

BORO: UN NUTRIENTE POCO CONOCIDO (Revisión bibliográfica)

Silvia Ratto de Míguez (1)

Recibido: 13/4/82

Aceptado: 29/6/82

RESUMEN

Se efectuó una revisión bibliográfica acerca de los contenidos de boro en suelo, formas de combinación, movimiento, adsorción, factores que afectan su disponibilidad, función en planta, síntomas de deficiencias y métodos de determinación.

BORON: A RATHER UNKNOWN NUTRIENT (A review)

SUMMARY

A review and discussion about the contents of boron in soils, its forms of combination and interrelation, movement, adsorption, factors affecting its availability, its function in plants, deficiency symptoms and methods of determination, was made.

INTRODUCCION

La presencia del boro y posterior comprobación de la esencialidad del mismo para el desarrollo vegetal, (Sommer y Lipman, 1926, Somer, 1927) y la detección de deficiencias en plantas, en países de los cinco continentes, ha impulsado el interés por el estudio de este elemento. Es muy poco lo que se conoce, tanto en lo que concierne a

su comportamiento como a las relaciones que mantiene en suelos y en plantas, a pesar de los numerosos esfuerzos que se le han dedicado en los últimos sesenta años. Dentro de los seis microelementos reconocidos, las deficiencias de boro son las más ampliamente difundidas (Reisenauer *et al.*, 1973).

En la Argentina, hasta el presente, se han realizado muy pocos trabajos, debido posiblemente a las dificultades que presenta la determinación de este elemento. Mizuno *et al.* (1976) trabajando con suelos de Perga-

(1) Cátedra de Edafología, Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Av. San Martín 4453, (1417) Buenos Aires, Argentina.

mino, General Pinto, Villegas, (provincia de Buenos Aires), Anguil, General Pico (provincia de La Pampa) Los Ralos (provincia de Tucumán) y Aimogasta (provincia de La Rioja) detectaron buenos niveles de boro disponible para la mayoría de los cultivos.

El objetivo de este trabajo es hacer una revisión de la información más o menos reciente referida al boro como nutriente, teniendo en cuenta aspectos tales como estado en el suelo, factores que afectan su disponibilidad, relación con las plantas y métodos de determinación.

EL BORO EN LA NATURALEZA

La cantidad de boro en rocas ígneas es muy errática, (Harder, 1959; Krauskopf, 1972), y probablemente la concentración es mayor en rocas graníticas que en basaltos y volcánicas que plutónicas de similar composición aunque hay una gran variación. La turmalina es el mineral de boro más difundido. A pesar de ello, no es muy eficiente en el aprovisionamiento, ya que se disuelve muy lentamente. Los boratos de calcio y sodio fácilmente disponibles en suelo provienen en su mayoría de este mineral (Bowen, 1977). La turmalina es un borosilicato complejo que puede estar presente como mineral accesorio en rocas graníticas. Es abundante en diques de pegmatitas, bordes de rocas intrusivas y en zonas de metamorfismo de contacto (Krauskopf, 1972). El contenido de boro en agua de mar es muy alto, de aproximadamente 4 ó 5 ppm, (Mason, 1952). Los suelos derivados de sedimentos marinos contienen probablemente más boro que los derivados de rocas ígneas (Harder, 1959; Bradford, 1966). El boro se conserva en el suelo durante los procesos de sedimentación y formación debido a que está presente en un mineral tan resistente como la turmalina (Shorrocks y Phil, 1974).

La mayor parte de los boratos que en el suelo son aprovechables por las plantas, provienen de la descomposición de la materia

orgánica (Berger y Pratt, 1963) y de sedimentos marinos (Bowen, 1977). En ambos casos es necesaria la presencia de microorganismos que efectúen las transformaciones correspondientes. Otra fuente poco importante de aporte de boro puede ser el agua de lluvia (Berger y Pratt, 1963).

BORO EN EL SUELO

Todo el boro soluble en el suelo, provenga de la turmalina, de otros minerales o de fertilización, es lavado rápidamente. Ello explica por qué, suelos de zonas con altas precipitaciones suelen ser deficientes en este elemento. Gupta y Cutcliffe (1978), fertilizando suelos podzoles recuperaron (**) sólo el 38 por ciento del B aplicado al voleo en los primeros 15 cm, cinco meses después de la aplicación. Las pérdidas de B contabilizadas en un lisímetro sobre rendzinas en Polonia, estuvieron en relación con la estación del año y variaron considerablemente de un año a otro. El promedio de pérdida de los cuatro años del ensayo fue de 253 mg B/ha (Misztal y Magierski, 1979). Problemas de toxicidad por cantidades excesivas de boro en el suelo no son frecuentes en la naturaleza. Es habitual, en cambio, encontrar suelos cuyas cantidades se han vuelto tóxicas debido al riego con aguas de elevados tenores de este micronutriente (Branson, 1976). Un ejemplo lo constituyen en la Argentina las tierras irrigadas con las aguas del río Bermejo en la provincia de La Rioja. Prather (1977) propone como posible solución para los casos mencionados, (*) la aplicación de ácido sulfúrico concentrado que provoca una movilización del boro, y un lavado posterior del mismo hacia horizontes más profundos. Alcalinizando nuevamente, la readsorción es mínima y se explica por la pérdida de los hidróxidos de hierro y aluminio. Se han esta-

* En un trabajo realizado en laboratorio.

** Como B soluble en agua caliente.

blecido correlaciones positivas entre el boro soluble en agua y la conductividad eléctrica, especialmente en suelos irrigados con aguas de alto tenor salino o suelos salino sódicos. Gajbhiye *et al.* (1980) encuentran una correlación positiva entre B soluble en agua caliente y conductividad eléctrica para suelos de bajo contenido salino y establecen una ecuación para predecir el nivel de boro de esos suelos considerando como variables a la conductividad y al valor limo más arcilla.

El boro total puede concentrarse en el horizonte superficial o en los inferiores, dependiendo de la evolución que ha sufrido ese suelo. La fracción de boro soluble en agua caliente, considerada como disponible, se encuentra en suelos bien drenados concentrada en el horizonte superficial (Hodgson, 1963), lo que determina que en condiciones de sequía las plantas puedan sufrir deficiencias de B por la imposibilidad de absorberlo a partir de la solución del suelo. Algo de B se exporta a través de las cosechas, pero las cantidades son muy pequeñas ya que también lo son las absorbidas por el vegetal. Bowen (1977), calcula que un cultivo de alfalfa que contenga 28 ppm del nutriente y produzca una cosecha de 6 tn/ha, le está extrayendo al suelo menos de 0,2 kg/ha.

FORMAS DE COMBINACION

La planta obtiene el boro de la solución del suelo (Hatcher *et al.*, 1959). El B presenta un comportamiento diferente al de la mayoría de los otros nutrientes minerales considerados esenciales, ya que está presente en la solución del suelo, dentro del rango de pH en que crecen las plantas, como molécula no ionizada (Lindsay, 1972). Cuando los valores de pH son mayores de 9,2; el anión $H_2BO_3^-$ sería la forma predominante. Para muchas especies vegetales, las concentraciones requeridas para un buen desarrollo son poco menores de las que producen toxicidad (Berger, 1949; Wilcox, 1960). Es por ello que reviste especial interés la distribución del boro entre

el suelo y la solución del suelo (Hingston, 1964). El boro total depende de los materiales parentales y el soluble o disponible para las plantas de sus formas y retención en el suelo (Shorrocks y Phil, 1974). Hingston (1964) siguiendo a Eaton y Wilcox (1939) y Philipson (1953), considera que las reacciones posibles entre el B y los componentes del suelo serían las siguientes:

- Sorción de iones boratos,
- Sorción de moléculas de ácido bórico,
- Formación de complejos orgánicos,
- Precipitación de boratos insolubles con Al y Si,
- Entrada del B en el enrejado de las arcillas.

Adsorción

El boro adsorbido está relacionado con la cantidad y tipo de arcilla (Hingston, 1964). Trabajando con suelos australianos, este investigador encontró que, dentro del rango de valores comunes de pH, la illita era el material que más boro adsorbía, la montomorillonita adsorbió cantidades apreciables a valores de pH altos, y la caolinita fue la menos efectiva. Los suelos de textura fina tuvieron mayor poder de adsorción que los de textura gruesa, (Olson y Berger, 1946, Mezuman y Keren, 1981), demostrando que los sitios de adsorción están localizados en la fracción arcilla del suelo. El boro es adsorbido por los suelos con mayor fuerza que otros aniones tales como Cl^- y NO_3^- , y de manera semejante a la de los metales pesados y no a la de los aniones (Hodgson, 1963; Ellis y Knezek, 1972). Hatcher, Bower y Clark, (1967), mostraron que grandes cantidades de boro fueron precipitadas por hidróxidos de Al y que el B retenido por los suelos estaba relacionado con el aluminio intercambiable que había precipitado al encalar. Además, los precipitados de hidróxido de Al recientes eran capaces de adsorber más boro que el mismo material envejecido siete días. Sims y Bingham (1968) y Bingham *et al.* (1971), estudiaron la adsorción de boro en suelos con hidróxi-

dos de Fe y Al y afirmaron que una fracción considerable podría estar retenida en los óxidos libres. La adsorción inicial de B sobre las arcillas minerales, puede estar seguida por una lenta difusión del elemento dentro del enrejado y finalmente sustituir en la estructura a los iones Al^{3+} y/o Si^{4+} (Couch y Grim, 1968). La adsorción de boro se halló íntimamente ligada al pH del suelo (Olson y Berger, 1946; Hingston, 1964; Okazaki y Chao, 1968) y la concentración de B en la solución del suelo (Hingston, 1964; Bingham *et al.*, 1971). El fenómeno de retención resultó dependiente del pH y fue máximo, para hidróxidos de Fe a pH 8-9 y para hidróxidos de Al a pH 7 (Sims y Bingham, 1967 y 1968). Un aumento de pH trae aparejado, en consecuencia, un incremento de la adsorción de boro y ese adicional adsorbido podría ser liberado por acidificación al valor original de pH (Olson y Berger, 1946). Para Okazaki y Chao (1968), en cambio, el fenómeno de adsorción-desorción no sería fácilmente reversible y ello sería índice de los varios tipos de unión que se conjugan entre el adsorbente y el adsorbato. La adsorción es un fenómeno rápido y aparentemente reversible (Hingston, 1964). La ecuación de Langmuir ha sido aplicada por numerosos investigadores (Hatcher y Bower, 1958; Biggar y Fireman, 1960; Hingston, 1964; Bingham *et al.*, 1971) para explicar y cuantificar los equilibrios entre el B disuelto y el adsorbido, a pesar de que no satisface plenamente, especialmente con altas concentraciones y elevados valores de pH.

Keren *et al.* (1981), en un intento por hallar una fórmula que permita variar el pH y la concentración del elemento en solución, proponen una ecuación fenomenológica simple con las variables mencionadas. Consideran que las moléculas de BO_3H_3 , los iones boratos $B(OH)_4^-$ y los OH^- , compiten por los mismos sitios de adsorción. Para la montmorillonita, calculan que el máximo valor de adsorción se produce a pH 9,3. Mezuman *et al.*, (1981), aplicando el modelo mencionado, calculan coeficientes para determinar adsorción en suelos de diferente textura, con distinto contenido de sesquióxidos, arcillas mi-

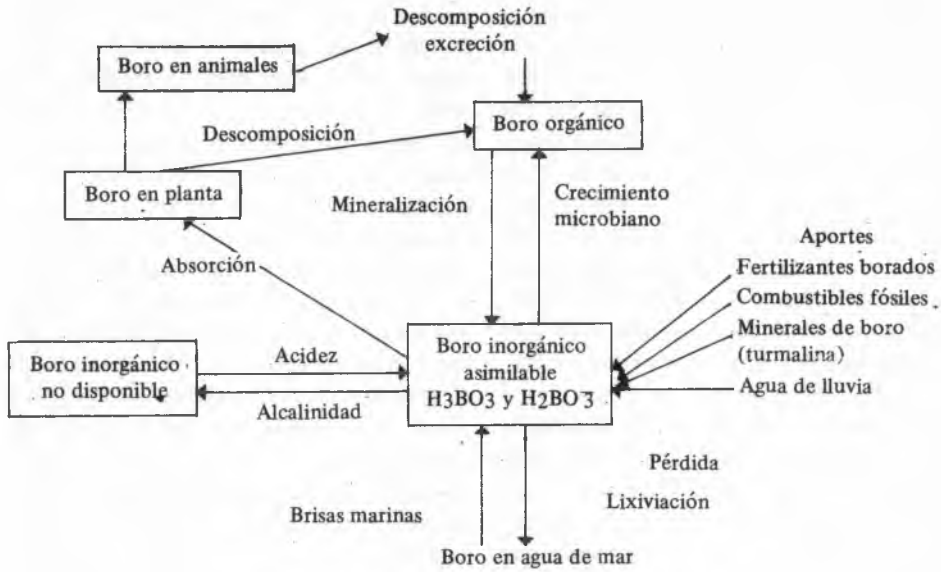
nerales y limos como una función del pH. Otros investigadores han preferido utilizar las isoterms de adsorción de Freundlich por considerar que son válidas para un rango más amplio de concentraciones que las de Langmuir.

