

FERTILIDAD DE SUELOS. OBJETIVOS DE SU CONOCIMIENTO Y ALGUNOS ASPECTOS PROBLEMATICOS

Académico de Ing. Agr. ICHIRO MIZUNO

En esta exposición se tocarán algunos aspectos problemáticos del amplio campo de la fertilidad de los suelos y se efectuarán consideraciones referentes a temas no debidamente atendidos en el mismo.

En la I, II y III Reuniones Nacionales de Fertilidad y Usos de Fertilizantes no se interpretó el amplio objetivo que se persigue y se lo consideró como un mero fomento del uso de los fertilizantes.

Es por ello oportuno reiterar la idea acerca de la necesidad del conocimiento de la fertilidad de los suelos no sólo desde los puntos de vista bioquímico y físicoquímico, sino también de sus implicaciones actuales y futuras.

A continuación se comentarán tres aspectos: dos de importancia para una continuada y eficiente producción agropecuaria, el tercero referente a las repercusiones bioquímicas de la fertilidad de los suelos y usos de fertilizantes:

1. Conocer la problemática de la dinámica de los nutrimentos del suelo, cuali y cuantitativamente, para el mejor uso de los mismos y en los casos requeridos contemplar la posibilidad de utilizar correctores y/o fertilizantes, no sólo para una producción más eficiente sino fundamentalmente para mantener el nivel deseable de productividad.

Se presentan varias vías posibles de pérdida o degradación de los suelos; unos más o menos dramáticos como las pérdidas por erosión hídrica o eólica, por problemas de halohidromorfismo en suelos de regadío, por degradación de la capa superficial o problemas de densificaciones y otros más sutiles y lentos como es la pérdida gradual y lenta de nutrimentos por extracciones no compensadas y que se ha dado en llamar "microminería".

2. El segundo aspecto es consecuencia del anterior. Conociendo las reservas de los suelos pueden preverse las necesidades futuras y a la vez tenerlas presentes en las políticas agropecuarias.

3. Finalmente un aspecto aun tratado en forma insuficiente: las repercusiones biológicas de la fertilidad de los suelos y usos de fertilizantes.

1. Conocimiento de la dinámica de los elementos del suelo.

El centro del problema es obviamente el suelo, en el cual se encuentran los nutrimentos que satisfacen las necesidades de los cultivos.

El diagnóstico de la fertilidad edáfica química se basa en extraer por medios adecuados la cantidad de elementos presuntamente aprovechables por los vegetales (1-2).

Una primera observación al hecho es de que se tratan de parámetros de un instante dado de un sistema eminentemente dinámico en el espacio y el tiempo. O sea una instantánea de un proceso que reconoce su desarro-

llo entre un principio y un fin; el comienzo de la vegetación y la cosecha o maduración de los frutos. Por consiguiente dichos parámetros deben permitir la extensión desde tal principio hasta el fin.

La cantidad de nutrimentos que así se determinan se la relaciona con el rendimiento de los cultivos a través de experimentaciones que conduzcan a determinados límites de confiabilidad. Esta es la síntesis de un complejo problema (3).

a) *Métodos utilizados para la extracción extractante y modalidades.*

En el país tuvo gran difusión el Morgan, sistema acético-acetato; efectuándose las determinaciones de los cationes mayores (menos sodio) y fósforo. Eventualmente se determinaban en el extracto algunos elementos trazas.

Posteriormente se difundió el acetato de amonio, particularmente por las ventajas que implica en la etapa de las determinaciones analíticas, el remplazo del sodio por amonio. Paralelamente se comenzaron a utilizar extractantes diversos para los distintos elementos; por ejemplo Truog para fósforo, que posteriormente fue reemplazado por Bray y Kurtz para suelos ácidos y Olsen o sistemas con dióxido de carbono para suelos alcalinos.

