
INFLUENCIA DEL BORO EN LA COMPOSICION QUIMICA, VALOR NUTRITIVO Y CRECIMIENTO DE LA ALFALFA I. ASIMILABILIDAD DEL BORO POR LA ALFALFA, EN RELACION AL CONTENIDO DE CALCIO SOLUBLE DEL SUELO

HECTOR MAYAGOITIA DOMINGUEZ
Laboratorio de
Química de Suelos y
Plantas. Escuela
Nacional de Ciencias
Biológicas. Instituto
Politécnico Nacional.

HISTORIA

Por las investigaciones arqueológicas sabemos que el hombre empezó a cultivar plantas desde hace unos 10 ó 12 mil años aproximadamente. Sin duda el desarrollo de este arte por el hombre primitivo, fue pronto seguido por la aplicación al suelo de abonos animales primero y otros materiales después, con objeto de aumentar, empíricamente, la producción de las cosechas. Sin embargo, el uso de materiales fertilizantes no se ha generalizado sino en los últimos 100 años y la aplicación científicamente controlada de los mismos data de fecha más reciente (7).

La atención mundial sobre la importancia de los elementos indispensables para el desarrollo de las plantas, se limitó durante mucho tiempo a estudiar los elementos N, P y K, debido a que son los factores limitantes del desarrollo que requiere la planta con mayor premura. Siete elementos más: Ca, Mg, S, C, O, H y Fe (20) se reconocieron como nutrientes esenciales para las plantas; y durante los últimos 25 años se ha investigado mucho acerca de la función que desempeñan en el crecimiento y composición de las plantas otros elementos llamados oligoelementos, elementos menores, micronutrientes o elementos traza, que tienen de común el ser requeridos por las plantas en pequeñísimas cantidades, a pesar de lo cual son de fundamental importancia para la vida de las mismas.

En el grupo de oligoelementos que ha atraído poderosamente la atención de los investigadores de Química de Suelos y de Fisiología Vegetal, destacan los elementos B, Mn, Zn, Cu y Mo.

De ellos sobresale el boro; aun cuando no se ha precisado de manera definitiva su función en el crecimiento de las plantas, sí se ha comprobado que es un oligoelemento cuya presencia y concentración en el suelo determina en forma palpable, claramente visible, el desarrollo de la planta.

La influencia del boro en el desarrollo de las plantas fue estudiada por vez primera en 1876 por Peligot (19), quien demostró con sus experimentos que los efectos tóxicos del boro eran la causa de que las hojas de las plantas se amarillaran y secaran. Durante muchos años se determinó la cantidad de boro en el agua, en los suelos y en las plantas, pero no fue sino hasta 1910 que se demostró que era un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, cuando Agulhon (1) cultivó trigo en arena que contenía diferentes cantidades de boro. Luego, en 1923, Warington (25) publicó un estudio titulado: "El efecto del ácido bórico y el bórax sobre el haba y otras plantas" y a partir de la publicación de este trabajo un número cada vez más creciente de investigadores se han interesado en la función del boro en las plantas.

RELACIONES BORO-PLANTA

Los trabajos de Shive (24) demuestran que el boro es factor importante en la síntesis orgánica en los vegetales. Shive encontró que las plantas cultivadas en suelos deficientes en boro presentaban un aumento en el contenido de pectinas y una disminución de lípidos; si las plantas se cultivaban en suelos con exceso de boro, sucedía lo contrario, los lípidos aumentaban y las pectinas disminuían; cuando se cultivaba la planta en suelos con cantidades óptimas de boro, el contenido de pectinas y lípidos de la planta eran normales. Todo esto sugiere que el

boro influye en la síntesis de carbohidratos y en el metabolismo de los lípidos. Shive supone que esta influencia del boro es indirecta, es decir, que el boro aumenta la absorción de Ca por la planta, ya que en las plantas verdes con altas concentraciones de Ca activo, la síntesis de carbohidratos puede dar lugar a la formación de lípidos.