Midgley y Dunklee (1939), sugieren que los iones alcalinos y alcalino-térreos, en suelos ácidos, colaboran activamente en la fijación de boratos. Parks y White, (1952), sostienen que la identidad de los iones intercambiables tiene influencia en el fenómeno de adsorción. El secado del suelo aumentó la fijación de B (Berger, 1949; Biggar y Fireman, 1960). Keren y Gast (1981), además de encontrar el efecto del incremento de adsorción, propusieron que el fenómeno de secado disminuye la reversibilidad del proceso. La materia orgánica es otro de los factores que, según algunos investigadores (Midgley y Dunklee, 1939; Parks y White, 1952), juega un activo papel en la adsorción de boro. El boro adsorbido, a través del equilibrio que se establece con otras formas más solubles del elemento, controla, en un gran número de suelos, la disponibilidad para las plantas.

Interrelación de las formas del boro

En el esquema 1 se intentan relacionar, básicamente, las formas de boro más comunes en la naturaleza.

Se consideran las vías de aporte de B al suelo siendo la más importante, en la mayoría de los suelos, la turmalina. El boro inorgánico, absorbido por la planta o los Microorganismos como H_3BO_3 ó $H_2BO_3^-$ pasa a boro orgánico y luego, por el proceso de mineralización, puede transformarse en B inorgánico. Berger (1949) y Fleming (1980), consideran que al descomponerse las plantas y/o animales liberan B disponible en compuestos orgánicos y estos productos estarían en equilibrio con el B inorgánico no disponible y con las formas orgánicas no disponibles en forma temporaria. El boro inorgánico no disponible engloba principalmente al B absorbido y su equilibrio depende de la reac-



Esquema 1: Interrelación de las formas de boro

ción del suelo. En zonas costeras, la brisa marina cargada de humedad y el agua de lluvia pueden ser una vía de aporte.

FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DEL BORO

Cook y Millar (1939), sostuvieron que el factor menos importante de los que influían en la disponibilidad del B podía ser el contenido en el horizonte superficial, interesando más la permeabilidad del horizonte subsuperficial y factores tales como provisión de calcio, materia orgánica y textura del suelo. Importa considerar además al pH, tal vez el factor de mayor incidencia, condiciones ambientales, presencia de otros nutrientes y características genéticas del vegetal.

pH

Naftel (1937) y Midgley y Dunklee (1939) hicieron referencia a la disminución de B disponible en el suelo cuando se efectuaba una

recuperación de suelos ácidos por encalado. Berger y Truog (1945) trabajaron con suelos vírgenes y cultivados y establecieron que la máxima disponibilidad de B se producía entre pH 6,7 y 7,1; comprobando que con el aumento de pH había un incremento del proceso de fijación. Wear y Patterson (1962), coincidieron al afirmar que la adsorción aumentaba a medida que lo hacía el pH y que una mayor dosis de B en el suelo incrementaba el contenido en planta. La disponibilidad y absorción del micronutriente por el vegetal fue menor en suelos calcáreos; tomando en consideración al boro nativo o a éste y el proveniente de fertilizaciones (Peterson y Neuman, 1976). Hingston (1964), Okazaki y Chao (1968), Bingham *et al.* (1971) y Bartlett y Picarelli (1973), estudiaron la adsorción de boro y encontraron al fenómeno íntimamente dependiente del pH. En un trabajo realizado con *Coronilla varia* L., la concentración de boro en planta se redujo considerablemente con el aumento de pH del suelo producido por encalado y aumentó con el incremento de las dosis de B (Bennett y Mathias, 1973). La relación entre absorción de boro y pH es definida cuando se hace referencia a valores

altos de pH pero no guarda idéntico comportamiento a valores menores de 7. Mizuno *et al.* (1976) hallaron correlación positiva entre el B soluble en agua caliente y el pH únicamente cuando consideraron los valores que estaban por encima de la neutralidad. Gupta (1968), en suelos podzoles con valores de pH entre 4,5 y 6,5, no encontró asociación con valores de B soluble en agua caliente. La reducción en la disponibilidad del micronutriente para la planta al encalar suelos ácidos, sería una consecuencia de la variación de pH y no de la acción del calcio en sí mismo (Hatcher *et al.*, 1967). Sin embargo, bajo ciertas condiciones, el calcio incrementó la fijación. Gupta y MacLeod (1981), condujeron ensayos para relacionar el pH del suelo y fuentes de calcio y magnesio en relación a la absorción de B por las plantas; encontraron que en rábano, la incidencia del "corazón manchado" ("brown heart") era más grave en los tratamientos que recibieron CO_3Ca y Mg que en otros con SO_4Ca y Mg. En tejidos de hoja, las concentraciones de B fueron menores a altos valores de pH cuando se aplicó CO_3Ca y Mg que a valores menores en donde el agregado se hizo como SO_4Ca y Mg, en todos los casos sin fertilización con B. Las concentraciones finales de Ca y Mg en tejidos vegetales fueron similares.

Materia Orgánica

Berger y Truog (1945), observaron que los suelos con altos contenidos de materia orgánica contenían apreciable cantidad de B soluble en agua caliente, mientras que los que tenían poca ofrecían también bajos valores de B disponible. Estos investigadores hallaron correlación positiva entre B y materia orgánica en horizontes superficiales y sostuvieron que en suelos ácidos es la materia orgánica la principal responsable de los niveles de B asimilable. Berger y Pratt (1963), coincidieron al afirmar que una gran parte del B total estaba combinado con la materia orgánica a través de uniones muy fuertes que se habían establecido durante el desarrollo ve-

getal. Parks y White (1952), estudiaron la retención de B por arcillas y humus saturados con diferentes cationes y propusieron la formación de complejos con compuestos dihidroxi de la materia orgánica como mecanismo posible para explicar gran parte de la retención de boro. Midgley y Dunklee (1939) sugirieron la hipótesis de que la materia orgánica activada en presencia de cantidades de calcio podía ser una vía de fijación de boro. En suelos ácidos, la materia orgánica ejerce una fuerte influencia en la disponibilidad de boro, mientras que en suelos alcalinos los efectos de la materia orgánica están generalmente subordinados a los del pH y calcio disponible (Berger y Truog, 1945). En regiones húmedas, donde cualquier sal soluble es rápidamente lixiviada, el boro disponible es principalmente retenido en la fracción orgánica. La materia orgánica por lo tanto puede ayudar a minimizar la pérdida de boro de esos suelos y al mismo tiempo mantener a este elemento en una forma razonablemente disponible (Fleming, 1980). Los resultados de Milijkovic *et al.* (1966) indicarían que un aumento del boro soluble en agua asociado con el pH es mayor en suelos con alto contenido de materia orgánica, contraponiéndose a los datos obtenidos por la gran mayoría de los investigadores como ellos mismos lo indican. Mizuno *et al.* (1976) en experiencias con suelos argentinos no hallaron correlación positiva entre B soluble en agua caliente y materia orgánica. Bingham *et al.* (1971) consideraron que el efecto de la materia orgánica en la adsorción de B para suelos con predominancia de materiales amorfos era muy pequeño. De lo expuesto, surge que la relación entre el B y la materia orgánica dista mucho de ser clara y que ciertas afirmaciones válidas para determinados suelos pueden no serlo para otros.

Textura del suelo

En 1939, Cook y Millar y Olson y Berger en 1946, ya consideraban a la textura del suelo como un elemento a tener en cuenta al

considerar la disponibilidad de B. Rogers (1947), sostuvo que el valor de 0,15 ppm de boro soluble en agua caliente en suelos de textura gruesa, era el límite por debajo del cual se esperaba respuesta a la fertilización para algunas legumbres, y que ciertos cultivos eran más susceptibles de sufrir efectos tóxicos por fertilización en suelos arenosos que en arcillosos. Coincidiendo con esta aseveración, Wear y Patterson (1962) que estudiaron especialmente la influencia de la textura en la disponibilidad de boro, encontraron que suelos de textura fina requirieron mayor cantidad de B para corregir deficiencias que suelos de textura gruesa. En suelos de Canadá, Gupta (1968), detectó menores valores de B soluble en agua caliente en suelos de textura fina que en otros de textura gruesa. Además, teniendo en consideración los valores de B total, fueron mayores los porcentajes de B disponible en textura fina que en textura gruesa. Las menores cantidades de boro presentes en suelos arenosos, podrían estar relacionadas con una menor adsorción y consecuentemente mayor lavado del B que se va solubilizando. Los materiales finos del suelo, arcillas minerales y en especial las derivadas de micas, óxidos e hidróxidos de Fe y Al y minerales de Mg, varían notablemente en su capacidad de fijación de boratos y en el pH al cual se produce la máxima adsorción (Hingston, 1964; Hatcher *et al.*, 1959; Sims y Bingham, 1967 y 1968; Bingham *et al.*, 1971; Rhoades *et al.*, 1970; Hingston *et al.*, 1972).

Macronutrientes y relación Ca:B

Chapman y Vanselow (1955), aconsejaron aplicaciones de N para beneficiar citrus con excesos de B. Gupta *et al.* (1976), agregaron cantidades crecientes de N y B a plantas de trigo y cebada en prefloración tardía. En el ensayo de invernáculo el N resultó efectivo en el control de excesos de B pero no se obtuvo similar respuesta en el ensayo a campo. Parecería, de acuerdo a los resultados, que las aplicaciones de N serían útiles para

aliviar problemas de toxicidad por excesos de B en suelos con bajo contenido de N. El B y el P presentaron comportamientos similares en los experimentos realizados por Bartlett y Picarelli (1973) y ello sustentaría la hipótesis de que ambos estaban retenidos por mecanismos similares y dependientes del pH. Los boratos y fosfatos precipitaron o fueron adsorbidos por hidróxidos de Al cuando éstos comenzaron a precipitar debido al aumento de oxhidrilos en el medio por acción del encalado. Los resultados de Reeve y Shive (1944), demostraron que el Ca y el K acentuaban los síntomas de deficiencias de B en plantas de tomate. La toxicidad por B disminuyó al aumentar el Ca pero se incrementó cuando las cantidades de K superaron el óptimo. Hill y Morrill (1975) estudiaron la interacción del B con variaciones en las concentraciones de Ca y K en maní. Gupta (1979) encontró que aplicaciones de azufre disminuyeron el contenido de B en alfalfa y nabo pero no tuvieron efecto sobre otros varios cultivos por lo que sugirió la posibilidad de que el comportamiento de las distintas especies fuese variable. Parecería que la influencia del B en la absorción y transporte de los macronutrientes sería indirecta a través del menor desarrollo de la planta ante la escasez del microelemento, pero habría indicios de un vínculo diferente con el K (Alvarez-Tinaut *et al.*, 1979, a).

