ELEMENTOS MENORES EN LA PRODUCCION AGRICOLA CON ESPECIAL REFERENCIA A LOS SUELOS DE LA ARGENTINA

COMUNICACION
DEL ACADEMICO DE NUMERO
Ing. Agr. ICHIRO MIZUNO

INTRODUCCION

Para ubicar y destacar el papel de los elementos menores resulta conveniente tomar las ideas del Dr. Stout (14), de la Unidad de California, autoridad indiscutida en la materia.

Dicho investigador resalta el papel de estos elementos tomando como ejemplo el molibdeno. Este se encuentra en la composición de los vegetales en el orden de 0.03 ppm sobre base seca. A título comparativo, la concentración del carbono es del orden de 400.000 ppm, o sea que la relación C/Mo es de 13×10^6. Pero si se toma la relación atómica o sea por los números de átomos presentes de cada uno, la relación se amplía aproximadamente 8 veces, llegando a 100×10^6. Esta da una idea de la cantidad casi infinitesimal en que se encuentran los elementos menores en vegetales y suelos.

Pero esta cantidad tiene un efecto tremendo. Stout hace una comparación entre la energía obtenible del U^{235} y del molibdeno, este último en relación a la producción vegetal.

1 kg. de uranio desprende en la fisión una energía equivalente a 20.000 t. de TNT, con un valor energético de 1.100 cal./kg. mientras que el trébol seco tiene un valor energético de 4.200 cal./kg.

La comparación lleva a la realidad práctica recordando lo sucedido en Australia donde varios millones de hectáreas son insuficientes en Mo.

En dicho país las praderas de trébol se fertilizaban con fosfatos provenientes de las islas cercanas del Pacífico, con excelentes resultados para elevar el rendimiento de la forrajera.

Pero durante la última guerra mundial, se tuvo que cambiar el origen de los fosfatos, recurriendo al continente africano. Las praderas comenzaron a decaer llegando casi a la receptividad original de 1.6 ovino/ha.

La incorporación de 70 g. de molibdeno/ha. con el fosfato elevó la receptividad a 7.1 ovino/ha.

DIFICULTADES EN LA INVESTIGACION DE LOS ELEMENTOS MENORES

El estudio de los microelementos del suelo y su relación con los vegetales presenta las dificultades generales de los nutrimentos y otras propias.

1. Conocimiento de la esencialidad

La lista de elementos que entran en la composición química de los vegetales es larga, encontrándose prácticamente la mayoría de los elementos naturales pero son pocos los que se han comprobado como esenciales para la vida vegetal.

Para su verificación se requieren pruebas de que son necesarios para el normal desarrollo vegetal, conocer su función específica y comprobar que

no pueden ser reemplazados por otros elementos.

Una hipótesis simple acerca de sus roles en el metabolismo vegetal es la que enuncia que forman complejos estables con ligandos naturales. Un microelemento es esencial cuando la actividad biológica se produce solo en presencia de dicho complejo o sea que debe estar fuertemente complejado, en ocasiones en forma irreversible.

Actualmente los que han merecido mayor atención en la producción vegetal, con casos de deficiencias comprobadas son: boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno y zinc, sin descartar una cantidad que se encuentra en estudio.

La investigación de la esencialidad de los microelementos es una tarea ardua y delicada, puesto que se requieren instalaciones y medios adecuados que aseguren la carencia del que se encuentra en estudio y medios analíticos suficientemente sensibles y prácticos para su detección cuantitativa.

El primer aspecto es cada vez más difícil de asegurar por los problemas de contaminación ambiental; en cambio, el aspecto analítico recibió un gran impulso con la aparición de la espectrofometría de absorción atómica a la que siguieron instrumentos cada vez más avanzados.

2. Complejidad

La dinámica de los microelementos en el suelo es compleja; las formas en que se encuentran los microelementos en el suelo son:

- Estructural: Forma parte de la constitución íntima de las partículas sólidas.
- Precipitado: El elemento, liberado durante la meteorización, precipita formando compuestos insolubles.
- Ocluido: Durante el proceso de la precipitación, el compuesto precipitante engloba entre sus cristales el mismo u otro elemento.
- Quelatado o complejado: Uniones firmes con fracciones orgánicas.
- Adsorbido: Retenido en la superficie de las partículas coloidales.
- Soluble: La que se encuentra en la solución del suelo.

Para un elemento dado, las especies químicas presentes en las distintas formas difieren y en el caso de fracción soluble y posiblemente adsorbida, dependen del pH y del potencial redox del suelo, para aquellos que presentan más de un número de oxidación.