Investigaciones posteriores demuestran que el boro puede actuar en forma similar en los procesos metabólicos de otros iones. Así, Scarseth (8) ha demostrado que las plantas se desarrollan normalmente sólo cuando existe cierta relación entre la absorción del boro y la absorción del calcio.

Brigs (6) observó una disminución en la absorción de nitratos por las plantas cultivadas en soluciones deficientes en boro.

White y Stevens (26) han observado, en sus experimentos de campo, que los síntomas de deficiencia de boro en las plantas se acentúan con el aumento creciente de la concentración de potasio.

Beckenbach (4) encontró que las plantas cultivadas en soluciones deficientes en fosfatos requerían más boro que las cultivadas con cantidades adecuadas de fosfatos.

Gum (11) encontró menor contenido de azúcares en betabeles y jitomates cultivados en suelos deficientes en boro.

Hammer (12) encontró menor cantidad de caroteno y riboflavina en jitomates cultivados en suelos con bajo contenido en boro asimilable.

Lyon y Parks (13) encontraron una estrecha relación entre el contenido de ácido ascórbico del jitomate y la deficiencia de boro en la planta.

Varios investigadores rusos (2) han encontrado que pequeñas cantidades de boro en los fertilizantes aumentan el contenido de clorofila en las hojas de los cítricos, mientras que cantidades excesivas lo disminuyen.

Purvis y Hanna (22) han aumentado el rendimiento por hectárea de varias legumbres —que presentaban síntomas de deficiencia de boro— con aplicaciones adicionales de bórax a los fertilizantes empleados.

Bear (3) ha recomendado que se apliquen 20 Kg de bórax por hectárea cada dos años a los alfalfares del Estado de New Jersey, con lo que en muchos lotes se han duplicado las cosechas.

Brenchley (5) encontró que el boro ayuda al desarrollo de los nódulos de las leguminosas y favorece el crecimiento de los microorganismos nodulares.

Eaton (9) asegura que el boro disminuye los efectos de las sequías, mejora las cualidades de conservación de las frutas y es esencial para la formación de auxinas por las plantas.

Finalmente, Powers (20) concluye que, dentro de ciertos límites, el boro aumenta el contenido de caroteno y de clorofila de la alfalfa.

OBJETO DEL TRABAJO

Debido fundamentalmente a que el consumidor paga al agricultor exclusivamente el peso y aspecto de su cosecha sin preocuparse por la calidad del producto que adquiere, casi todas las investigaciones de suelo-planta tienden a obtener mayor producción por hectárea. Sin embargo, en los últimos 10 años, varios investigadores han empezado a estudiar los problemas de relación suelo-planta-hombre y a encauzar sus investigaciones tratando de lograr el aumento no sólo de la cantidad sino además de la calidad de los cultivos. Recientemente el Departamento de Agricultura de E. U. A. ha creado un Laboratorio de Plantas, Suelos y Nutrición, dedicado exclusivamente al estudio de estos problemas.

Desde el punto de vista nutritivo el contenido mineral de los forrajes es sin duda de gran importancia, por lo que se consideró interesante estudiar la relación que pudiera existir entre el contenido de boro asimilable en los suelos y la concentración de Ca, P, N, K, Mg, Fe, Cu, S y B en la alfalfa.

Por otra parte, como se conoce poco acerca de las relaciones B-Ca, B-Mg, B-K, B-PO₄ y B-NO₃, también se consideró interesante estudiar las consecuencias en la planta por la adición de boro a un suelo que contuviera

estos iones y principalmente en lo que respecta al calcio por ser la mayor parte de nuestros suelos de tipo calcáreo y por tener la alfalfa un tipo de cultivo que requiere para su óptimo desarrollo condiciones de neutralidad o ligera alcalinidad en el suelo. Se están llevando a cabo en invernaderos, experimentos similares con jitomates y betabeles cultivados en macetas con tierra y recipientes con arena y soluciones nutritivas, buscando fundamentalmente en estos casos alguna relación entre el boro y el contenido de carbohidratos de estas plantas (14).

Sin embargo esta exposición se refiere únicamente a los experimentos con alfalfa en lo que respecta a la asimilabilidad del boro por la planta en relación al contenido de calcio soluble de los suelos.