Jones y Scarseth (1944), sostuvieron que las plantas crecen normalmente cuando hay un cierto balance en la absorción de Ca y B. En suelos ácidos, con bajos contenidos de Ca asimilable, pequeñas aplicaciones de B al suelo causaron graves daños a las plantas. En suelos alcalinos, con elevados contenidos de Ca, las plantas tuvieron mayores requerimientos de B que en suelos ácidos. Reeve y Shive (1944), en plantas de tomate, encontraron que la relación Ca:B disminuía marcadamente al aumentar la concentración de K. Fox (1968) trabajó con plantas de algodón y de alfalfa que desarrollaban en suelos con más de 25 ppm de B soluble en agua caliente. No hubo aparición de síntomas de toxicidad y el autor lo atribuyó a los altos niveles

de Ca y al elevado pH que redujeron la absorción en un 50 por ciento en algodón, presentando alternativas de mayor o menor validez para explicar los mecanismos fisiológicos actuantes. Jones y Scarseth (1944), propusieron una relación Ca:B para el tabaco de 1200, en términos de peso equivalente de cada elemento. Para la soja, dieron un valor de 500 y 100 para la remolacha azucarera. Gandhi y Metha (1959), afirmaron que diferentes plantas tienen su propia relación Ca:B para desarrollarse en óptimas condiciones y las calcularon para cinco cultivos comunes de Gujarat, India, en condiciones de muy altos y bajos niveles de B. La relación Ca:B por sí misma no indica si un valor bajo es causado por una deficiencia de Ca o toxicidad de B. No se le debe dar, entonces, a este valor, la misma importancia que a los niveles de cada elemento separadamente.

Micronutrientes

Son muy poco conocidas las relaciones del B con otros micronutrientes. Un estudio preliminar, llevado a cabo con plantas de girasol en invernáculo, supuso que una acción primaria del B estaría relacionada con la absorción de Mn pero no con su transporte desde o hacia las hojas. Hubo correlación negativa significativa entre la cantidad de Mn en hoja y B en solución (Gómez Rodríguez *et al.*, 1981). En solución nutritiva, aportes anormales de B provocaron disminución en la absorción de Zn y excesos favorecieron el transporte de Zn hacia el brote (Alvarez-Tinaut *et al.*, 1979, a).

Factores ambientales

La intensidad de la luz tal vez sea el factor más importante dentro de los que regulan las exigencias nutricionales de las plantas. Aumentando la intensidad luminosa de 1000 lux a 5500 lux, las necesidades de la planta aumentaron de 1 a 13 ppm (Tanaka, 1967) Warington (1933), citado por Cokç y Whit-

tington (1968), estudió la influencia de la duración del día en relación a la respuesta a fertilizaciones con B. Plantas de "día largo" fueron más susceptibles a deficiencias de B que las de "día corto".

Con el aumento de la temperatura (Bennett y Mathias, 1973), las deficiencias de B se acentuaron, obteniéndose el desarrollo óptimo de la planta en un nivel intermedio (23,9°C día y 18,3°C noche).

En épocas de sequía pueden manifestarse o agravarse los síntomas de deficiencias de B. Ello sería consecuencia de una disminución de la población microbiana capaz de liberar B y de la menor disolución a partir de la turmalina (Bowen, 1977). En muchas áreas se observaron deficiencias sólo en las estaciones secas o a fines del verano cuando la humedad del suelo es baja (Lucas y Knezek, 1972).

Genotipo

La variabilidad genética es un arma de enorme importancia para conseguir la adaptación de plantas a determinadas condiciones ambientales. En el caso específico del B, algunas plantas pueden crecer y alcanzar un óptimo estado en idénticas condiciones en que otras se ven dañadas por niveles excesivos de B. Como ha sido demostrado en plantas de tomate con los cultivares T3238 (B ineficiente) y "Rutgers" (B eficiente), la susceptibilidad a las deficiencias de B es controlada por un gen recesivo simple (Wall y Andrus, 1962), habiendo dominancia completa para el fenotipo normal. La diferencia entre ambos genotipos consiste en la capacidad para transportar B desde las raíces hacia la parte aérea de la planta como fue confirmado por Brown *et al.* (1972) y no en la capacidad para utilizar B por la parte aérea.

FUNCION DEL BORO EN LA PLANTA

La esencialidad del B para el desarrollo y crecimiento de las plantas es un hecho re-

conocido, pero el rol preciso que cumple está aún oscuro, Shive (1941) demostró que las monocotiledóneas contienen más B que las plantas de hoja ancha, aunque hay numerosas variaciones. Las legumbres absorben, en general, grandes cantidades y parecerían ser muy sensibles a excesos. La susceptibilidad a las deficiencias de B varía entre especies, y el hecho de tener altos requerimientos no se halla asociado con gran tolerancia a excesos, (Bowen, 1977; Shorrocks y Phil, 1974; Fleming, 1980). Las especies tolerantes acumulan boro más lentamente que las sensibles (Oertli y Kohl, 1961). La absorción de B se ve afectada en condiciones de alcalinidad y ello puede obedecer a daños en los mecanismos fisiológicos de absorción (Fox, 1968). El boro tiende a acumularse en hoja (Eaton, 1944). Un aumento de la concentración de B desde la base hacia la parte superior de la planta se halló en *Lilium longiflorum* Thunb. var. Ace (Kohl y Oertli, 1961) y fue mayor en el extremo apical de la hoja que en la base de la misma. La actividad meristemática, desarrollo de paredes celulares y traslocación de azúcares, parecen tener íntima relación con la presencia del B en la planta (Shorrocks y Phil, 1974). La discusión acerca de si el boro es o no partícipe de algún sistema enzimático sigue aún vigente. Estudios de Dugger y Humphreys (1960) pusieron en evidencia la participación del B en reacciones enzimáticas correspondientes a la síntesis de almidón y de otros azúcares, favoreciendo en algunos casos la acción de enzimas como la UDPG pirofosforilasa e inhibiendo en otros, como en la UDPG transglicolasa. En 1977, Birnbaum *et al.* sugirieron que las deficiencias de B causan una reducción en la síntesis de UDP glucosa. Las carencias del microelemento causaron un aumento temporario seguido por una disminución en la incorporación de glucosa en sustancias pécticas (Slack y Whittington, 1964; Coke y Whittington, 1968).

Una de las muchas teorías acerca del rol del boro en el metabolismo de las plantas, propugna su intervención en el mantenimiento del nivel hormonal.

El ácido indol acético inhibe el crecimiento de las raíces y aumenta la severidad de las deficiencias de B. Los boratos ejercerían una función de protección de la indol acético oxidasa (Coke y Whittington, 1968). Las investigaciones de Gauch y Dugger, (1953) y Sisler, *et al.*, (1956) indicaron que el boro acrecentaba la absorción y translocación de azúcares. La detención del crecimiento por falta de boro no es debida a un déficit de hidratos de carbono afirmaron Yih y Clark, (1965), en contraposición a los trabajos anteriores. Montalvo Zapata (1973) trabajando en caña de azúcar, encontró que cuando el B era insuficiente, disminuía la producción de sacarosa en las hojas y, contrariamente a lo que sucede con la mayoría de los micronutrientes, no influía negativamente en el transporte, sino en un paso previo a la formación del azúcar. Odhonnoff (1961) consideró que el boro estaba implicado en las uniones de paredes celulares de células contiguas. El trabajo de Slack y Whittington (1964), coincidió con esta aseveración y sugirió que el B no era requerido por enzimas específicas que participaban en la síntesis de paredes celulares, pero que los iones borato actuaban como agentes cementantes entre los polisacáridos de las paredes celulares. El ácido bórico y los compuestos organoboro (fenolbóricos) promovieron el crecimiento de raíces cuando se incorporaron a una solución nutritiva sin B de raíces de porotos y habas (Wildes y Neales, 1969). Alber y Wilson (1961) observaron desintegración del protoplasma de algunas de las células corticales cuando se transfirieron plantas de tomate de una solución nutritiva completa a otra carente de B, lo que reforzaría las tesis que sostienen la influencia del boro sobre los primeros estadios del desarrollo celular en raíces de tomate. Altas concentraciones de B produjeron, en ápices radicuales de Vicia faba, una marcada diferenciación de la vesícula de Golgi, diferenciación de protoplastidos y mitocondrias atípicas. Aumentando el tiempo de incubación y la concentración de B, progresó una destrucción del retículo endoplasmático y del aparato de

Golgi (Herich y Hudak, 1979). Deficiencias de B resultaron en colores marrones en los tejidos de plantas y se lo relacionó con la acumulación de compuestos polifenólicos (Slack y Whittington, 1964). Debido a la posibilidad del B de asociarse con el ácido 6-fosfogluconico, se formaría un sustituto que inhibiría la acción de la 6-fosfogluconato dehidrogenasa. En ausencia de boratos, la enzima actúa libremente formándose ácidos fenólicos. Estos, a su vez, se unirían al borato desarrollando un sistema autocatalítico y produciendo un exceso de ácidos fenólicos que serían los causantes de la necrosis y muerte del tejido en la planta (Lee y Aronof, 1967). Lewis (1980, a) sostiene que el desarrollo de un papel esencial del B, fue un prerequisite para la evolución de plantas traqueófitas a partir del prevasculares, ya que a *prima facie*, un papel primario del B estaría relacionado a la biosíntesis de lignina y, en conjunción con las auxinas, a la diferenciación del xilema. El hecho de que la germinación *in vitro* del polen de muchas angiospermas, a diferencia de varias especies pertenecientes a las gimnospermas, necesite un agregado externo de boro; y que el tejido de los estilos y estigmas sea muy rico en el micronutriente, hace pensar en la necesidad del boro para la germinación del polen en angiosperma y el éxito evolutivo de las mismas (Lewis, 1980 a y b). Es muy escasa la información sobre mecanismos de absorción de B por tejidos vegetales a partir de experimentos de absorción controlados y de corta duración. Se encontraron interacciones complejas entre B y otros nutrientes en experimentos de larga duración, que no alcanzan a explicar el mecanismo de absorción (Moore, 1972). La absorción y transporte de B por la planta es un proceso pasivo (Kohl y Oertli, 1961). El B se mueve pasivamente en la corriente transpiratoria y la distribución de B en la hoja puede ser explicada considerando los parámetros físicos del sistema. La hipótesis de que el B se mueve principalmente dentro de la hoja con la corriente transpiratoria causando una distribución despareja del elemento, explicaría el estrecho rango existente entre concentracio-

nes deficientes y excesivas (Oertli y Kohl, 1961). Oertli, (1962), estudió en hojas de plántulas de cebada la pérdida de B por gutación. Los resultados fueron interpretados como una confirmación del movimiento del B junto con la corriente transpiratoria y de la falta de mecanismos de fijación o precipitación que expliquen su inmovilidad. El mecanismo de pérdida por gutación puede ser de utilidad para reducir la incidencia de los excesos del elemento (Oertli, 1962). La influencia del B sobre el valor nutritivo de granos u otros frutos no está aún clara y serían deseables estudios sobre su relación con el contenido proteico y otros componentes orgánicos, (Gupta *et al.*, 1976).

NIVELES CRITICOS, SINTOMAS DE DEFICIENCIA Y TOXICIDAD

La utilización de los niveles críticos, para el caso del B, tienen un valor relativo. Montalvo Zapata (1973), en caña de azúcar, encontró que una baja provisión del nutriente era decisiva, en cuanto a crecimiento y calidad de la caña, a niveles subclínicos. En nabo, (Gupta, 1979, a) la calidad se vió severamente dañada sin que ello se viese reflejado en el rendimiento. Las diferentes especies y cultivares difieren notablemente en sus requerimientos y sensibilidad a excesos de B. La diferencia entre nivel adecuado y deficiente es menor que para cualquier otro nutriente. (Reisenauer *et al.*, 1973).