La fracción aprovechable por los vegetales es la soluble. La dinámica del sistema hace que en la medida que dicha fracción disminuye por la absorción vegetal, se reponga por el aporte de las formas restantes; parte de la adsorbida pasa a la solución externa mientras que la precipitada tenderá a cubrir el producto de solubilidad del compuesto.

Los cálculos químicos que pueden efectuarse acerca de esta dinámica tropiezan con el inconveniente que no se conocen con exactitud las especies químicas actuantes.

En general la solubilidad del elemento en el sistema suelo: elemento es considerablemente menor que la correspondiente a las especies químicas comunes.

3. Dificultades en el diagnóstico de la disponibilidad

Dado que solo una pequeña parte del contenido total es aprovechable por los vegetales y que esta fracción es mayor que la soluble en agua, se utilizan distintas soluciones para la extracción de la fracción aprovechable.

El objetivo es obtener una fracción del elemento que sea proporcional a la cantidad que extraen los cultivos.

A tal efecto se utilizan soluciones salinas, ácidas, complejantes siendo estas últimas las que actualmente tienen mayor utilización.

El estudio comparativo de los distintos extractantes se realiza mediante ensayos de calibración. Los mismos consisten en la utilización de varios extractantes, determinándose las cantidades que cada uno de ellos extrae del elemento en cuestión. Paralelamente se efectúan ensayos de invernáculo con los suelos analizados, midiéndose en general la biomasa producida en cada suelo y la concentración del elemento. Mediante estudios estadísticos se determina cuál es el

extractante que refleja mejor la absorción vegetal.

Mediante el procedimiento mencionado se logra una primera aproximación la que deberá ser verificada por ensayos de campo.

Esta vía presenta algunos problemas:

a) Las exigencias vegetales varían según especie y variedad.

b) La disponibilidad de un microelemento depende de las características del suelo. Esto es, que una determinada cantidad de la forma extractable de un elemento podrá satisfacer o no las necesidades de una especie y variedad conforme a las características siguientes:

- pH del suelo, que hace variar el aprovechamiento del elemento.
- Cantidad y calidad del material arcilloso.
- Materia orgánica.
- Potencial redox.
- Actividad biótica.
- Interacciones.

c) Otras características a tener en cuenta son: las condiciones de clima: temperatura, luminosidad, agua.

Este panorama tan complejo, en el que intervienen múltiples variables que dependen del vegetal, del suelo y del clima hace muy difícil la generalización.

Por ello, una cantidad determinada de la forma extractable de un elemento puede ser correctamente interpretada, a los efectos del diagnóstico, cuando se posee un método analítico calibrado y datos para determinadas situaciones de las variables intervinientes.

ELEMENTOS MENORES EN LA PRODUCCION AGRICOLA. CONSIDERACIONES SOBRE LA SITUACION EN EL ARGENTINA

1. Estado del conocimiento actual

Los estudios realizados en la Argentina son muy escasos en comparación a los elementos mayores, refiriéndose la mayoría a estudios básicos tales como comparación de distintos extractantes, influencia de las fracciones orgánicas y unos pocos al contenido en vegetales y su relación con la cantidad de extractable.

Salvo escasas excepciones, que no se han detectado, no se encuentran trabajos referentes a la calibración de métodos que permitan diagnosticar posibles casos de deficiencia.

Un trabajo que se aproxima al objetivo mencionado es el de S. Ratto de Miguez (14) tratando el tema de los microelementos en la producción de maíz.

Salvo una excepción (12) tampoco se encuentran datos que se refieran a los tenores totales de microelementos en la producción de maíz.

Salvo una excepción (12) tampoco se encuentran datos que se refieran a los tenores totales de microelementos en suelos de la Argentina.

El estudio más enjundioso es el realizado por la FAO para suelos de la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe y Córdoba (19) en el que se efectuaron determinaciones de la forma extractable en una gran cantidad de muestras, concluyendo que la provisión actual de microelementos en esos suelos era, en líneas generales, satisfactoria.

Giuffre et al (9) en determinaciones de molibdeno en algunos suelos argentinos aplica una variante en la extracción de dicho elementos. La solución que más se ha utilizado es la denominada de Tamm, que consiste en un sistema oxalato-ácido oxálico, la que es engorrosa puesto que se debe recurrir a la calcinación para destruir los compuestos orgánicos, operación delicada que se presta a pérdidas y contaminaciones.