Los resultados acerca del efecto del calcio asimilable en los suelos y la reacción ácida o alcalina de los mismos son algo contradictorios. Así Eaton y Wilcox (10), indican que hay un incremento en la fijación del boro con el aumento del pH del suelo; mientras que Parks (18) asienta que la cal disminuye la fijación y por otra parte, Drake (8) no encuentra variación alguna en la fijación de boro por los suelos con pH que fluctúan desde 4.1 hasta 11.6 Midgley y Dunkle (15) encontraron que un aumento en la aplicación de cal a los suelos intensifica la fijación del boro por los mismos. Reeve, Prince y Bear (23) demuestran que la elevación del pH de los suelos no afecta el contenido de boro hidrosoluble en los mismos. Olson y Berger (17) empleando hidróxido de sodio, hidróxido de calcio y ácido clorhídrico para cambiar el pH del suelo concluyen que los cationes tienen poca importancia en la fijación de boro, pero que la alcalinidad producida por ellos se tradujo en un aumento en la fijación de este elemento. Por otra parte, Wolf (27) empleando hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, hidróxido de calcio e hidróxido de magnesio para elevar el pH del suelo, observó deficiencia, de boro únicamente en las plantas cultivadas en suelo que recibieron calcio y magnesio por lo que concluye que el ión empleado para regular el pH del suelo es de importancia fundamental para la fijación del boro. Purvis y Hanna (21) aseguran que el exceso de calcio soluble en los suelos no es la causa principal de las deficiencias de boro en las plantas. Finalmente, Naftel (16) encuentra que en los suelos con gran cantidad de calcio soluble el boro no es asimilado tan fácilmente por las plantas como en aquellos con bajo contenido de calcio y asienta la posibilidad de que la adición de calcio soluble al suelo estimule la acción bacteriana provocándose una competencia por el boro asimilable entre la planta y la bacteria.

MATERIALES Y METODOS

En este experimento se utilizó una tierra de tipo migajón-arenoso, proveniente de Atzacotalco que por largo tiempo venía siendo cultivada con alfalfa y cuyo análisis indicó un pH de 6.85; 3.18% de materia orgánica; 12.8 miliequivalentes de calcio reemplazable; 20.4 miliequivalentes de capacidad total de intercambio de iones y 0.68 partes por millón de boro hidrosoluble, como datos sobresalientes.

La tierra fue homogeneizada y colocada en macetones de un metro cuadrado de superficie y ochenta centímetros de profundidad.

El calcio fue aplicado en forma de hidróxido de calcio y el boro en forma de bórax.

Semilla de alfalfa común sin inocular fue utilizada como planta experimental por estar claramente establecido que esta planta requiere grandes cantidades de boro para su desarrollo normal.

La alfalfa fue cortada aproximadamente cada cuarenta días (al empezar a florear), pesándose inmediatamente y tomándose una muestra representativa de cada lote, que se puso a secar al horno a 65° C.

Las determinaciones de boro en suelos y plantas fueron hechas de acuerdo con los métodos de Berger y Trough, con las modificaciones hechas en el Laboratorio de Pruebas de Suelos de la Universidad de Rutgers (23).

Los lotes experimentales fueron divididos en tres series: 1) Serie Boro, (lotes: 2, 3, 4 y 5), 2) Serie Calcio-Boro (lotes: 6, 7, 8 y 9), 3) Serie Calcio (lotes: 10, 11 y 12), según las aplicaciones de hidróxido de calcio y bórax que se hicieron conforme a lo indicado en la tabla número 1, excepto en el lote 1 el cual quedó como testigo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las características de deficiencia de Boro (amarillamiento de las hojas terminales, poco desarrollo de la planta, etc.), no se presentaron en ningún lote, no obstante las grandes aplicaciones que se hicieron del hidróxido de calcio y la excesiva alcalinidad producida en consecuencia.