Es altamente deseable la uniformidad en el uso de los extractantes y en lo posible el número de los mismos para el mayor número de elementos; de esta manera se consiguen dos ventajas: resultados comparables y ventajas de laboratorio como mayor rendimiento y eficiencia (4-5).

La bibliografía señala la utilización de numerosos extractantes para determinado elemento. Se da el caso de que algunos de ellos no tienen explicación convincente. Un ejemplo es el potasio. Por diversas razones algunos investigadores prefieren la utilización de la solución 0.1 M de ácido clorhídrico para la extracción de la fracción presuntamente aprovechable por los cultivos.

Trabajos efectuados con suelos argentinos (6-7) concluyen que para algunos Hapludoles, Argiudoles y Vertisoles, los resultados con dicha solución y con acetato de amonio normal pH 7.0 son prácticamente iguales. En otro trabajo, utilizado ácido clorhídrico 0.5 M y EDTA 0.1 M se obtuvieron resultados prácticamente iguales que con acetato de amonio.

Puede estimarse que resultados de la naturaleza mencionada inducen a un replanteo en la utilización de los extractantes específicos.

Distinta es la situación cuando se utiliza, por ejemplo, solución N de ácido cítrico con el concepto de potasio de tasa constante (8). Se entiende que este valor, mayor que el intercambiable en grado variable conforme a los suelos, comparado con aquella da una idea acerca de las reservas inmediatas.

Asimismo pueden verse algunos casos atípicos (bajo potasio de cambio con respuesta vegetal desproporcionada) que pueden explicarse por la relación entre las cantidades extraídas con NO_3H y acetato de amonio (7).

En el caso del fósforo, la cantidad de extractante utilizado es grande. Sólo en los Estados Unidos de Norteamérica, según Chapman, suman más de 20.

En el país se ha generalizado el uso de Bray y Kurtz en la pradera pampeana. Pero un hecho debe llamar la atención para los suelos del país y es a que la mayoría de los suelos agrícolas presentan el 50 % o más de fósforo orgánico sobre el total.

En la determinación del fósforo extractable no se tiene en cuenta el posible aporte a dicha fracción a través de la mineralización.

En un intento por lograr una idea acerca de la misma se reemplazó la solución de Bray y Kurtz por otra de EDTA 0.1 M. Pudo observarse que en los suelos no calcáreos los resultados son comparables (9).

En la idea de que el EDTA podía extraer fracciones orgánicas lábiles, se efectuó la mineralización previa a la determinación del fósforo o sea el ataque de la fracción orgánica extraída, por vía química. Estos resultados son generalmente mayores que aquellos logrados sin mineralización previa.

Las diferencias fueron siempre favorables a EDTA, en suelos bien provistos de materia orgánica; no encontrándose una tendencia definida en relación a Bray y Kurtz. Como era de esperar, en suelos calcáreos EDTA extrajo cantidades muy superiores a aquella.

La comparación entre las extracciones con EDTA con y sin mineralización de la fracción orgánica lábil posiblemente extraída, arroja una primera conclusión. En algunos suelos no hay diferencias, en otros la misma es moderada, del orden del 20-30 % y en las restantes altas, sobrepasando el 100 por ciento.

Posiblemente esta vía merezca mayores esfuerzos. La mineralización del fósforo orgánico presenta, como es obvio, una diferencia sustancial con relación a la correspondiente al nitrógeno. Dichas diferencias se explican por el comportamiento disímil de ambos aniones y por los sistemas que engloba a cada uno.

En el caso del fósforo, la dinámica del mismo se encuentra regulada por el equilibrio entre las distintas formas orgánicas e inorgánicas configurando un sistema en el cual los ortofosfatos solubilizados admiten un techo determinado por las características fisicoquímicas (pH, rH₂), el producto de solubilidad de las distintas formas insolubles, el equilibrio entre los fosfatos de la solución interna y externa y el aporte proveniente de la mineralización del fósforo orgánico; conjunto que se completa con la extracción vegetal y los procesos de lixiviación; importantes estos últimos en suelos de textura gruesa.