Para hacer referencia a valores de B en planta, interesa la parte del vegetal muestreada, edad, posición y parte de la hoja. La distribución del B dista de ser uniforme. Algunos investigadores han detectado niveles suficientes y/o excesivos en las partes más viejas mientras que en las hojas jóvenes o zona de meristemas aparecían síntomas de deficiencia. Oertli (1960) estudió la distribución de B en hojas de limón; los menores contenidos fueron encontrados en la nervadura central y en el pecíolo y los mayores en el ápice de la hoja. El patrón de distribución de

síntomas de toxicidad también está relacionado con el sistema de venación de la hoja (Oertli, 1960). Los mayores contenidos se determinaron en tejidos necróticos, siguiéndole las áreas amarillentas. Las clorosis y necrosis debidas a excesos de B en hoja, estuvieron causadas por un exceso del nutriente en el sitio del daño y no habría perjuicio indirecto por una acción del B a cierta distancia de la hoja (Oertli y Kohl, 1961). Ello explicaría por qué no hay reducción importante de los rendimientos en cultivos que presentan síntomas de toxicidad.

En términos generales, Bradford (1966) consideró que había deficiencias en un número importante de cultivos cuando los niveles de B en materia seca eran menores de 15 a 20 ppm, mientras que cantidades mayores de 200 ppm se relacionaron con toxicidad. Valores entre 25 y 100 ppm indicaron un nivel adecuado. Para suelos, los índices fluctuaron entre 0,3 y 0,75, dependiendo de la textura.

A semejanza del resto de los micronutrientes, excepción hecha del molibdeno, el B tiene muy poca movilidad dentro de la planta. Con excepción del algodón y nabo, (Adams, 1978) no hay redistribución a partir de las hojas más viejas hacia las jóvenes y puntos de crecimiento. Durante los primeros estadios de deficiencia, no hay signos visibles en muchos cultivos y únicamente se lo puede detectar a través del análisis foliar. La sintomatología es muy variable de acuerdo a la especie considerada. Síntomas típicos son una expansión foliar irregular e incompleta, distorsión de las hojas, falta de elongación de los entrenudos y aparición de múltiples ramificaciones axilares. Los pecíolos o tallos pueden engrosar, volverse corchosos, resquebrajarse horizontalmente y presentar áreas de necrosis húmeda. Los frutos, tubérculos y raíces presentan, en las partes carnosas, puntos oscurecidos, necrosis, rajaduras o podredumbres secas, necrosis húmeda o decoloración del sistema vascular (Shorrocks y Phil, 1974). La división celular no completa satisfactoriamente la separación de las células en mitosis. Eventualmente, los meristemas radicales y apicales mueren o pierden la funcio-

nalidad y luego de la pérdida de la dominancia apical se desarrollan ramificaciones anormales de las yemas axilares. (Shorrocks y Phil, 1974).

Plantas índices: Bradford (1966) considera al apio, coliflor, repollo y repollito de Bruselas como buenos indicadores de deficiencias de B. Entre las forrajeras, cita la alfalfa, trébol rojo y blanco por mostrar características en hoja, y considera a la manzana y pera como representantes válidos del grupo de frutales más sensibles.

Síntomas de deficiencia en algunas especies vegetales

(Recopilación de Bradford, (1966); Shorrocks y Phil, (1974) y otros)

a) Especies hortícolas

Papa (*Solanum tuberosum*): La planta adquiere una apariencia achaparrada por muerte de ápices y acortamiento de entrenudos. Las hojas superiores se endurecen, tienden a tomar un color verde oscuro y brillante. (Shorrocks, y Phil, 1974). En los tubérculos hay muerte de raíces principales y se estimula el desarrollo de raíces secundarias que luego mueren (Bradford, 1966). Presentan tamaño menor al habitual, se vuelven duros y quebradizos y, en condiciones severas, tanto el tejido vascular como la parte exterior toman color marrón oscuro (Shorrocks y Phil 1974). La papa está considerada como un cultivo semitolerante a los excesos de B (Eaton, 1944).

Zanahoria (*Daucus carota var. sativa*): Las deficiencias resultan en rajaduras longitudinales en raíces (Smilde y Luit, 1970; Gupta, 1979). Las hojas nuevas son pequeñas y a medida que la carencia aumenta puede haber muerte de los puntos de crecimiento. Es una especie semitolerante a los excesos del nutriente (Eaton, 1944).

Tomate (*Lycopersicum esculentum*): Las plantas lucen achaparradas por la aparición de ramas laterales que finalmente mueren. Las raíces son pobres y amarillentas o

marrones (Bradford, 1966). El llenado de los frutos es imperfecto y son frecuentes los frutos malogrados o la maduración desapareja (Shorrocks y Phil, 1974).

b) Especies forrajeras

Alfalfa (*Medicago sativa*): Las hojas terminales se ponen amarillo rojizas. Los entrenudos terminales se acortan dando apariencia de roseta, seguido por la muerte del brote apical (Colwell y Lincon, 1942; Bradford, 1966). La floración es tardía o está ausente. La deficiencia de B suele estar asociada con situaciones de estrés hídrico, por lo que el amarillamiento causado por falta de B es frecuentemente confundido con daños por sequía. La deficiencia de B en esta planta, si no es muy grave, pasa desapercibida y trae aparejada retardo en el momento de corte, baja calidad y, eventualmente, menor cantidad de heno. Es una especie semitolerante a los excesos de B (Eaton, 1944).

Trébol sp: Trébol rojo (*Trifolium pratense*), Trébol blanco (*Trifolium repens*). Las plantas son débiles, las hojas terminales desarrollan un borde rojizo y coloración púrpura seguida algunas veces de clorosis. El crecimiento queda detenido y no hay producción de flores. Las hojas jóvenes son pequeñas, retorcidas y frecuentemente delgadas con textura semejante al cuero. Todos los tréboles parecen tener gran dependencia de una adecuada fuente de B para semillar (Bradford 1966; Shorrocks y Phil, 1974).

c) Cereales

El síntoma típico de deficiencia de B para trigo, arroz, cebada, centeno y avena, incluye un engrosamiento anormal de los tallos, muerte de ápices y la formación de meristemas apicales distorsionados e imperfectamente formados.

Trigo (*Triticum aestivum*): Las espigas pueden estar poco desarrollados y estériles.

Maíz (*Zea mays*): Hay distribución irregular del grano y disminución general en el rendimiento. Moteados blancos amarillentos

aparecen entre las nervaduras de las hojas jóvenes y pueden unirse formando rayas. La esterilidad es común. Si las espigas desarrollan, puede haber bandas corchosas de color marrón en la base de los granos (Krantz y Melsted, 1964; Gupta, 1969; Bradford, 1966). Hay menor elongación de entrenudos y las hojas jóvenes no llegan a terminar de emerger del verticilo (Shorrocks y Phil, 1974).

d) Cultivos industriales

Te (*Camelia sinensis*): La característica que presenta es la muerte sucesiva de los brotes apicales seguido del desarrollo de brazos axilares que también mueren rápidamente (Shorrocks y Phil, 1974).

Tabaco (*Nicotiana tabacum*): El primer signo de deficiencia es una clorosis de las hojas más jóvenes; a continuación, si el déficit se incrementa, las hojas se ondulan y vuelven quebradizas (Shorrocks y Phil, 1974). Excesos de boro resultan en moteados marrones en los bordes de las hojas y cese del crecimiento (Gandhi y Metha, 1959).

e) Frutales

Vid (*Vitis vinifera*): Con déficit de boro hay acortamiento de entrenudos, muerte de brotes apicales, caída de hojas. Se producen zonas cloróticas y necróticas en el margen de las hojas y entre las nervaduras. Aparecen gran cantidad de sarmientos cerca de los terminales y numerosos frutos no desarrollan normalmente. La vid es una especie sensible a excesos de B (Eaton 1944; Shorrocks y Phil 1974).

Citrus sp.: Los síntomas foliares de deficiencias de B en citrus no son característicos y una sospecha sobre la base de observaciones foliares debe ser confirmada por síntomas en los frutos. Estos son pequeños; la cáscara se vuelve corchosa y están gomosos por fuera y por dentro. Tienen escaso contenido de jugo (Recopilación de Bradford, 1966). Un ligero exceso no produce efecto en el tamaño o calidad del fruto (Chapman y Vanse-low, 1955).

Toxicidad

Los problemas de toxicidad se presentan con mayor frecuencia en regiones áridas y semiáridas, especialmente en suelos salinos y alcalinos. El hombre suele favorecer o producir situaciones desfavorables por la utilización de aguas de riego con alto contenido de boro, o por la aplicación de fertilizantes borados en cantidades excesivas, teniendo presente el estrecho margen existente entre niveles suficientes y tóxicos. Actualmente, el daño producido por el uso de aguas de riego inadecuadas, es considerado de mayor importancia económica que el alto contenido inicial de boro del suelo (Fleming, 1980). No existen problemas de toxicidad con el ganado o con el hombre y las precauciones a tomar para el manipuleo de los fertilizantes borados son similares a las utilizadas con los fertilizantes de uso común (Bowen, 1977).

Para el aprovechamiento de suelos con contenidos elevados de boro se puede recurrir a la implantación de cultivos tolerantes tales como el rábano (*Brassica rapa*), remolacha (*Beta vulgaris*), arvejas (*Lathyrus odoratus*), remolacha azucarera (*Beta saccharifera*), oxalis (*Oxalis bowiei*), algodón (*Gossypium hirsutum*), alcahucil (*Cynara scolymus*), espárrago (*Asparagus officinalis*) y otros (Eaton, 1944). Si el exceso de boro se debe al uso de un agua de riego inadecuada, es recomendable buscar otra fuente de agua (Bradford, 1966). La práctica recomendada para eliminar boro de suelos con altos contenidos es lavar el perfil con abundante agua (Rhoades *et al.*, 1970). Prather (1977) considera conveniente, especialmente en suelos alcalinos, buscar otro método que permita efectuar el alejamiento por percolación del boro de la zona radicular con menor consumo de agua.

Los síntomas de toxicidad son similares en la mayoría de las plantas. Comienzan con una clorosis en el ápice de la hoja que se continúa en el margen y luego se extiende entre las nervaduras laterales y hacia la nervadura central (Bradford, 1966). En los primeros estadios la sintomatología es común a muchas

otras alteraciones por lo que sólo el análisis tisular puede dar la confirmación de la causa del daño. El movimiento pasivo del boro con la corriente transpiratoria sostenido por Kohl y Oertli (1961), se relaciona con la localización de aparición de los síntomas de toxicidad y las pérdidas por gutación.

En el Cuadro 1 se señalan contenidos bajos, medios y tóxicos de boro en planta para algunos cultivos.

FERTILIZACION Y FERTILIZANTES

La fertilización con boro es una práctica común en muchos países y afecta a gran cantidad de cultivos. Midgley y Dunklee, en 1940, propusieron la adición de materia orgánica en forma de paja o estiércol a suelos encalados para corregir los perjuicios provocados por las deficiencias de boro inducidas al variar el pH. El inconveniente de estas correcciones era que la cantidad de B aportada dependía del origen del material. Las cantidades de B a agregar son muy pequeñas y es muy importante que la aplicación sea cuidadosa para evitar desuniformidades. Una práctica común ha sido la de aplicar el fertilizante de B elegido con otras fuentes de NPK. Los fertilizantes modernos NPK usualmente no aportan cantidades significativas del micronutriente si éste no es añadido en forma intencional (Shorrocks y Phil, 1974). Para facilitar la aplicación se pueden mezclar los boratos con otros materiales sólidos y se utiliza la mezcla en estado seco o puede disolverse y aplicarse luego como "spray" al follaje o como fertilizante líquido al suelo (Shorrocks y Phil, 1974). También se han efectuado aplicaciones foliares de B con insecticidas en cultivos de algodón (Mortvedt y Cunningham, 1971). Parecería que el B soluble, al ser mezclado con otros fertilizantes mezclas, no pierde su efectividad. Se notó una ligera pérdida de boro soluble en algunos fertilizantes fosforados sin que se identificasen las causas (Mortvedt, 1968). El movimiento del B a partir de los gránulos del fertilizante,

CUADRO 1: Boro en tejidos vegetales (Parte aérea) utilizado como indicador del nivel del elemento (ppm).