Síntomas de Toxicidad (manchas café amarillentas alrededor de la hoja empezando por las más viejas, falta de desarrollo de la planta, etc.), se observaron tenuemente en el lote 5 al que se añadió 100 kilogramos por hectárea de bórax, más esto sucedió sólo en la primera y segunda cosechas para después normalizarse, lo que indica que en ausencia de grandes cantidades de calcio soluble, el proceso de fijación del boro por el suelo es lento y que la lexicación del mismo se verifica rápidamente.

TABLA 1 CONTENIDO DE BORO EN LA ALFALFA, EN DIEZ CORTES SUCESIVOS

Lote	Tratamiento			Contenido de boro en la alfalfa en p.p.m										Valor medio
	Kg/Ha		pH	Cortes:										
	Cal	Borax		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	0	0	6.85	59	62	54	46	42	39	66	38	64	42	51.2
2	0	10	6.85	68	91	87	84	62	66	98	64	89	78	78.1
3	0	25	6.85	82	108	96	96	89	93	109	102	107	98	98.0
4	0	50	6.9	112	132	108	116	98	92	129	107	114	112	112
5	0	100	6.95	157	184	138	142	129	127	158	124	146	114	141.9
6	500	50	7.2	108	134	129	133	118	116	130	114	121	107	112.2
7	1000	50	7.4	112	138	128	126	107	109	119	109	114	106	116.8
8	2000	50	7.8	91	98	89	87	78	714	86	82	83	82	85.0
9	4000	50	8.25	72	78	64	70	—	—	—	—	—	—	71.0†
10	1000	0	7.3	48	59	54	46	47	40	—	—	—	—	49.8*
11	2000	0	7.8	42	48	46	52	44	43	—	—	—	—	45.8*
12	4000	0	8.2	28	36	32	34	—	—	—	—	—	—	32.5†

† Experimento suspendido después del cuarto corte

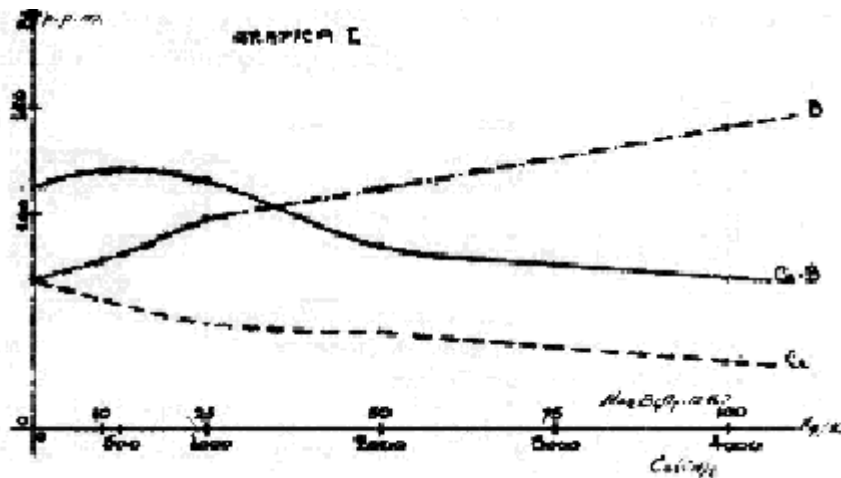
* Experimento suspendido después del sexto corte

Como podrá verse en la tabla 1, la concentración de boro en la planta siempre fue mayor en el segundo corte que en el primero, posiblemente debido al antagonismo iónico entre el K y el B; pues el análisis químico mostró una excesiva acumulación de K en las muestras del primer corte.

Después del segundo corte tendió a disminuir la concentración de boro en la planta debido a la lexicación del bórax; a la fijación del boro por la arcilla coloidal y a su transformación en compuestos no asimilables por la planta. Sin embargo en el cuarto corte se observaron resultados divergentes en varios lotes.

En el séptimo y noveno cortes se encuentran mayores concentraciones de boro que en los cortes anteriores y posteriores, con la circunstancia de que por razones imprevistas dichos cortes fueron hechos después de 50 días de crecimiento, hecho al que se puede atribuir tal acumulación.

En la gráfica 1 se observa que en la Serie Boro la concentración de este elemento en las plantas aumenta con la aplicación de mayores cantidades de bórax.



Gráfica 1.