Dicho equilibrio, que marca un "techo", puede estimarse que varía según los suelos y en relación con taxonomía posiblemente la diferenciación de los mismos va más allá de las categorías bajas. También debe admitirse que aún dentro de un determinado suelo dicha dinámica sufre variaciones, reconociendo un momento aparentemente estático cuando el sistema llega a saturación. En otro sentido, esto explica también lo que se ha dado en llamar el "hambre del suelo".

De allí que los ensayos de mineralización del fósforo orgánico por medio de las incubaciones en cierto modo son medidas estáticas de un sistema dinámico.

En efecto, cuando se considera el comportamiento de los suelos con cultivo, el sistema pierde fosfatos por absorción vegetal y a la vez reacciona tendiendo a buscar el equilibrio mediante el aporte de las formas insolubles.

En este esquema es dificultosa la evaluación del aporte potencial del fósforo orgánico, salvo las pruebas a través de la extracción vegetal.

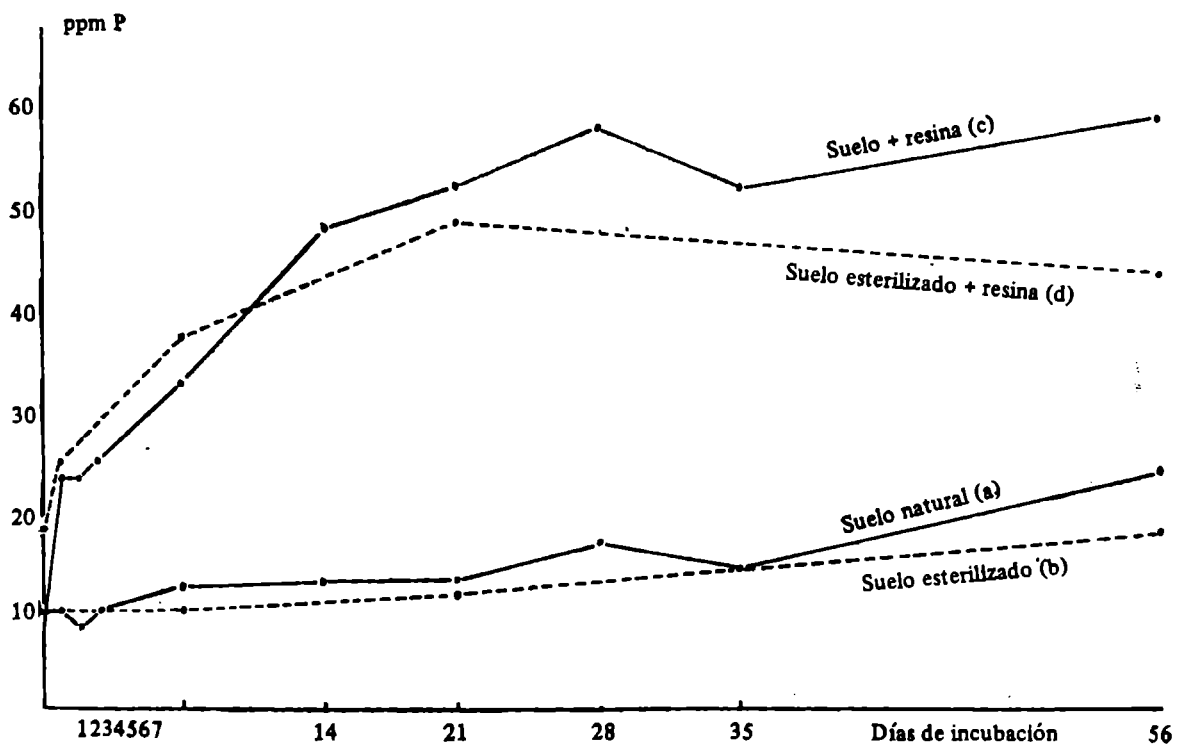
En un intento por solucionar el problema del "techo" o sea el de superarlo en ensayos de mineralizaciones a través de incubaciones, se trabajó con muestras de suelos mezclados con resina aniónica. Para dilucidar en parte la acción microbiana se trabajó con muestras tal cual y paralelas es-

terilizadas con radiaciones gamma, las que no anularon totalmente la actividad fosfatásica, pero sí la redujeron en un 85 %. Pudieron observarse los siguientes hechos:

- a) En todos los casos, las muestras sin resina mineralizaron cantidades muy pequeñas, sin diferencias sustanciales entre esterilizadas y no esterilizadas.
- b) Las muestras con resina ponen en evidencia una mineralización en aumento hasta los 21 días, estabilizándose luego hasta los 35 y de allí un nuevo aumento particularmente en muestras no esterilizadas.

Tomando uno de los casos, un Hapludol de Venado Tuerto (Fig. 1) puede observarse que con la muestra sin resina hay una producción de 4 ppm a los 21 días. Calculando solamente para un horizonte A1 y de 30 cm de espesor, la cifra potencial sería de 180 kg de fósforo (P) por ha. (curva c).

FIGURA 1



a) *Extracción de elementos.*

Se dijo que la agricultura es en cierta manera una microminería que sin retorno de los elementos extraídos tarde o temprano llegará al agotamiento.

La producción agropecuaria argentina, sobre la base de una producción de 30 millones de t de granos y 3 millones de t de carne, a los que se suman las extracciones por horticultura, fruticultura, cultivos industriales, forestales; puede estimarse que resta a los suelos las siguientes cantidades de nutrimentos:

Nitrógeno (N)	220.000 t = 380.000 t de superfosfato triple.
Fósforo (P)	1.150.000 t = 2.300.000 t de úrea.
Potasio (K)	500.000 t = 1.000.000 t de cloruro de potasio.

2. Reserva de algunos elementos.

a) *Nitrógeno.*

Se trata de un problema muy particular, dado que su reposición es factible por fijación biológica, cuyo aprovechamiento práctico se traduce en las rotaciones con leguminosas o praderas polifíticas.

Se estima que en toda la superficie terrestre, cultivada o no, hay una fijación promedio del 20 mg de nitrógeno (N) por ha. Esta cifra así estimada es aproximadamente 7 veces la cantidad de nitrógeno que se utiliza por año como fertilizante.

Ultimamente se han intensificado los estudios referentes a la fijación, particularmente asimbiótica, la que ofrece interesantes perspectivas para un futuro mediato.

Trabajos básicos de equipos interdisciplinarios entre biólogos de suelo, bioquímicos y genetistas microbianos y fitotecnistas pueden conducir a resultados sorprendentes.

b) *Fósforo.*

La disponibilidad de fósforo es finita (10). Los suelos de la pradera pampeana poseen en su horizonte superficial entre 400 y 600 ppm de fósforo (P) total. En los subsuperficiales la tendencia es en general un descenso en función de la disminución de la materia orgánica que en el horizonte superficial contiene entre el 50 y 70 % del fósforo total.

Tomando un buen suelo del norte de la provincia de Buenos Aires, pueden esperarse resultados como estos:

A1: 0-30 cm: 500 ppm de P. Po. = 320 ppm	Pi = 180 ppm
A3: 30-50 cm: 350 ppm de P. Po. = 180 ppm	Pi = 170 ppm
B21: 50-70 cm: 250 ppm de P. Po. = 70 ppm	Pi = 180 ppm
Po: fósforo orgánico	Pi: fósforo inorgánico.

Calculando las reservas para A1 y A3, o sea un espesor de 50 cm, pueden estimarse 3100 kg/ha de fósforo (P).