Planta	Tejido muestreado	Deficiente	Bajo	Normal	Alto	Tóxico	Referencia
Cereales							
Avena (<i>Avena sativa</i>)	-	-	-	15-50	-	54-400	Jones y Scarseth (1944)
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>)	planta	7,1-8,6	-	21	-	> 46	Gupta (1971)
Maíz (<i>Zea mays</i>)	hoja	-	-	27-72	-	179	Eaton (1944)
Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)	-	4,6-6,0	-	17	-	> 34	Gupta (1971)
Cultivos Hortícolas							
Apio (<i>Apium graveolans</i>)	hojuela	20	-	68-432	-	720	Eaton (1944)
Papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	planta	< 25	25-40	40-70	> 70	> 160	McKay <i>et al.</i> (1962) Shorrocks y Phil (1974)
Poroto (<i>Phaseolus sp.</i>)	planta vaina	-	-	44 28	-	132 143	Purves y Mac Kenzie (1973)
Tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>)	hoja	-	-	34-150	-	253-1416	Eaton (1944)
Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	hoja	< 16	-	32-103	-	175-307	Kelly <i>et al.</i> (1952)
Cultivos Industriales							
Algodón (<i>Gostypium sp.</i>)	hoja hoja	16 10-39	-	187-306	-	522-1625 590	Eaton (1935 y 1944) Silva <i>et al.</i> (1979)
Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	hoja	4-5	4-10	15-20	-	400	Evans (1955) Shorrocks (1974)
Girasol (<i>Helianthus annus</i>)	ápice	8-23	-	12-150	-	-	Tanada y Dean (1942)
Tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i>)	hoja	-	-	19-261	-	365-771	Eaton (1944)
Forrajeras							
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	hoja ápice completo ápice completo al 10 % de floración	- < 15 - 8-12	- - - -	28-654 15-20 - 39-52	- - - -	516-996 200 - > 99	Eaton (1944) Martin <i>et al.</i> (1965) Gupta (1972)
Frutales							
<i>Citrus sp.</i> Limón Naranja	hoja hoja	- 4,9-2,5	- -	152-200 30-100	- -	- > 200	Chapman y Brown (1943) Chapman y Vanselow (1955)
Durazno (<i>Prunus pérsica</i>)	hoja	11-19	-	17-40 17-81	- -	91-169 170	Mac Larty y Woodbridge (1950) Eaton (1944)
Uva (<i>Vitis sp.</i>)	hoja -	6-24 38-86 < 25	- - -	18-54 250-267 25-50	- - -	- 926-1864 > 50	Scott (1941) Eaton (1944) Shorrocks y Phil (1974)

aumenta con el gradiente de concentración de B y con el contenido de humedad del suelo (Mortvedt y Osborn, 1965). Las aplicaciones foliares de B, en frutales, han dado excelentes resultados por las posibilidades que ofrecen de independización de las condiciones meteorológicas fluctuantes (Fleming, 1980). De acuerdo con Mortvedt (1974), citado por Gupta (1979), las dosis de B a aplicar para cultivos agrícolas dependen del sistema de aplicación y los valores recomendados generalmente son los siguientes: 0,5-3 kg/ha para voleo, 0,5-1 kg/ha para bandas y 0,1-0,5 kg/ha para "spray" foliar. La época de aplicación está relacionada con las lluvias locales, incorporación y retención del B en la zona radicular.

En el Cuadro 2 se citan algunos de los fertilizantes más comunmente utilizados (Fuente: Shorrocks y Phil, 1974, Gupta, 1979, Fleming, 1980).

CUADRO 2: Algunos fertilizantes con boro comunmente utilizados.

Fertilizantes que contienen boro	Fórmula Química	%B
Bórax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11,3
Acido bórico	H_3BO_3	17,5
Vidrio molido	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{X} \cdot \text{H}_2\text{O}$	2-11
Borato 46	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	15,2
Borato 65	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	20,0
Pentaborato de Na	$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	18,0
Solubor	$\text{Na}_2\text{B}_8\text{O}_{13} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	20,5
Portabor	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	16,0
Ulexita	$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$	9,4

El bórax es tal vez el fertilizante más difundido. El ácido bórico y Solubor se aplican generalmente en forma de "spray" aunque también se pueden usar para suelos. Los fertilizantes que contienen Ca son menos solubles que los sódicos. El uso de vidrio molido como fertilizante borado se apoya en el hecho de que éste es degradado lentamente y a un ritmo uniforme lo que permite controlar la cantidad de B liberado durante un período relativamente largo. Investigadores

chinos han utilizado boratos o bórax al 0,01 y 0,1% para tratamiento de semillas (Nanking Institute of Soil Science, 1978). Ello no es una práctica usual debido a la toxicidad del B sobre ellas y sobre plántulas.

La práctica de la fertilización con B, como dice Bowen (1977), es el arte de usar suficiente pero no demasiado, recordando el estrecho rango existente entre niveles críticos y excesivos, que ha determinado la existencia de una profusa bibliografía referida a problemas de toxicidad debidos, en muchos casos, a fertilizaciones inadecuadas.

MÉTODOS DE DETERMINACION DE BORO

La determinación de boro ha sido hasta el presente un procedimiento engorroso para su adaptación al laboratorio de rutina. Hay numerosos reactivos y entre los más específicos y sensibles para determinaciones espectrofotométricas se encuentran, dentro de las hidroxiantraquinonas, la quinalizarina y el ácido carmínico, derivados del grupo de las antraquinonas y otros con características analíticas del grupo de las aminoantraquinonas (Basson, *et al.*, 1969). Todos los reactivos mencionados son muy sensibles pero deben ser utilizados, y allí reside el mayor inconveniente, en medio sulfúrico concentrado. La concentración final del ácido es importante y variaciones de temperatura causan desviaciones en las lecturas colorimétricas por su efecto en el desarrollo del color (Jackson, 1970). La curcumina, colorante extraído de la raíz de cúrcuma, se ha empleado también como reactivo y ofrece algunas ventajas en relación al grupo anterior como son la eliminación de la preparación y almacenamiento del ácido sulfúrico y de inconvenientes en la comparación fotoeléctrica pero necesita de mayor manipulación porque hay que evaporar hasta sequedad y extraer el residuo, por lo que no se adapta a procedimientos automáticos (Berger y Truog, 1944). James y King (1966) citados por Basson *et*

al. (1969), trabajaron con el ácido cromotrópico el cual forma complejos intensamente coloreados con el ácido bórico en medio acuoso. Tiene el inconveniente de que tanto el reactivo como el complejo formado son sensibles a la luz. Weir (1970), complejando el fluor como fluorborato utilizó el complejo con Azure-C y lo determinó colorimétricamente. En 1969, Basson *et al.*, a partir de trabajos de investigadores rusos, utilizaron la azometina para la determinación de boro en tejidos vegetales. El uso de este reactivo tiene la ventaja de que la reacción desarrolla en medio acuoso, además de tener adecuada sensibilidad. La azometina se sintetiza a partir de la condensación de un H-ácido, 8 amino 1 naftol-3,6 ácido disulfónico y salicilaldehído. La gran mayoría de los trabajos producidos en los últimos años de la década del 70 se inclinan por la utilización de este reactivo, teniendo en cuenta su sensibilidad, pocas interferencias, y desarrollo de color en medio acuoso, elementos que posibilitan la automatización del método. El Cu, Fe y Al pueden producir interferencias pero su efecto desaparece con el agregado de la sal disódica EDTA 0,025 M, que resultó el agente complejante más efectivo (Basson *et al.*, 1969). Wolf (1971) trabajó en la adaptación a la determinación de B en suelos, aguas, vegetales y otros, y aconseja el uso de la sal tetrasódica para suelos con altos contenidos de Al o de Al y Fe. Hay también métodos espectrográficos y de absorción atómica, pero su sensibilidad es muy inferior a la de los reactivos coloreados. Recientemente, se han incorporado métodos no destructivos basados en análisis nucleares tanto aplicables a suelos como a plantas (Bogancs *et al.*, 1979a y 1979b).

Boro asimilable

El paso previo a la determinación, la extracción, no es aún satisfactoria para muchos investigadores. Durante muchos años se utilizó la técnica propuesta por Berger y Truog (1939, 1940). Ellos encontraron que el boro extraído con agua caliente en una relación

suelo-agua 1:2, durante cinco minutos en un condensador con reflujo, correlacionaba bien con la respuesta de algunas plantas a la fertilización con B. Coleman (1945) citado por Bradford (1966), coincidió en la relación favorable entre B soluble en agua caliente y B en planta pero aclaró que había variaciones en esta última de acuerdo a la clase textural del suelo. Wear y Patterson (1962) sostuvieron que el B soluble en agua caliente era un buen indicador del contenido de B en planta siempre que se compararan suelos de textura y pH semejante. Kahn *et al.*, (1979), trabajando con suelos calcáreos, encontraron correlación entre B soluble en agua caliente y el elemento en planta.

Gupta (1967) introdujo algunas variantes al método original de Berger y Truog simplificándolo. En general, y a pesar de algunos trabajos que hallan un alto grado de asociación entre B soluble en agua caliente y B en planta, se considera que el análisis de tejidos de plantas y, en menor proporción, síntomas visibles, son elementos de mayor valor para diagnosticar deficiencias de B que análisis de suelos. Gupta y Munro (1969) trabajando con nabo hallaron una alta correlación entre B soluble en agua caliente y B en planta y, en consecuencia, propusieron que el valor de B en suelo podría ser utilizado como índice de niveles críticos del microelemento, con la ventaja de que el dato podría ser utilizado antes de la implantación del cultivo. En el mismo trabajo, se consideró el análisis de la parte aérea como un indicador más seguro de deficiencias. Odom (1980) entiende que una extracción por un período de diez minutos implica menos errores que la de cinco por no haberse llegado, en este último caso, a una situación de equilibrio.

Niveles de 0,5 ppm de B soluble en agua caliente para suelos franco arcillosos y de 0,4 ppm para arenosos, serían indicadores de deficiencias para alfalfa y vid (Bradford, 1966). Los valores críticos de B soluble en agua caliente se incrementaron en años calurosos y secos (Henkens y Lehr, 1959; Cox y Kamprath, 1972). Los valores de B asimilable determinados por extracción con agua caliente

generalmente oscilan entre 0,05 y 5 ppm en regiones húmedas y en secas pueden ser considerablemente mayores (Berger y Pratt, 1963). En suelos egipcios, Kick (1963) citado por Gupta (1968) determinó un promedio de 15% de B soluble sobre el total. Gupta (1968) obtuvo cifras de 1,05% hasta 2,75%, correspondiendo los mayores valores a suelos de textura fina y los menores a suelos de textura gruesa. En general, se considera que un 5% del B total puede estar como disponible por el método de la extracción con agua (Berger y Pratt, 1963). La utilización de extractantes ácidos, preferida por algunos investigadores (Philipson, 1953), acarrea inconvenientes en su utilización para suelos calcáreos por la dificultad en la regulación de la acidez final (Berger y Truog, 1944). El uso de álcalis produce interferencias por la presencia de los ácidos húmicos en la determinación colorimétrica. Wolf (1971) propuso la utilización de la solución Universal Morgan a pH 4,8 con ácido acético. Aguilar-Ros *et al.* (1977), encontraron que la solución nombrada y el ácido acético al 2,5% manifestaron una mejor relación que el B soluble en agua caliente con el contenido de B en plantas de girasol. Gupta y Stewart (1978) propusieron la utilización de una solución 1N NH_4OAc . Otros extractantes han sido empleados con resultados diversos pero, en general, el método más difundido con todas sus críticas y variantes, es el de la extracción con agua caliente. La obtención de un extracto suficientemente límpido y claro para efectuar buenas lecturas constituye el siguiente paso. Wolf (1974) puntualizó que el uso de grandes cantidades de carbón podía dar resultados inferiores a los reales. Gupta (1979b) recomienda el uso de carbón "Darco G-60" y estableció el uso de 0,4 g de carbón para suelos podzoles de Canadá con hasta 3% de M.O. y 0,8 g para suelos con 3,1 a 4,1% de M.O. En el Laboratorio de Micronutrientes de la Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía, se optó por el uso de una centrífuga de alta velocidad lo que permitió reducir las cantidades de carbón establecidas por Gupta (1979b) a la mitad.