En la Serie Calcio, en cambio, se observa una disminución paulatina del contenido de boro en la planta, con el aumento del valor del pH del suelo, particularmente después del pH 7.8 por lo que este factor parece ser determinante en la asimilabilidad del boro por las plantas, sin embargo experiencias hechas en el Laboratorio de Química de Suelos y Plantas de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas con betabeles cultivados en arenas con soluciones nutritivas controladas (14) nos hace creer que no es exclusivamente el pH es causante de la inasimilabilidad del boro ya que no se encontraron grandes diferencias al cambiar el pH de la solución nutritiva de 6 a 7.3 con hidróxido de sodio en cambio al aumentar la concentración de iones-calcio disminuyó gradualmente la concentración de boro en la hoja del betabel y se observaron los síntomas característicos de carencia de este elemento.

En la Serie Calcio-Boro se observa que al adicionar 500 kilos por hectárea de hidróxido de calcio más 50 kilos por hectárea de bórax, se produce la mayor concentración de boro en la planta para luego disminuir con las mayores aplicaciones de hidróxido de calcio, tal como si en presencia de grandes cantidades de boro, un poco de hidróxido de calcio estimulara su absorción; ello puede deberse a la acción de los oxidrilos en la transformación del tetraborato de sodio al correspondiente metaborato. En cambio, al aumentar la cantidad de calcio más allá de ciertos límites, el calcio hace decisiva su presencia y con la mayor concentración de oxidrilos acentúase la formación del metaborato de calcio, que además de ser muy poco soluble es estructura molecular, según indica Zachariassen (28), es muy compleja por estar formada por una cadena interminable de grupos BO_3 , estando el boro rodeado por tres átomos de oxígeno, de dos de los cuales son compartidos por otro grupo BO_3 y así sucesivamente, estando lateralmente unidos con átomos de calcio rodeados de ocho átomos de oxígeno, por lo que la absorción del boro por la planta es obstruida; a diferencia de los metaboratos de sodio y potasio, en cuya estructura el radical ácido consiste de tres átomos de boro y seis átomos de oxígeno formando un triángulo casi equilátero, estos triángulos se unen para formar radicales $(\text{B}_3\text{O}_6)^-$ y los nueve átomos quedan en el mismo plano (29), con lo cual la absorción del boro es más fácil.

CONCLUSIONES

1. La presencia de grandes cantidades de calcio soluble en el suelo tienden a disminuirla asimilación del boro por la alfalfa.
2. La alfalfa absorbe mayor cantidad de boro a medida que se aumenta la concentración de este elemento, en forma asimilable en el suelo.
3. La concentración de boro en la alfalfa aumenta con la madurez de la planta

4. No se observaron síntomas de deficiencia de boro no obstante la aplicación de hidróxido de calcio en cantidades hasta de 4,000 kilogramos por hectárea, elevándose el pH hasta 8.2.

5. Síntomas de toxicidad sólo fueron observados tenuemente en las dos primeras cosechas de un lote al que se aplicaron 100 kilos por hectárea de bórax.

6. La lexiciviación del bórax en la tierra usada se verifica rápidamente y el proceso de fijación por el suelo es lento.

7. Al aplicar a un lote 50Kg/Ha. de bórax en presencia de 500 Kg/Ha. de hidróxido de calcio, las plantas absorbieron mayor cantidad de boro que cuando se aplicó exclusivamente el bórax.