Dada la imposibilidad de mantener razonables rendimientos cuando el fósforo total llega a un piso mínimo, no es posible la utilización de la totalidad de la cantidad presente. La bibliografía estima dicho nivel en alrededor de 100 ppm, que es el valor que en el país se encuentra en algunos suelos deficitarios en fósforo total (p. ej. Goya, Corrientes). Pero un límite cauto se estima pueden ser 200 ppm, por la variabilidad de este mínimo que dependerá de las características de los suelos.

Descontando esta cifra a la reserva anteriormente mencionada de 3.100 kg/ha, se llega a una disponibilidad neta de 1.750 kg/ha.

Según Arnold (11) la extracción de fósforo del suelo por el maíz es relativamente constante y oscila entre 0,85 y 1 kg de fósforo (P) por cada quintal de cosecha. Suponiendo la misma en 50 quintales, se tendrá una extracción de 50 kg de fósforo (P) por ha y por año, lo que indicaría que la disponibilidad de fósforo del ejemplo satisficaría las necesidades de cosechas del orden mencionado por aproximadamente 35 años, siempre que se mantuvieran los factores que regulan la dinámica del elemento de modo tal que

el equilibrio se vaya desplazando en sentido favorable a la solubilización para mantener un valor estable de extractable.

El lapso estimado de 35 años puede prolongarse con un buen manejo del rastrojo o acortarse con cosechas mayores.

c) *Potasio.*

Los buenos suelos de la pradera pampeana puede estimarse que contienen aproximadamente 15.000 ppm de potasio (K) total.

Retomando el ejemplo del fósforo, dejando de lado las diferencias en los contenidos de los distintos horizontes, se tendrán hasta los 50 cm de profundidad 10.900 kg. de potasio (K) por ha.

Aceptando un piso mínimo de 400 ppm, se tendrán 2.800 kg/ha no utilizables o sean aproximadamente 8.000 kg/ha utilizables hasta los 50 cm de profundidad.

Para la estimación del piso mínimo se toma en cuenta la relación K (total) : K (intercambiable), que en suelos de la pradera pampeana puede estimarse en aproximadamente 1:25, de modo que el intercambiable deberá ser posiblemente mayor de 16 mg/100 g para mantener el nivel de rendimientos actuales.

Debe aclararse que la tendencia de la dinámica del potasio en el suelo es de que en la medida que baja el potasio total; para igualdad de las características restantes; el sistema tiende a tomar el camino de la fijación.

Ello significaría que cuando un suelo que parte con 15.000 ppm de potasio total puede estar en equilibrio con 60 mg de potasio por 100 g de suelo, en forma intercambiable. Pero al disminuir el total a 400 ppm, es difícil que el mismo sistema pueda mantener 16 mg/100 g de intercambiable, o sea la relación 1:25 antes mencionada.

Una producción de maíz de 50 q implica, según Arnon, una extracción de aproximadamente 150 kg de potasio por ha. O sea que la mencionada reserva podría satisfacer la producción de dichas cantidades de maíz por 50 años.

d) *Azufre.*

Se trata de un elemento cuyo estudio en suelos del país merece atención sólo desde hace unos años.

Las necesidades cuantitativas de azufre de los cultivos es comparable a las de fósforo y su presencia en el suelo es también del orden del último. Pero las pérdidas de azufre de los suelos pueden ser sustancialmente mayores en la medida que los mismos pierden cationes capaces de retenerlo. De ellos básicamente el calcio es el de mayor significación.

Prácticamente la totalidad del azufre edáfico se encuentra en combinaciones orgánicas en los suelos zonales de las regiones húmedas y subhúmedas del país. Ello significa que la fracción mineral, la aprovechable por los vegetales, se libera de la orgánica a través del proceso de la mineralización.

La fracción no absorbida por los vegetales es posible que se pierda en gran medida por la escasa energía de adsorción del anión sulfato.

Algunos resultados logrados en la Cátedra de Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires llaman la atención.