Giuffre en un trabajo anterior (8) efectuó un estudio comparativo entre la solución de Tamm y la utilización de resinas que absorben los molibdatos, logrando resultados muy satisfactorios, siendo ésta la técnica que se utiliza en la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía de la UBA.

Mizuno et al (13) analizaron muestras que cubrían una transecta desde el SE de la provincia de Buenos Aires hasta la provincia de La Rioja, determinando el boro extractable en agua caliente, método que aún hoy no ha podido ser superado. En todos los casos se encontró una provisión de boro disponible de aceptable a muy buena.

Ratto et al (15) estudian las ventajas del método de la Azometina H en la determinación de pequeñas can-

tidades de boro, en comparación con los métodos tradicionales, llegando a la conclusión de que ofrece apreciables ventajas.

Posteriormente lo utiliza para el estudio del contenido de boro en suelos y aguas de la provincia de La Rioja (15). En el mismo se comprueban los excesivos tenores de boro en las aguas y suelos analizados, que llegan a niveles tóxicos para los cultivos.

Conti et al (4) estudian los microelementos en relación a la producción de trigo.

Tiraboschi et al (2) determinan la disponibilidad de algunos microelementos en la Depresión del Salado.

Especial atención ha merecido el problema del boro en girasol en el trabajo de Digg et al (5).

Finalmente se encuentran trabajos básicos como los de Acebal y Grassi (1); Carpio y Merzari (3) Facchinetto y Grassi (6); Gaviola (7); Grassi y Diez (10); Mirave y Orioli (11); Mizuno et al (12); Rosell (18).

Situación en la Provincia de Buenos Aires

A continuación se comentan los trabajos que se han hallado referentes a la provincia de Buenos Aires.

Boro

Los resultados obtenidos por S. Ratto de Miguez (17) para las Series de suelos: Rojas, Delgado, Hughes, Arroyo Dulce y Chacabuco indican un 35 % de muestras que presentan posibilidades de deficiencia (menos de 0.5 ppm extractable con agua caliente), mientras que el 94 % tienen valores menores de 1 ppm.

Son conocidas las exigencias en boro de cruciferas como coliflor, repollo y otros como alfalfa, manzano, rosales. Pero en cultivos intensivos, salvo para la alfalfa, es poco lo que se conoce en la Argentina. Aparentemente el girasol sería un cultivo relativamente exigente.

Diggs, Ratto y Shorrok (5) hicieron un detallado estudio del problema del girasol, particularmente en la provincia de Buenos Aires, cuyas conclusiones fueron remitidas al Congreso Internacional del Girasol.

En la Argentina el boro presenta dos facetas contrapuestas. Por un lado posibles deficiencias aún no claramente detectadas y por otro el exceso Esto último caso se presenta en el noroeste de la Argentina, como se revela en el trabajo de Ratto et al (15) donde el exceso llega a niveles tóxicos tanto en aguas de riego como en suelos perdiéndose así valiosos cultivos por falta de estudios básicos antes de la implantación de los mismos.

En estos momentos el boro merece, en la Argentina, mayor atención como elemento tóxico más que por su deficiencia. Los cultivos como jojoba y vid, que se implantan en el noroeste requieren atención prioritaria. No obstante, no se deben descuidar posibles deficiencias particularmente en cultivos exigentes en este microelemento.

Manganeso

Se trata de un elemento cuyo comportamiento depende en gran medida del rH2, esto es, del pH y del potencial redox de los suelos.

En tal sentido los suelos de reacción neutra a alcalina y de bien a excesivamente aereados tenderán a ser deficitarios mientras que en las condiciones opuestas reacción ácida y mal aereados tenderán a presentar de buena a excesiva cantidad de la forma aprovechable.

El manganeso, como otros elementos, influye en la producción vegetal cuantitativa y cualitativamente.

Son numerosas las especies que se sabe son exigentes en este elemento, entre los que cabe mencionar: trigo, avena, porotos, soja, citrus, manzano, duraznero, pepino, lechuga, espinaca.

Cuantitativamente se han visto los beneficios del aporte del manganeso conjuntamente con zinc por vía foliar en porotos en la zona del NOA, donde los resultados preliminares arrojan aumentos del 20-30 % en el rendimiento.

Cualitativamente se sabe que en ocasiones influye sobre la buena conservación de la manzana en cámaras frigoríficas, particularmente en las no climatizadas.

El manganeso es un elemento abundante en el suelo. La bibliografía se-

ñala valores entre 200 y 3.000 ppm, estimándose una media de 850 ppm.