La quinalizarina fue empleada por numerosos investigadores como reactivo coloreado y el procedimiento sufrió diversas modificaciones (Smith 1935, Berger y Truog 1939, 1940, 1944). Los resultados se ven afectados por la presencia de nitratos. Este mismo inconveniente se manifiesta en el método de la curcumina (Jacson, 1970). Williams y Vlamis (1970), agregan que la presencia de sales pueden conducir a resultados erróneos. Comparaciones entre lecturas de extractos de suelos utilizando curcumina y quinalizarina (Berger y Truog, 1944) dieron resultados casi idénticos. El método del carmín fue desarrollado por Hatcher y Wilcox (1950). Wolf (1971) comparó resultados obtenidos empleando azometina y curcumina y encontró que la azometina daba valores más reales para suelos con alto contenido de nitratos, produciéndose una gran coincidencia para los restantes. Sippola y Erviö (1977), hallaron similitud de datos cuando compararon azometina y carmín en muestras de suelos y plantas. En el Laboratorio de Micronutrientes de la Cátedra de Edafología, Facultad de Agronomía, se está llevando a cabo un estudio del contenido de B en muestras de suelos ácidos del noreste argentino y del noroeste de la provincia de Buenos Aires, con una amplia gama de valores de pH y materia orgánica, utilizando la azometina en la reacción colorimétrica. En la actualidad, según investigadores americanos, la azometina ha comenzado a producirse comercialmente lo que ahorraría el tiempo de su preparación.

Determinación microbiológica

Gerretsen y De Hopp (1954) utilizaron *Azotobacter chroococcum* como indicador de la disponibilidad de B en suelos. En condiciones de deficiencias del microelemento, la producción de CO_2 , la multiplicación y la pigmentación se vieron alteradas. El contenido óptimo de B para el desarrollo normal de *Azotobacter* fue de 2 ppm en solución de cultivo, 5 ppm en arena y 8 ppm en suelo. El comportamiento de los suelos en el ensayo

fue diverso por lo que no se puede pensar en usar la técnica propuesta como método de diagnóstico.

Boro total

La determinación de B total no ha recibido especial interés por parte de los investigadores. El método descrito por Berger y Truog (1939) implica la fusión del suelo con agregado de carbonato de sodio. Wear (1965) introdujo ligeras variantes a un método largo y trabajoso. Gupta (1966) utilizó HCl 6N en lugar de H_2SO_4 para la extracción del residuo y desarrolló el color directamente suprimiendo un lento proceso de ajuste de pH. Obtuvo buen porcentaje de recuperación y resultados reproducibles con lo que el método se acortó y simplificó. En general, las cantidades totales de microelementos no se hallan relacionadas con la fracción disponible por lo que el valor de B total no se considera un buen indicador de la posibilidad de cubrir los requerimientos vegetales. Gupta (1968) estableció una correlación positiva entre B total y soluble en agua caliente, lo que sugiere que en algunos casos el total puede ser índice de la cantidad de asimilable. Berger y Pratt (1963) dan valores de B total que oscilan entre 2 y 200 ppm para la mayoría de los suelos. Gupta (1968) para suelos del este de Canadá halló valores que varían entre 45 y 124 ppm.

Determinación de B en Planta

El método del carmín y el de la curcumina, han sido los más utilizados para la determinación de B en tejidos vegetales. Estos tejidos deben ser previamente reducidos a cenizas secas ya que el B puede volatilizarse a partir de cenizas húmedas, Jones (1972). Berger y Truog (1940) utilizaron ácido sulfúrico 0,36N para la extracción de B de cenizas y colorearon con quinalizarina. Hatcher y Wilcox (1950) extrajeron con HCl 1 y 6N y colorearon con curcumina. Wolf (1971)

comparó los resultados obtenidos de muestras de tejidos vegetales, "compost", aguas y soluciones nutritivas desarrollando color con azometina y curcumina y obtuvo valores similares. Sippola y Erviö (1977) compararon, en planta, azometina y carmín con excelentes resultados. Basson *et al.* (1969), automatizaron el procedimiento para determinación de B en tejidos vegetales con azometina y utilizaron un equipo "Auto Analyzer" al que describen y que les permitió, con los extractos preparados, analizar 300 muestras en ocho horas de trabajo. Gupta y Stewart (1978), no encontraron diferencias significativas utilizando un "Technicon Auto Analyzer" y el procedimiento manual para determinaciones de B en suelo, agua y extractos de plantas con azometina, con una sensibilidad mayor de 0.05ug B/ml. Gaines y Mitchell (1979) se inclinaron por la utilización de H_2SO_4 0,36N a temperatura ambiente (22°C) durante una hora, pues los resultados obtenidos con este extractante fueron similares a los producidos con H_2SO_4 0,36N a 70°C durante una hora, $NaNO_3$ 0,16 N a 70°C durante una hora o HCl 0,5N a 70°C en el mismo lapso.

Es importante, al considerar los valores de B en planta, tener en cuenta el tipo de cultivo, edad de la planta y parte muestreada por la gran variabilidad existente a la que ya se ha hecho referencia.

Determinación de B en agua, "compost", estiércol y soluciones nutritivas

Wolf (1971) adaptó el método de la azometina para la determinación de B en agua, "compost", estiércol y soluciones nutritivas. Las cantidades del microelemento en compost y estiércol pueden limitar su uso. Aplicaciones de 4 Tn de material seco por hectárea no deben contener más de 300 ppm cuando se está en presencia de cultivos sensibles. Para el agua de riego, cuando los valores de B están entre 0,3 y 0,6 ppm, la cantidad es adecuada y cuando es de 1 y 3 ppm puede

haber problemas de toxicidad (Jackson, 1970).

RESUMEN Y CONCLUSIONES

El boro soluble está presente habitualmente en el suelo como molécula no ionizada y como tal es absorbido por las plantas. El principal aporte al suelo proviene de la turmalina, mineral de alta resistencia a la meteorización. El pH controla la disponibilidad del microelemento a través de su influencia sobre la adsorción que es máxima en medio alcalino. La materia orgánica actúa como regulador de la provisión de boro para las plantas. Las relaciones del boro con los macro y micronutrientes no son aún bien conocidas. Dentro de los macronutrientes, tal vez las acciones más claras correspondan al calcio y al nitrógeno. El calcio ejerce su influencia en la adsorción por su efecto sobre el pH y parecería que por otras características intrínsecas del ión. Los suelos de textura más fina ostentan valores de boro solubles más altos que los de textura gruesa y esto podría estar relacionado con una mayor pérdida por lixiviación. La humedad condiciona el aprovisionamiento del elemento en forma soluble para las plantas y, en condiciones de sequía, pueden producirse síntomas de deficiencia. Las investigaciones recientes sobre el papel del boro en plantas, sugieren que está relacionado con la translocación y el metabolismo de los ácidos nucleicos, pero también con las respuestas de las plantas a los reguladores de crecimiento; con la biosíntesis de ácidos fenólicos, con el metabolismo de la pared celular, con la maduración y división celular, con algunas reacciones catalizadas por enzimas y con la germinación del polen en agiospermas y la compatibilización del tubo polínico con el estigma previniendo la síntesis de fitoalexinas y deposición de calosa. Se considera que su movimiento dentro de las plantas es principalmente pasivo y que su inmovilidad y consiguiente acumulación diferencial en distintos tejidos, explicaría el estrecho rango entre deficiencia y toxicidad. La cantidad de

boro presente en planta es muy variable, depende de la parte muestreada, variedad, edad y características físicas y químicas del suelo.

El advenimiento de la azometina ha significado un considerable progreso en las técnicas de determinación de boro en suelo, planta y otros. Las deficiencias de boro en plantas son a menudo subclínicas y pueden afectar la producción a través de su incidencia en la calidad. Con referencia a la problemática del boro en la Argentina, cabe acotar que no se habrían detectado deficiencias importantes y que, hasta el presente, estarían ubicadas en zonas aisladas. En el Laboratorio de Micronutrientes de la Facultad de Agronomía de Buenos Aires, Cátedra de Edafología, se está estudiando la presencia del boro en suelos argentinos. Esta cuestión fue planteada en un primer trabajo presentado en 1976 y se retoma ahora en un intento por clarificar el panorama de este nutriente que tantos problemas causa a la producción en muchos otros países.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece la lectura crítica del manuscrito y sugerencias efectuadas por el Profesor Ing. Agr. Ichiro Mizuno y por la Profesora Dra. Zulema M. de Sesé.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Adams, C. A., 1978. Boron as a plant nutrient. *Information Chilean Nitrate Agricultural Service*, No 140, 12. London E.C.2.
- 2) Aguilar-Ros, A. y A. Aguilar, 1977. Determinación analítica del boro asimilable en suelos de cultivo. *Ann. de Edaf. y Agrob.* 36: 1277-1280.
- 3) Albert, L. S. and C. M. Wilson, 1961. Effect of boron on elongation of tomato root tips. *Plant Physiol.* 36: 244-251.
- 4) Alvarez-Tinaut, M. C.; A. Leal; I. Agüi y L. Recalde, 1979, a. Efectos fisiológicos de la interacción boro-manganeso en plantas de tomate. II Absorción y distribución de macroelementos. *An. Edaf. Agrobiol.* 38: 992-1012.
- 5) Alvarez-Tinaut, M. C.; M. Gómez y L. Recalde, 1979, b. Efectos fisiológicos de la interac-