En un campo ubicado en la zona del Carcarañá (Santa Fe) sobre un mismo suelo y con usos diferenciales, se encontraron las siguientes cifras de azufre total (S).

Lote con 60 años de agricultura	221 ppm
Lote con 30 años de agricultura	241 ppm
Lote con 10 años de pradera	935 ppm
Lote con 4 años de pradera	380 ppm
Campo natural desde 1948	536 ppm
Pradera desde 1948	465 ppm

Tomando como base el campo natural desde 1948, puede señalarse lo siguiente:

- Con 60 años de agricultura sólo se resta el 41,2 % del azufre total de origen;
- Comparado con el de 30 años de agricultura, parecería que en dicho lapso se produce la mayor pérdida, tendiendo posteriormente a la estabilización;
- El uso de los suelos con praderas tiende a mantener el nivel original de azufre total;
- En casos de suelos utilizados para agricultura, un período de 4-5 años de pradera restituirían un alto porcentaje de azufre total.

El caso particular del azufre debe considerarse con la intervención del azufre atmosférico, cuyo origen son los centros industriales y todas aquellas fuentes que utilizan la combustión de material con dicho elemento.

e) *Calcio y magnesio.*

En trabajos que realizan las Cátedras de Química General e Inorgánica y Edafología de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, se determinan las cantidades totales de elementos minerales en algunos suelos del país.

Los hasta ahora logrados señalan una tendencia a la similitud de valores totales de calcio y potasio para algunos Hapludoles y Argiudoles, mientras que el contenido de magnesio se ubica en el orden del 25 ó 30 % de aquellos.

El contenido de calcio total oscila entre 14.000 y 17.000 ppm y el de magnesio entre 5.000 y 6.500 ppm; mientras que el potasio lo hace entre 13.000 y 17.000 ppm.

Siguiendo con el maíz como cultivo de referencia, se considera que por cada 50 q de maíz cosechados, se extraen 30 kg de calcio (Ca) y 18 kg de magnesio (Mg).

Puede estimarse que la pérdida de los cationes alcalinotérreos, antes de llegar a su límite crítico por insuficiencia de los mismos, dará lugar a efectos colaterales limitantes de la producción o sea la acidez y sus causales como el exceso de aluminio activo.

3. Repercusiones bioquímicas de la fertilidad de los suelos y usos de fertilizantes.

La fertilidad de los suelos y usos de fertilizantes ha merecido prioridad casi excluyente en el aspecto que se relaciona con el aumento de los rendimientos.

No obstante, desde hace tiempo y particularmente en la década de 1950 han merecido atención especialmente por los investigadores europeos las repercusiones biológicas en la cadena suelo, animal, hombre.

Entre dichos investigadores debe mencionarse a Voisin como el adalid de los últimos tiempos. Es bien conocida su afirmación: "el suelo y los abonos hacen al animal y al hombre" (12).

Según Voisin, el animal es la foto bioquímica del suelo sobre el que pasta, a lo que podría agregarse: y del agua que bebe. Ello se debe a que los vegetales, si bien tienen una composición cuya tendencia lo marca el genotipo, pueden sufrir alteraciones significativas conforme al suelo sobre el que crece.

Así se explican los conocidos casos de deficiencia relativa del cobre por exceso de molibdeno, problema típico de los suelos halomórficos, agravados generalmente por la excesiva ingesta salina por las aguas; particularmente por sulfatos.

En la década comprendida entre 1950 y 1960, Scharrer, Schuphan, Pfizer y otros hicieron experiencias tendientes a verificar los efectos de las fertilizaciones en los rendimientos y las repercusiones en el contenido de macro y micronutrientes, como también de algunos principios biológicos como índice del valor biológico de los vegetales.

Se comprobó que el agregado a un suelo de un elemento faltante aumentó el rendimiento en la medida que aumenta dicho agregado.