Para la provincia de Buenos Aires, Mizuno et al (12) encontraron para los distintos horizontes de 9 perfiles valores entre 430 y 1.020 ppm, con una media de 820 para los horizontes superficiales, lo que coincide sugestivamente con la media antes mencionada.

Con referencia a la fracción extractable, que es la que se utiliza para el diagnóstico, se recurre a distintos extractantes que arrojan valores diferentes.

Mizuno et al encontraron, en el trabajo antes mencionado, valores entre 1.8 y 69 ppm utilizando ácido fosfórico O.1N.Conti et al(4) con solución de ácido acético más hidroquinona encontraron entre 53 y 217 ppm; Ratto de Miguez en su trabajo de Tesis (17) entre 64 y 216 ppm.

Los resultados disponibles de la fracción extractable, con referencia a la provincia de Buenos Aires, alertan sobre posibles casos de valores cercanos a los límites críticos; particularmente para aquellos cultivos exigentes mencionados al principio.

Cobre

Se ha pensado que la disponibilidad del cobre aumenta con la acidez de los suelos. No obstante, hay evidencias, como algunos valores en suelos halohidromórfícos y el contenido en vegetales en distintos suelos, que ponen en duda la afirmación.

Con referencia a los requerimientos vegetales, se mencionan como exigentes: cebada, avena, alfalfa, tréboles, citrus, espinaca, zanahoria.

La bibliografía menciona valores para cobre total entre 10 y 200 ppm, con una media de 20 ppm.

Para suelos de la provincia de Buenos Aires se encontraron valores entre 19 y 45 ppm. Con referencia a la fracción extractable, utilizando solución de EDTA, la bibliografía (4), (12), (17) señala valores entre 1,13 y 4,35 ppm.

El cobre, como el manganeso y el zinc, presenta un factor enmascarante que es el uso de plaguicidas que contienen dichos elementos, consideración válida en agricultura intensiva.

Los etilen bis ditiocarbamatos de zinc o manganeso, el caldo bordelés, el oxicloruro de cobre son ampliamente utilizados. En el caso del cobre se mencionan extensas áreas, particularmente cafetales en los que el uso excesivo ha llevado a niveles tóxicos en los suelos.

Por lo dicho, el panorama del cobre como nutrimento en la producción vegetal del país permanece como incógnita; no así en la producción animal, en la que se han detectado casos de deficiencias, generalmente inducida por exceso de molíbdeno y agravados por los sulfatos de aguas de bida.

Zinc

El comportamiento del zinc, como se dijo anteriormente, se encuentra íntimamente relacionado con el pH de los suelos. Su actividad aumenta en relación inversa al pH.

Son numerosas las especies vegetales que se sabe son exigentes en zinc: maíz, sorgo, cítricos, manzanos, durazneros siendo posiblemente los porotos los más exigentes. En algunos ensayos efectuados en la zona de Chacabuco se lograron diferencias significativas en el rendimiento con pulverizaciones de compuestos de zinc.

La bibliografía menciona como niveles de zinc total en suelo valores entre 10 a 300 ppm, con una media de 50 ppm. Mizuno et al (12) encontraron valores entre 59 y 130 ppm considerando todos los horizontes del perfil límites que también pueden aplicarse cuando se consideran solamente los horizontes superficiales, notándose en estos últimos una tendencia a la concentración.

Con referencia a la forma extractable con solución 0.02M de EDTA, oscilaron entre 0.14 y 4.4 ppm, con neta tendencia a los mayores valores en los horizontes superficiales, lo cual indica una relación directa con la riqueza en materia orgánica.

S. Ratto de Miguez (17) encontró con el mismo extractante, valores entre 1.0 y 3.63 ppm en horizontes superficiales.

Conti et al (4) encontraron valores entre 2.41 y 5.31 ppm, Tiraboschi et

al (2) entre 1.6 y 2.8 ppm, para horizontes superficiales.

Por lo expuesto, los valores de zinc aprovechable se relacionan en forma directa con la riqueza en materia orgánica e inversa al pH, lo que permite prever que los suelos pobres en materia orgánica y reacción neutra a alcalina presentan posibilidades de deficiencia.

Hierro

Es un elemento abundante en los suelos y tanto más cuanto más viejos son los mismos, en virtud de su concentración como consecuencia de la pérdida de compuestos de sílice por fenómenos de hidrólisis y lixiviación. Es así que en los suelos tropicales se encuentran los mayores valores.