- ción boro-manganeso en plantas de tomate. *An. Edaf. Agrobiol.* 38: 1013-1029.
- 6) Bartlett, R. J. and C. J. Picarelli, 1973. Availability of boron and phosphorus as affected by liming an acid potato soil. *Soil Sci.* 116: 77-83.
 - 7) Basson, W. D.; R. G. Böhmer and D. A. Stanton, 1969. An automatic procedure for the determination of boron in plant tissue. *Analyst* 94: 1135-1141.
 - 8) Bennett, O. L. and E. L. Mathias, 1973. Growth and chemical composition of Crownvetch as affected by lime, boron, soil source and temperature regime. *Agron. J.* 65: 587-591.
 - 9) Berger, K. C., 1949. Boron in soils and crops. *Advanc. Agron.* 1: 321-351.
 - 10) Berger, K. C. and P. F. Pratt, 1963. Advances in secondary and micronutrient fertilization. En "Fertilizer Technology and Usage". McVickar, M. H., Bridger, G. L. y Nelson, L. B. eds. *Soil Sci. Soc. Am. Madison Wis.* 287-340.
 - 11) Berger, K. C. and E. Truog, 1939. Boron determination in soils and plants using the quinizarin reaction. *Indus. and Engin Chem. Analyst. Ed.* 11: 540-545.
 - 12) Berger, K. C. and E. Truog, 1940. Boron deficiencies as revealed by plant and soil test. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 32: 297-301.
 - 13) Berger, K. C. and E. Truog, 1944. Boron test and determination for soils and plants. *Soil Sci.* 57: 25-36.
 - 14) Berger, K. C. and E. Truog, 1945. Boron availability in relation to soil reaction and organic matter content. *Soil Sci. Soc. Proc.* 10: 113-116.
 - 15) Biggar, J. W. and M. Fireman, 1960. Boron adsorption and release by soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 24: 115-120.
 - 16) Birnbaum, E. H.; W. M. Dugger and B. C. A. Beasley, 1977. Interaction of boron with components of nucleic acid metabolism in cotton ovules cultured in vitro. *Plant Physiol.* 59: 1034-1038.
 - 17) Bingham, F. T.; A. L. Page; N. T. Coleman and K. Flach, 1971. Boron adsorption characteristics of selected amorphous soils from Mexico and Hawaii. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35: 546-550.
 - 18) Bogancs, J.; A. Szabo; A. Z. Nagy; A. Csoke; J. Pecznik and I. Krakkai, 1979, a. Non-destructive nuclear method for boron analysis in plant samples. *Radiochem. Radioanal. Lett.* 39: 393-403. En "Boron In Agriculture". Shorrocks V.; Phil, M. A.; D. y Biol. M. I., 1980. 1 (1) Pag. 11.
 - 19) Bogancs, J.; A. Szabo; A. Z. Nagy; A. Csoke, J. Pecznik and I. Krakkai, 1979, b. A non-destructive method of surface analysis for studying the boron content in plant samples. *Novenytermeles* 28: 317-322. En "Boron in Agriculture" Shorrocks, V.; Phil, M. A.; D. y Biol, M. I. 1980. 1 (1). Pag. 11.
 - 20) Bowen, J. E., 1977. The fine art of using enough, but not too much boron. *Crops Soils*, 29: 12-14.
 - 21) Bradford, G. R., 1966. Boron. En "Diagnostic criteria for plant and soils". Chapman, H. D. ed Univ. Calif. Riverside. Pag. 33-61.
 - 22) Branson, R. L., 1976. Soluble salts, exchangeable sodium and boron in soils. Soil and plant-tissue testing in California. Div. of Agric. Sci. Bull., Univ. of Calif. Pag. 42-45.
 - 23) Brown, J. C., Ambler, J. E., Chaney, R. L. and Foy, C. D., 1972. Differential responses of plant genotypes to micronutrients. En "Micronutrients in Agriculture". Mortvedt, J. J., Giordano, P. M., and Lindsay, W. L. eds. Soil Sci. Soc. of Amer. Madison. Wis. Pag. 389-418.
 - 24) Chapman, H. D. and Brown, S. M., 1943. Leaf analysis reveals needs: New methods for estimating the fertilizer needs of citrus trees. *Citrus Leaves*. 23: 9.
 - 25) Chapman, H. D. and Vanselow, A. P., 1955. Boron deficiency and excess. *Calif. Citrogr.* 40: 31-34. (Citado por Bradford, 1966).
 - 26) Coleman, R., 1945. Boron content of Mississippi soils and plants. *Better Crops with Plant Food*. 29: 11-13, 42. (Citado por Bradford, 1966).
 - 27) Coke, L. and Whittington, W. J., 1968. The role of boron in plant growth. IV Interrelationships between boron and indol-3YL-acetic acid in the metabolism of bean radicles. *Jour. Exp. Bot.* 19: 295-308.
 - 28) Colwell, W. E. and Lincoln, C., 1942. A comparison of boron-deficiency symptoms and potato leafhopper injury on alfalfa. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 34: 495-498.
 - 29) Cook, R. L. and Millar, C. E., 1939. Some soil factors affecting boron availability. *Soil Sci. Soc. Proc.* 4: 297-301.
 - 30) Couch, E. L. and Grim, R. E., 1968. Boron fixation by illites. *Clays clay mineralogy.* 16: 249-256.
 - 31) Cox, F. R. and Kamprath, E. J., 1972. Micronutrients soils test. En "Micronutrients in Agriculture". Mortvedt, J. J., Giordano, P. M.; Lindsay, W. L. eds. Soil Sci. Soc. Amer. Madison. Wis. pag. 289-313.
 - 32) DaSilva, N. M., Carvalho, L. H., Bataglia, O. C. and Hiroce, R., 1979. Effects of boron on cotton cultivated under greenhouse conditions. *Bragantia.* 38: 153-164.
 - 33) Dugger, W. M. Jr. and Humphreys, T. E., 1960. Influence of boron on enzymatic reactions associated with biosynthesis of sucrose. *Plant Physiol.* 35: 523-530.
 - 34) Eaton, F. M., 1935. Boron in soils and irriga-

- tion waters and its effect on plants. *Bull.* No 448. U.S.D.A. U.S. Government Printing Office, Washington, D. C.
- 35) Eaton, F. M., 1944. Deficiency, Toxicity and accumulation of boron in plants. *J. Agr. Res.* 69: 237-277.
 - 36) Eaton, F. M. and Wilcox, L. V., 1939. The behaviour of boron in soils. *Tech. Bull.* U. S. Dep. Agric. No 696.
 - 37) Ellis, B. G. and Knezek, B. D., 1972. Adsorption reactions of micronutrients in soils. En "Micronutrients in Agriculture". Mortvedt, J. J., Giordano, P. M., Lindsay, W. L. eds. Soil Sci. of Amer. Madison. Wis. Pag. 59-78.
 - 38) Evans, H., 1955. Studies in the mineral nutrition of sugar cane in British Guiana. II The mineral status of sugar cane, as revealed by foliar analysis. *Trop. Agr.* (Trinidad) 32: 295-322.
 - 39) Fleming, G. A., 1980. Essential micronutrients I: Boron and molybdenum. En "Applied Soil Trace Elements". Davies, B. E. ed. John Wiley and Sons, Ltd.
 - 40) Fox, R. H., 1968. The effect of calcium and pH on boron uptake from high concentration of boron by cotton and alfalfa. *Soil Sci.* 106: 435-539.
 - 41) Gaines, P. T. and Mitchell, G. A., 1979. Boron determination in plant tissue by the azomethine method. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 10: 1.099-1.108.
 - 42) Gajbhiye, K. S., Banerjee, N. K. and Goswami, N. N., 1980. Correlation study of water soluble boron with ECE and silt plus clay in non-saline and low saline soils. *J. Indian Soc. Soils Sci.* 28: 251-253.
 - 43) Gandhi, S. G. and Metha, B. V., 1959. Studies on boron deficiency and toxicity symptoms in some common crops of Gujarat. *Indian J. Agric. Sci.* 29: 63-70.
 - 44) Gauch, H. G. and Dugger Jr. W. M., 1953. The role of boron in the translocation of sucrose. *Plant Physiol.* 28: 457-466.
 - 45) Gerretsen, F. C. and De Hoop, H., 1954. Boron, an essential micro-element for *Azotobacter chroococcum*. *Plant Soil* 4: 349-367.
 - 46) Gómez Rodríguez, M. V., Gómez Ortega, M. and Alvarez-Tinaut, M. C., 1981. Boron, copper, iron, manganese and zinc contents in leaves of flowering sunflower plants (*Helianthus annuus*, L), grown with different boron supplies. *Plant Soil* 62: 461-464.
 - 47) Gupta, U. C., 1966. A modified procedure for the determination of total boron from soil fused with sodium carbonate. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 30: 655-656.
 - 48) Gupta, U. C., 1967. A simplified method for determining hot-water soluble boron in podzol soils. *Soil Sci.* 103: 424-428.
 - 49) Gupta, U. C., 1968. Relationship of total and hot-water soluble boron and fixation of added boron, to properties of Podzol soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32: 45-47.
 - 50) Gupta, U. C., 1971. Boron and molybdenum nutrition of wheat, barley and oats grown in Prince Edward Island soils. *Can. J. Soil Sci.* 51: 415-422.
 - 51) Gupta, U. C., 1972. Effects of boron and lime on boron concentration and growth of forage legumes under greenhouse conditions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 3: 355-365.
 - 52) Gupta, U. C., 1979a. Boron nutrition of crops. *Adv. Agron.* 31: 273-307.
 - 53) Gupta, U. C. 1979b. Some factors affecting the determination of hot-water soluble boron from podzol soils using azomethine-H. *Can. J. Soil Sci.* 59: 241-247.
 - 54) Gupta, U. C. and Cutcliffe, 1978. *Can. J. Plant Sci.* 58: 63-68. (Citado por Gupta 1979a).
 - 55) Gupta, U. C. and MacLeod, J. A., 1981. Plant and soil boron as influenced by soil pH and calcium sources on podzol soils. *Soil Sci.* 131: 20-25.
 - 56) Gupta, U. C., MacLeod, J. A. and Sterling, J. D. E., 1976. Effect of boron and nitrogen on grain yield and boron and nitrogen concentrations of barley and wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 723-726.
 - 57) Gupta, U. C. and Munro, D. C., 1969. The boron content of tissues and roots of rutabaga and of soils as associated with brown-heart condition. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33: 424-426.
 - 58) Gupta, S. K. and Stewart, J. W. B., 1978. An automated procedure for determination of boron in soils, plants and irrigation water. *Schweizerische landwirtschaftliche Forschung* 17: 51-55.
 - 59) Harder, H., 1959. Beitrag zur Geochemie des Bors. *Nachr. Akad. Wissenschaften Göttingen, Mat. Phys. Klasse.*, 1959. 67: 183.
 - 60) Hatcher, J. T., Blair, G. Y. and Bower, C. A., 1959. Response of beans to dissolved and adsorbed boron. *Soil Sci.* 88: 98-100.
 - 61) Hatcher, J. T. and Bower, C. A., 1958. Equilibrium and dynamics of boron adsorption by soils. *Soil Sci.* 85: 319-323.
 - 62) Hatcher, J. T., Bower, C. A. and Clark, M., 1967. Adsorption of boron by soils as influenced by hydroxy aluminum and surface area. *Soil Sci.* 104: 422-426.
 - 63) Hatcher, J. T. and Wilcox, L. V., 1950. Colorimetric determination of boron using carmine. *Anal. Chem.* 22: 567-569.
 - 64) Henkens, C. H. and Lehr, J. J., 1959. Boron in farm land. *Landbouwoorlichting* 16: 339-344. (Citado por Bradford, 1966).
 - 65) Herich, R. and Hudak, J., 1979. Study of the