Se llega a un punto en que el rendimiento se estabiliza y posteriores agregados disminuyen el mismo. Antes del punto en que disminuyen los rendimientos se nota el descenso en el contenido de algunos principios como el valor biológico de los pródidos, contenido de algunas vitaminas y provitaminas, aminoácidos, elementos menores.

Es interesante recordar una de las conclusiones de Voisin: "El destino de los pueblos y por consecuencia de nuestra civilización depende en gran parte de nuestra capacidad para utilizar bien los abonos minerales".

Conclusiones.

1. La variabilidad de los suelos en función del tiempo y del espacio hace necesaria una adecuada caracterización de los mismos con vistas a la fertilidad.

Sobre la base de las igualdades en las características estables y semi-estables, aparecen como prioritarias las inestables que hacen a las características físicas y bioquímicas.

2. De los principales nutrientes que requieren los cultivos, sólo el nitrógeno puede considerarse renovable, siendo el resto finito. Ello indica que los cultivos y la producción animal efectúan extracciones en grado variable que van agotando las reservas.

En los casos del fósforo y potasio, como también del resto de los nutrientes, sólo puede contemplarse la posibilidad de prolongar la duración de las reservas en base a la exploración de una masa mayor de suelo por el sistema radicular, acompañado por un máximo retorno a través de los rastrojos.

3. Es necesario tener en cuenta la magnitud de las extracciones por la producción agropecuaria; la aproximación a los "pisos mínimos" y las previsiones del caso.

Liebig, fundador de la Química Agrícola, dijo: "Roma arrojó en sus al-

cantarillas la fertilidad de Sicilia” y así fue como esta, otrora granero de Roma, quedó con sus suelos drásticamente degradados.

4. Se estiman de interés los estudios tendientes a clarificar las repercusiones de las fertilizaciones en la faz cualitativa de los productos agrícolas, los que incidirán directamente en la salud humana y animal.

Bibliografía

1. Barberis, L. A. 1971. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos. *In* Seminario de Fertilidad y Fertilizantes. Sociedad Científica Argentina, págs. 61-72.
2. Mizuno, I. Diagnóstico de la fertilidad de los suelos. Análisis químico. *In* Seminario de Fertilidad y Fertilizantes. Sociedad Científica Argentina, págs. 73-85.
3. McLean, E. O. Contrasting concepts in soil test interpretation. *In* Soil testing. ASA Sp. Pub., 29:39-54.
4. Mizuno, I.; Matera de Carro, L. B.; de Sanguenza, A. V. F.; de Moretti, M. C.; de Igne, D. E. EDTA como extractante universal. Cationes mayores. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 3(2):133-137.
5. ———, 1982. EDTA como extractante universal. II Fósforo y elementos menores. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 3(2):139-144.
6. de la Horra de Villa, A. M.; Mizuno, I. 1974. Potasio en algunos suelos argentinos. *Anales de la Sociedad Científica Argentina*, tomo CXCVIII: 87-93.
7. Mizuno, I.; de la Horra de Villa, A. M.; de La Fuente del Frade, I. S.; de la Paz Jiménez, M. Potasio en algunos suelos argentinos. II Extractantes y ensayo de Neubauer. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 3(2):173-179.
8. Martini, O. 1967. Características del estado del potasio en seis suelos de Panamá. Turrialba. IICA C. Rica.
9. Mizuno, I.; del Frade de La Fuente, I. M. S.; Matera de Carro, L. B.; Cotti de Moretti, M. E.; Masani de Sese, Z. M. 1982. Mineralización del fósforo orgánico. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 3(2):157-163.
10. Mizuno, I. 1981. Fósforo en algunos suelos argentinos. *Comunicación. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*.
11. Arnon, I. 1975. Mineral nutrition of maize. *Internat. Potash Inst. Berna*, 452 p.
12. Voişin, A. 1970. *Leyes científicas en la aplicación de los abonos*. Ed. Tecnoas. Madrid, 150 p.