No obstante, en la práctica se encuentran casos de deficiencia, particularmente en suelos calcáreos. En suelos con poca aereación, ayudado por acidez acentuada; el hierro se moviliza excesivamente y puede llegar a niveles tóxicos (caso del arroz).

La bibliografía menciona valores entre 1 y 17 % de hierro total en los suelos. Mizuno et al (12) encontraron valores entre 2.1 y 3.5 %.

Para la determinación de la fracción extractable se utilizan una serie de soluciones como: complejantes, salinas, reductoras sin que hasta el momento se reconozca a alguna como de posible uso universal.

Entre las especies vegetales exigentes en hierro se mencionan: arroz, sorgo, espinaca, poroto, brócoli, coliflor, citrus y vid.

S. Ratto de Miguez (17) encontró entre 64 y 216 ppm de extractable con solución 0.02M de EDTA, mientras que Conti et al (4) encontraron con acetato de amonio valores menores de 32 ppm.

Son condiciones predisponentes para una eventual deficiencia de hierro suelos de reacción alcalina, con presencia de calcáreo y bien aereados mientras que en las condiciones opuestas puede llegar a niveles tóxicos.

Molibdeno

Es un elemento sumamente escaso en los suelos, pero afortunadamente las exigencias vegetales; como se dijo al comienzo son muy bajas. Su contenido en suelo es del orden de 0.0003 %, siendo el elemento que se encuentra en el porcentaje más bajo en suelo, menos aún que el cobalto.

El contenido en vegetales oscila normalmente entre algunas partes por millón a 60 o más ppm, contenidos altos que pueden provocar molibdenosis en seres humanos y animales.

En la bibliografía argentina no se han hallado trabajos referentes al contenido total en algunos suelos, por lo menos en las últimas décadas.

Con referencia al molibdeno aprovechable por los vegetales es de uso casi universal el extractantes denominado de Tamm, que consiste en una solución de oxalato y ácido oxálico, sistema complejo que requiere la destrucción de los oxalatos como operación previa a la determinación en sí. Giuffre et al (8) trabajando con resinas aniónicas, obtuvieron resultados estrechamente correlacionados con los que se logran con el extractante mencionado, lo que simplifica la técnica de la determinación. La misma autora, trabajando con algunos suelos argentinos obtuvo valores que oscilaron entre 0.02 y 0.63 ppm. Conti et al (4), trabajando con la misma técnica obtuvieron valores entre 0.07 y 0.10 ppm.

Entre las especies exigentes en este microelemento se mencionan: avena, sorgo, brócoli, coliflor, porotos. trébol, alfalfa.

La actividad del molibdeno es función inversa del pH del suelo, de tal modo que su deficiencia es más factible en suelos ácidos que en neutros o alcalinos. Tan íntima es la relación que en ocasiones, en situaciones de deficiencia del molibdeno, un encalado soluciona el problema.

Los factores que favorecen la mayor disponibilidad del molibdeno son la reacción del suelo y su aereación. La práctica indica que la alcalinidad y la mala aereación (suelos inundados) aumentan la actividad del molibdeno. Dichas características son también las propicias para excesos de molibdeno en vegetales.

TENDENCIAS FUTURAS

1. Es de gran interés el estudio de

los elementos menores, dadas las pequeñas cantidades que se encuentran en los suelos y la complejidad de sus dinámicas, factores que pueden llevar a los mismos a límites críticos. Si a ello se añade que los nuevos cultivares presentan cada vez mayores exigencias cuantitativas se acentúa dicha necesidad.

2. Es de interés el estudio de las cantidades totales de los microelementos, en función de alguna categoría sistemática como podría ser a nivel de subgrupo. De este modo se tendrá una idea de las reservas que disponen los suelos.

3. Es inmediata la necesidad del conocimiento de la disponibilidad de por lo menos algunos que pueden llegar a límites críticos. En tal sentido merecen atención prioritaria: zinc, molibdeno y manganeso en aquellas especies que se sabe son exigentes en alguno de ellos.

4. Es deseable que se unifique el uso de extractantes a efectos de hacer comparables los resultados.

5. Los microelementos deben ser estudiados también como posibles factores tóxicos, en suelos y en vegetales, como consecuencia de las poluciones resultantes de la actividad industrial, minera, transporte.

BIBLIOGRAFIA

1. ACEBAL, S. G.; GRASSI, R. L., y GUTIERREZ, D. O. "Comportamiento de menores en suelos". Actas de la IX Reunión Argentina de la Ciencia del los ácidos oxálico, cítrico y nitrilacético como extractante de elementos Suelo. 1980, t. 1: 225-231.