REFERENCIAS

1. AGULHON, HENRI. Reserches sur la prèsence et la role du bore chez les végétaux. Thesis 155 pp. De L'Universitate de Paris (1910). Maine Agr. Exp. St. Bull. 404(1941).
2. ANONYMOUS. The influence of manuring on the Chlorophyll Accumulation. Sovet. Subtrop. N° 4: 60-62 (1938). Dennis, R. W. G. Boron and Plant Life. Part. VI.
3. BEAR, F. E. Notas del curso "Soils and Fertilizers" 1948.
4. BECKENBACH, J. R. Functional Relationships between Boron and various anions in the Nutrition of the tomato. Florida Agr. Exp. Stn. Tech. Bull. 395 (1944).
5. BRENCHLEY, W. E. The essential nature of certain minor elements for plant nutrition. Bot. Review 2: 173-197 (1936).
6. BRIGGS, G. B. Effect of Boron in the Substrate on the rate of Nitrate absorption and on Nitrogen Distribution in Nasturtium. Plant Physiology 18: 3, July 1943.
7. COLLINGS, Gilbeart. Commercial Fertilizers. The Blakiston Company (1946).
8. DRAKE, M., SIELING, D., and SCARSETH, G. Calcium-Boron Ratio as an important Factor in controlling the Boron Starvation of Plants. Jour. of Amer. Soc. of Agronomy 33:5 (1941).
9. EATON, F. M. Dificiency, Toxicity and Accumulation of Boron in Plants. J. Agr. Res. 69: 237-277 (1944).
10. EATON, F. M., and WILCOX, L. V. The behavior of boron in soils. U. S. D. A. Tech. Bull. 696 (1939).
11. GUM, O. B., BROWN, H. D., and BURREL, R. C. Some effects of Boron; and Manganese on the queality of beets and tomatoes. Plant. Physiology, 20: 267-275 (1945).
12. HAMMER, K. C. Minor Elements and Vitamin content of Plants. Soil Science 60: 165-171 (1945).
13. LYON, C. B. and PARKS, R. Q., Boron Deficiency and the Ascorbic Acid content of tomatoes. Bot. Gas. 105: 392-393 (1944).
14. MAYAGOITIA, HÉCTOR. Influencia del boro en la composición quimica del betabel y jitomate. Material no publicado.
15. MIDGLEY, A. R. and DUNKLEE, D. E. The effects of lime on the fixation of borates in soils. Soil Science Soc. Amer. Proc. 4: 302-307 (1940).
16. NAFTAEL J. A. Soil Liming investigations: The relation of boron deficiency to over-liming injury. Jour. of the Amer. Soc. of Agron. 29: 9 (1937).
17. OLSON, R. V. and BERGER, K. C. Boron Fixation as influenced by pH, organic matter content and other factors. Soils Sc. Society of America: Proceeding. 11: 216-220 (1946).

18. PARKS, R. Q. The fixation of added boron by Dunkirk fine sandy loam. *Soil Science* 57: 405-415 (1944).
19. PELIGOT, E. De l'action que l'acide borique et les borates exercent sur les vegetaux. *Compts. Rendus. Acad. Sci.* 83: 686-688 (1976) *Maine Agr. Exp. Sta. Bull.* 404 (1941).
20. POWERS, W. L. The status of minor elements in Oregon soil fertility and plant nutrition. *Circular* 418 (1947).
21. PURVIS, E. R. and HANNA, W. J. The influence of overliming upon boron deficiency. *The American Fertilizer* october 14 (1939).
22. PURVIS, E. R. and HANNA, W. J. Vegetable crops affected by boron deficiency in Eastern Virginia. *Virginia Truck Exp. Sta. Bull.* 105 (1940).
23. REEVE, E., PRINCE A. and BEAR, F. The Boron Needs of New Jersey-Soils. *Bull.* 709 (1944).
24. SHIVE, J. W. Significant roles of trace elements in the nutrition of plants. *Plant. Physiology* 16: 435-441 (1941).
25. WARINGTON, K. The effect of boric acid and borax on the broadbeans and certain other plants. *An. Bot.* 37: 629-672 (1923).
26. WHITE-STEVENSON, R. H. Boron deficiency on Long Island. *Better Crops with plant food* 26: 6 (1942).
27. WOLF B. Factors influencing availability of Boron in Soil and its distribution in plants. *Soil Science* 50: 209-217 (1940).
28. ZACHARIASEN W, H. and ZIEGLER, G. E. The crystal Structure of Calcium metaborate, CaB_2O_4 . *Ztschr. Krist.* 83: 354-361 (1932).
29. ZACHARIASEN W. H. The crystal structure of Potassium Metaborate, $\text{K}_3(\text{B}_2\text{O}_6)$ *Jour. Chem. Phys.* 5: 919-922 (1937).