el título del artículo va en minúscula y negrita, cuerpo 14, los subtítulos (Resumen, Introducción, etc.) en negrita con cuerpo de letra 12 y los títulos de tercer orden en cursiva sin negrita.

Resumen, Summary y palabras clave, key words. El resumen en español y el summary en inglés, de hasta 250 palabras, irán precedidos del título del trabajo en el idioma respectivo, y seguidos de las palabras clave o key words. Las palabras clave, hasta cinco, van en minúscula y separadas por comas. Las abreviaturas deben definirse cuando se mencionen por primera vez.

Idiomas y unidades. Los idiomas de la revista son el español y el inglés. Se utiliza el Sistema Internacional de Unidades (SI) y sus abreviaturas, además de unidades derivadas de éste de uso frecuente en el área en cuestión. Entre la cifra y la abreviatura de la unidad va un espacio (ej.: 89 kg, 37 °C).

Estructura del artículo. El texto del trabajo se organiza en: Introducción, Materiales y métodos, Resultados, Discusión, Agradecimientos, Bibliografía. Se podrán unificar Resultados y Discusión, e incorporar Conclusiones si se considera necesario.

Las citas bibliográficas en el texto se realizarán como [autor(es), año]. Cuando la cita tenga dos autores se usará «y» entre ambos (ej. Böger y Sandmann 1999). Cuando sean más de dos autores se mencionará el primero seguido de la expresión “*et al.*”. En la sección Bibliografía, se reproducirá el título y autores según el idioma original del trabajo (ej. Böger and Sandmann 1999). En el texto se debe sugerir el lugar de ubicación del cuadro o figura como: intercalar Cuadro o Figura X.

Cuadros y figuras. Los cuadros y figuras deben presentarse en formato MS-Excel®, en hojas independientes con numeración consecutiva, en Arial Narrow y en cuerpo 10 sin negritas (Cuadro 1, Cuadro n; Figura 1, Figura n, etc.). Figuras, tales como fotos y mapas, se presentarán en JPG, JPEG o GIF con resolución mínima 300 dpi y 10 cm de ancho, en blanco y negro.

En hoja aparte irán los textos correspondientes a los pie de figura, sin salto de página entre cada uno. En el encabezado de cuadros y pie de figuras aparecerán las abreviaturas usadas, aunque ya hayan sido definidas en el texto.

Bibliografía. Las referencias bibliográficas van al final del artículo. Los autores se ordenan alfabéticamente, y cuando se cita más de una publicación del mismo autor se ordenan cronológicamente a partir de la más nueva. Los nombres de las revistas deben ir completos. A continuación se detalla la forma de citar distintas fuentes.

Artículos de revistas. Autor (es), año. Título del artículo, nombre de la revista, número, página-página. Ejemplo: Zhang C., Laurent S., Sakr S., Peng L. and Bédu S. 2006. Heterocyst differentiation and pattern formation in cyanobacteria: a chorus of signals. *Molecular Microbiology* 59: 367-375.

Capítulos de libros. Autor (es), año. Título del capítulo. En: título del libro, apellido de los compiladores o editores (Ed/s.), casa editora, páginas consultadas (pp). Ejemplo: Barbulova A. and Chiurazzi M. 2005. A procedure for in vitro nodulation studies. En: *Lotus japonicus Handbook*. Ed. Márquez A. Springer, Netherlands. pp. 83-86.

Internet. Autor (es), año. Título del artículo. En: Nombre de la publicación electrónica, URL, fecha de consulta. Ejemplo: Gutiérrez, M. 2007. Siembra de olivos en el desierto palestino. En: *Agricultura Tropical*, <http://agrotropical.edunet.es>, noviembre 2006.

Corrección para la publicación. Las pruebas de imprenta se enviarán por vía electrónica a los autores para su corrección, y deberán ser devueltas dentro del plazo que se indique.