2. BARRANDEGUY DE TIRABOSCHI, D.; de LOPEZ CAMELO, L. G.; de SESE, Z. M.; BARBERIS, L. "Estimación de la disponibilidad de cobre y zinc en los suelos de la Depresión del Salado". Actas de la IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. 1980, t. 1: 243-253.

3. CARPIO, D.; MERZARI, A. H. "La determinación de trazas de hierro en la solución del suelo en un cultivo de arroz bajo inundación inoculado con nitrificadores, utilizando un método radioisotópico". 1980, Rev. Facultad de Agronomía (UBA) 1(2): 37-42.

4. CONTI, M. E.; de LOPEZ CAMELO, L. G.; de TIRABOSCHI, D. B.; de SESE, Z. M.; ARRIGO, N. "Caracterización de micronutrientes en la zona N y O de la región triguera argentina". 1982, Rev. Facultad de Agronomía (UBA) 3(2): 181-188.

5. DIGGS, A.; RATTO de MIGUEZ, S.; SHORROK, B. "Boro en girasol". 1988. Trabajo enviado al Congreso Internacional del Girasol, Yugoslavia.

6. FACCHINETTI, M.; GRASSI, R. L.; DIEZ, A. L. "Cobre, zinc, manganeso, hierro extractables en suelos por espectrofometría de absorción atómica". 1973, Agroquímica, 5: 413-423.

7. GAVIOLA de HERAS, S. "Micronutrientes en algunos suelos de la región árida y semiárida mendocina". 1985, Ciencia del suelo, 3(1-2): 23-29.

8. GIUFFRE de LOPEZ CAMELO, L.; BARRANDEGUY de TIRABOSCHI, D.; MASANI de SESE, Z.; MIZUNO, I. "Determinación del molibdeno extractable en algunos suelos argentinos. Estudio comparativo de dos métodos". 1980, Agroquímica XXIV(2-3): 213-221.

9. GIUFFRE de LOPEZ CAMELO, L.; de TIRABOSCHI, D. B.; NERVI, A.; de SESE, Z. M.; BARBERIS, L. A. "Estimación del molibdeno disponible en suelos de la Depresión del Salado". 1980, Agroquímica XXIV(5-6): 397-402.

10. GRASSI, R. L.; DIEZ, A. L.; ACEBAL, S. G. "Comportamiento del EDTA, CDTA y DTPA como agentes de extracción de elementos menores en suelos". 1980, Agroquímica XXIV 1: 78-87.

11. MIRAVE, P.; ORIOLI, G. "Movilidad edáfica de humatos de hierro y zinc". 1986, Revista Ciencia del Suelo, v. 4(2): 133-137.

12. MIZUNO, I.; VILLA, A. M.; de la PAZ GIMENEZ, M.; MORETTI, M.; SANGÜESA, V.; EFFRON, D.; BERASTEGUI, L. "Elementos mayores y menores en algunos suelos de la provincia de Buenos Aires". 1988, Rev. Agronomía (UBA). En prensa.

13. MIZUNO, I.; NUÑEZ, A.; RATTO, S. "Boro en algunos suelos argentinos". 1976, IDIA, Sup. 33: 124-128, VII Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo.

14. MORVEDT, J. J. et al. "Micronutrients in agriculture". 1972, SSSA, Madison Wisconsin, USA.

15. RATTO de MIGUEZ, S.; de SESE, Z. M.; de LOPEZ CAMELO, L. G.; MIZUNO, I. "Estudio del contenido de boro en suelos y aguas de la provincia de La Rioja mediante el uso de la Azometina H". 1984, Ciencia del Suelo, 2(1): 37-43.

16. RATTO de MIGUEZ, S.; de SESE, Z. M.; MIZUNO, I. "Boro. Su determinación en suelos y plantas". 1985, Rev. de la Facultad de Agronomía (UBA), t. 3(2): 139-144.

17. RATTO de MIGUEZ. "Disponibilidad de micronutrimientos en suelos dei área del NO de la pradera pampeana para el cultivo del maíz". 1988, tesis para optar el grado de Magister (inédito).

18. ROSELL, R. A.; MIGLIERINA, A. M.; NIVILLA, L. Q. "Constante de estabilidad de complejos de micronutrientes y ácido húmico". 1976, Actas de la 7ª Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, IDIA, Sup. 33: 117-123.

19. SILLAMPAA, M. "Micronutrients and nutrients status of soils". 1982, FAO, Soil Bull., 48, Roma.