- relation of boron to plant morphogenesis. I. Electron-microscopic study of the effect of boron on cell organelles. *Acta Fac. Rerum Nat. Univ. Comenianae, Form. Prot. Nat.* 4: 1-10.
- 66) Hill, W. E. and Morrill, L. G., 1975. Boron, calcium and potassium interactions in Spanish peanuts. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 39: 80-82.
- 67) Hingston, F. J., 1964. Reactions between boron and clays. *Aust. J. Soil Res.* 2: 83-95.
- 68) Hingston, F. J.; A. M. Posner and J. P. Quirk, 1972. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. *J. Soil Sci.* 23: 172-192.
- 69) Hodgson, J. F., 1963. Chemistry of the micronutrient elements in soils. *Adv. Agron.* 15: 119-159.
- 70) Jackson, M. L., 1970. Determinación de boro en los suelos y en los tejidos vegetales. En "Análisis Químico de Suelos". Ed. Omega S.A. Pág. 500-523.
- 71) James, H. and G. H. King, 1966. Automation in Analytical Chemistry. Technicon Symposia. Mediad Inc., New York 1967. Vol. 1: 123 (Citado por Basson *et al.*, 1969).
- 72) Jones J. B. Jr., 1972. Plant tissue analysis of micronutrients. En "Micronutrients in Agriculture". Mortvedt, J. J., Giordano, P. M., Lindsay, W. L. eds. Soil Sci. Soc. Amer. Madison - Wis. Pag. 319-346.
- 73) Jones, H. E. and G. D. Scarseth, 1944. The calcium-boron balance in plants as related to boron needs. *Soil Sci.* 57: 15-24.
- 74) Kelly, W. C., G. F. Somers and G. H. Ellis, 1952. The effect of boron on the growth and carotene content of carrots. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 59: 352-360.
- 75) Keren, R. and R. G. Gast, 1981. Effects of wetting and drying, and of exchangeable cations, on boron adsorption and release by montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 478-482.
- 76) Keren, R., R. G. Gast and B. Bar-Yosef, 1981. pH-Dependent Boron adsorption by Na-montmorillonite. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 45-48.
- 77) Khan, Z. D., J. Ryan and K. C. Berger, 1979. Available boron in calcareous soils of Lebanon. *Agr. Jour.* 71: 688-690.
- 78) Kick, H. 1963. The nutrient content of soils in Egypt, with special reference to the trace elements Cu, Zn and B. *Z. Pflanzenernaehr. Düng. Bodenk.* 100: 102-114. (Citado por Gupta, 1968).
- 79) Kohl, H. C. and J. J. Oertli, 1961. Distribution of boron in leaves. *Plant Physiol.* 36: 420-424.
- 80) Krantz, B. A. and S. W. Melsted, 1964. Hunger signs in crops. A symposium. Sprague, H. B.; ed. 3era. ed. MacKay, New York. Pag. 25-37. (Citado por Gupta, 1979a).
- 81) Krauskopf, K. B., 1972. Geochemistry of Micronutrients. En "Micronutrients in Agriculture. Mortvedt, J. J., Giordano, P. M. y Lindsay, W. L. ed. Soil Sci. Soc. Amer. Madison. Wis. Pag. 7-40.
- 82) Lee, S. and S. Aronof, 1967. Boron in plants: a biochemical role. *Science* 158: 798-799.
- 83) Lewis, D. H., 1980a. Boron, lignification and the origin of vascular plants, a unified hypothesis. *New Phytologist.* 84: 209-229.
- 84) Lewis, D. H., 1980b. Are there inter-relationships between the metabolic role of boron, synthesis of phenolic phytoalexins and the germination of pollen? *New Phytol.* 84: 261-270.
- 85) Lindsay, W. L., 1972. Inorganic phase equilibria of micronutrients in soils. En "Micronutrients in Agriculture". Mortvedt, J. J., Giordano, P. M. y Lindsay, W. L. ed. Soil Sci. Soc. Amer. Madison. Wis. Pag. 41-57.
- 86) Lohnis, M. P., 1936. Boriumbehoefte en boriumgehalte van cultuurplanten. *Chem. Weekblad.* 33: 59-61. (Citado por Bradford, 1966).
- 87) Lucas. R. E. and B. D. Knezek, 1972. Climatic and soil conditions promoting micronutrient deficiencies in plants. En "Micronutrients in Agriculture". Mortvedt, J. J., Giordano, P. M. y Lindsay, W. L. ed. Soil Sci. Soc. Am. Madison. Wis. Pag. 265-288.
- 88) MacKay, D. C., W. M. Langille and E. W. Chipman, 1962. Boron deficiency and toxicity in crops grown on sphagnum peat-soil. *Can. J. Soil Sci.* 42: 302-310.
- 89) Marsh, R. P. and J. W. Shive, 1941. Boron as a factor in the calcium metabolism of the corn plant. *Soil Sci.* 51: 141-151.
- 90) Martin, W. E., V. V. Rendig, A. D. Haig and L. J. Berry, 1965. *Calif. Agric. Exp. Stn. Bull.* 815. Pag. 1-35. (Citado por Gupta, 1979a).
- 91) Mason, B., 1952. Principles of geochemistry. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- 92) McLarty, H. R. and G. G. Woodbridge, 1950. Boron in relation to the culture of the peach tree. *Sci. Agr.* 30: 392-395. (Citado por Bradford, 1966).
- 93) Mezuman, U. and R. Keren, 1981. Boron adsorption by soils using a phenomenological adsorption equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 722-726.
- 94) Midgley, A. R. and D. E. Dunklee, 1939. The effect of lime on the fixation of borates in soils. *Soil Sci. Soc. Am.* 4: 302-307.
- 95) Miljkovic, N. S. B. C. Matthews and M. H. Miller, 1966. The available boron content of the genetic horizons of some Ontario soils. I. The relationships between water-soluble boron

- and other soil properties. *Can. J. Soil. Sci.* 46: 133-138.
- 96) Misztal, M and J. Magierski, 1979. Leaching of boron and manganese from rendzina soil in a lysimetric experiment. *Pol. J. Soil Sci.* 12: 3-9. En "Boron in Agriculture". Micronutrients Bureau. 1 (4). July 1981.
- 97) Mizuno, I., A. Nuñez y S. Ratto, 1976. Boro en algunos suelos argentinos. *IDIA. Supl.* Nº 33. VII Reunión de Suelos. AACCS. Pág. 124-128.
- 98) Moore, D. P., 1972. Mechanisms of micronutrient uptake by plants. En "Micronutrients in Agriculture". Mortvedt, J. J., Giordano, P. M. y Lindsay, W. L. eds. *Soil Sci. Soc. Am. Madison. Wis. Pag.* 171-192.
- 99) Montalvo Zapata, R. M., 1973. Studies on the role of boron in growth and sugar-transport processes of sugarcane. *J. Agric. Univ. Puerto Rico.* 57: 9-23.
- 100) Mortvedt, J. J., 1968. Availability of boron in various boronated fertilizers. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 433-437.
- 101) Mortvedt, J. J., 1974. Int. Hort. Congr. 19 th, Varsaw. Pag. 497-505. (Citado por Gupta, U. C. 1979a).
- 102) Mortvedt, J. J. and Cunningham, 1971. Secondary and Micronutrient Fertilizers. En "Fertilizer Technology and Use". 2nd. edition. Olson, R. A., Army, T. J. Hanway, J. J. y Kilmer, V. J. eds. *Soil Sci. Soc. Am. Inc. Madison. Wis.* 1971.
- 103) Mortvedt, J. J. and G. Osborn, 1965. Boron concentration adjacent to fertilizer granules in soil, and its effects on root growth. *Soil Sci. Soc. Proc.* 29: 187-191.
- 104) Naftel, J. A., 1937. Soil liming investigations: V. The relation of boron deficiency to overliming injury. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 29: 761-771.
- 105) Nanking Institute of soil Science, 1978. Boron fertilizer T'un Jang. (Nanking) 1: 37-40. En "Boron in Agriculture". Micronutrients Bureau. Vol. 1, Nº 3. Pag. 5. 1981.
- 106) Odhonoff, C., 1961. The influence of boric acid and phenyl boric acid on the root growth of bean. *Physiol. Plant.* 14: 187.
- 107) Odom, J. W., 1980. Kinetics of the hot water soluble boron test. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 11: 759-765.
- 108) Oertli, J. J., 1960. The distribution of normal and toxic amounts of boron in leaves of Rough Lemon. *Agron. J.* 52: 530-532.
- 109) Oertli, J. J., 1962. Loss of boron from plants through guttation. *Soil Sci.* 94: 214-219.
- 110) Oertli, J. J., and H. C. Kohl, 1961. Some considerations about the tolerance of various plant species to excessive supplies of boron. *Soil Sci.* 92: 243-247.
- 111) Okazaki, E. and T. T. Chao, 1968. Boron adsorption and desorption by some Hawaiian soils. *Sci. Sci.* 105: 255-259.
- 112) Olson, R. V. and K. C. Berger, 1946. Boron fixation as influenced by pH, organic matter content, and other factors. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 11: 216-220.
- 113) Parks, W. L. and J. L. White, 1952. Boron retention by clay and humus systems saturated with various cations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 16: 298-300.
- 114) Peterson, L. A. and R. C. Newman, 1976. Influence of soil pH on the availability of added boron. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 280-282.
- 115) Philipson, T., 1953. Boron in plant and soil. *Acta Agric. Scand.* 3: 121-124.
- 116) Prather, R. J., 1977. Sulfuric acid as an amendment for reclaiming soil high in boron. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41: 1.098-1.101.
- 117) Purves, D. and E. J. Mackenzie, 1973. *Plant Soil* 39: 361-371. (Citado por Gupta, 1979a).
- 118) Reeve, E. and J. W. Shive, 1944. Potassium - Boron and Calcium - Boron relationships in plant nutrition. *Soil Sci.* 57: 1.
- 119) Reisenauer, H. M., L. M. Walsh, and R. G. Hoefl, 1973. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. En "Soil Testing and Plant Analysis". Walsh, L. M. and Beaton, J. D. ed. *Soil Sci. Amer. Madison. Wis.*
- 120) Rhoades, J. D., R. D. Ingvalson and J. T. Hatcher, 1970. Laboratory determination of leachable soil boron. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 871-875.
- 121) Rogers, H. T., 1947. Response and tolerance of various legumes to borax and critical levels of boron in soils and plants. *J. Am. Soc. Agron.* 39: 897-913.
- 122) Scott, L. E., 1941. An instance of boron deficiency in the grape under field conditions. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 38: 375-378. (Citado por Bradford, 1966).
- 123) Shive, J. W., 1941. Significant roles of trace elements in the nutrition of plants. *Plant Physiol.* 16: 435-445.
- 124) Shorrocks, W. M. and M. A. D. Phil, 1974. Boron deficiency. Its prevention and cure. Technical Service & Development Department Borax Consolidated Limitd. 56 Pags. Londres.
- 125) Sims, J. R. and F. T. Bingham, 1967. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials: I. Layer silicates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 31: 728-732.
- 126) Sims, J. R. and F. T. Bingham, 1968. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials. II. Iron and aluminum-coated layer silicates and soil materials. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32: 364-373.

- 127) Sippola J. and R. Erviö, 1977. Determination of boron in soils and plants by the azomethine-H method. *Finn. Chem. Lett.* Pag. 138-140. (4-5).
- 128) Sisler, E. C., W. M. Jr. Gugger and H. G. Gauch, 1956. The role of boron in the translocation of organic compounds in plants. *Plant Physiol.* 31: 11-17.
- 129) Slack, C. R. and W. J. Whittington, 1964. The role of boron in plant growth. III. The effects of differentiation and deficiency on radicle metabolism. *Jour. Exp. Bot.* 15: 495-514.
- 130) Smilde, K. W. and B. Van. Luit, 1970. *Bedrijfsontwikkeling* 1: 30-31. (Citado por Gupta, 1979a).
- 131) Smith, G. S., 1935. *Analyst*, 60: 735. (Citado por Wolf, B., 1971).
- 132) Sommer, A. L., 1927. The search for elements essential in only small amounts for plant growth. *Science* 66: 482-484.
- 133) Sommer, A. L. and C. P. Lipman, 1926. Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. *Plant Physiol.* 1: 221-249.
- 134) Tanada, T., L. A. Dean, 1942. Boron in some Hawaiian soils and crops. *Hawaiian Planter's Record* 46: 65-74. (Citado por Bradford, 1966).
- 135) Tanaka, H., 1967. Boron requirement of higher plants as affected by light intensity. *J. Sci. Soil Manure* (Tokio). 37: 563-567. Soil Fert. 497. (1968) pag. 62. Soil Sci. Pl. Nutr. 13, No 1, 37.
- 136) Wall, J. R. and C. R. Andrus, 1962. The inheritance and physiology of boron response in the tomato. *Amer. J. Bot.* 49: 758-762.
- 137) Warington, K., 1933. The influence of length of day on the response of plants to boron. *Ann. Botany* (London) 47: 429-457.
- 138) Wear, J. L., 1965. Boron. En "Methods of soil analysis", part 2: Chemical and microbiological properties. C. A. Black ed. Agronomy 9: 1059-1063.
- 139) Wear, J. I. and R. M. Patterson, 1962. Effect of soil pH and texture on the availability of water-soluble boron in the soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26: 344-346.
- 140) Weir, C. C., 1970. Spectrophotometric determination of boron in plant and soil samples by a new solvent extraction procedure. *J. Sci. Food Agric.* 21: 545-547.
- 141) Wilcox, L. V., 1960. Boron injury to plants. *Agr. Inf. Bull.* 211. U. S. Gov't. Printing office. 7 pag.
- 142) Wildes, R. A. and T. F. Neales, 1969. The biological activity of organoboron compounds in the promotion of root growth. *J. Exp. Bot.* 20: 591-603.
- 143) Williams, D. E. and J. Vlămis, 1970. A critical examination of the curcumin method for boron analysis of plant tissues, waters and soil extracts. I. Sample size. *Commun. Soil Sci. Pl. Analysis.* 1: 131-139.
- 144) Wolf, B., 1971. The determination of Boron in soil extracts, plant materials, composts, manures, water and nutrient solution. *Soil Sci. Plant Analysis.* 2: 363-374.
- 145) Wolf, B., 1974. Improvements in the azomethine-H method for the determination of boron. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 5: 39-44.
- 146) Yih, R. Y. and H. E. Clark, 1965. Carbohydrate and protein content of boron deficient tomato root tips in relation to anatomy and growth. *Plant Physiol.* 40: 312-315.