

# EL USO DE RESINAS DE INTERCAMBIO ANIONICO EN LA DETERMINACION DEL FOSFORO DISPONIBLE EN ALGUNOS SUELOS ARGENTINOS

Lidia G. de López Camelo, Diana B. de Tiraboschi, Zulema M. de Sesé y L. A. Barberis (1)

*Recibido: 27/5/82*

*Aceptado: 1/6/82*

## RESUMEN

Se realiza una revisión de los antecedentes de la metodología, destacándose las ventajas de la técnica de Sibbesen sobre las utilizadas anteriormente. Se presentan los resultados obtenidos al adaptarla para su utilización en 30 suelos argentinos.

## THE USE OF ANION EXCHANGE RESINS IN THE DETERMINATION OF AVAILABLE PHOSPHORUS IN SOME ARGENTINE SOILS

### SUMMARY

A review on previous works using this methodology is made. Sibbesen's technique, which appears to be advantageous over the others used previously, is adapted for its use in 30 argentine soils, and the results obtained are presented.

## INTRODUCCION

### Objetivos

En la evaluación del fósforo disponible para las plantas es común la utilización de variados extractantes químicos y la medición del fósforo disuelto por la acción de una solución extractante dada.

Otra alternativa válida es la determinación del fósforo removido por resinas de in-

tercambio aniónico, técnica que se ha ido perfeccionando hasta llegar a una metodología simple y precisa como la presentada por Sibbesen (1977).

Los objetivos del presente trabajo son:

- a) probar la bondad del método de Sibbesen desde el punto de vista químico (previa adaptación del mismo);
- b) contrastarlo con el clásico procedimiento de Bray 1 para verificar su grado de asociación en suelos argentinos.

---

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

## Antecedentes

### a) Métodos "no destructivos" de determinación de fósforo

Los métodos que utilizan extractantes químicos se consideran "destructivos", ya que el empleo de soluciones extractantes (muchas son de naturaleza ácida) trae como consecuencia la producción de reacciones secundarias en el suelo, alterando la naturaleza del mismo. Este factor no se tiene en cuenta en los resultados ya que sólo interesa la cantidad de fósforo en solución en el sistema final, independientemente de los cambios ocurridos en el suelo original.

Además, un extractante no siempre es aplicable a toda clase de suelos, ya que la intensidad de su acción sobre las fuentes de fósforo puede no ser independiente de la naturaleza del suelo.

Cooke (1962) incluye dentro de los métodos "no destructivos" de determinación de fósforo asimilable a las técnicas isotópicas, la determinación de fósforo asimilable en solución de equilibrio y la utilización de resinas de intercambio aniónico.

La técnica de las resinas de intercambio aniónico ofrece entonces la ventaja de ser "no destructiva" y de aplicación universal para todo tipo de suelos y, además, de ser un método muy "natural" ya que la resina funciona en forma muy semejante a la raíz de la planta, removiendo el fósforo a partir de la solución a medida que éste es liberado de la fase sólida.

### b) Resinas de intercambio aniónico

#### b 1) Su estructura y comportamiento físico-químico

Las resinas sintéticas son polielectrolitos que pueden ser visualizados como una red elástica hidrocarbonada tridimensional, a la cual están ligados un gran número de grupos iónicos activos que son los que determinan su comportamiento químico (Dowex, 1964).

La resina aniónica utilizada en el presente trabajo es de base fuerte, tipo 1 (el grupo ion activo es una función amonio cuaternaria) y forma iónica cloruro.

La utilización de las resinas de intercambio se basa en que simularían el factor de absorción de la raíz de la planta. La diferencia estriba en que la resina, al adsorber los fosfatos, libera hacia el medio aniones que dependen de la clase de resina utilizada.

Como se asume que la resina es un reservorio infinito para fósforo con un grado de adsorción idealizado instantáneo, la cantidad de fósforo adsorbido por la resina puede ser directamente relacionada a la cantidad de fósforo liberada por el suelo (Evans, 1976).

Vaidyanathan (1970, a) y Giskin (1979) demostraron que el fósforo extractable por este método proviene del "pool" lábil o isotópicamente intercambiable, lo que no se cumpliría en el caso de algunos suelos ácidos y fuertemente fertilizados estudiados por Kunishi (1975).

La cantidad de fósforo extraído varía con el peso de la resina, el volumen de agua y el período de extracción, condiciones que deben fijarse.

Barrow (1977) realizó un exhaustivo análisis de las condiciones de extracción y considera que el sistema más cercano al ideal es aquel en el cual se usan grandes volúmenes de agua, grandes pesos de resina y largos períodos de extracción.

En cuanto a la liberación de fósforo por el suelo, estaría limitada más por las propiedades del mismo que por la tasa de descenso de la concentración de fósforo en la solución.

#### b 2) Su valor agronómico en la cuantificación del factor dotación de fósforo

El método de las resinas de intercambio aniónico fue presentado por Amer (1955), quien demostró que el grado de absorción de fósforo por la resina sólo depende del grado de liberación de fósforo por el suelo, y no de las propiedades de la resina.

Cooke (1962) estudió las condiciones de

utilización de esta metodología, teniendo en cuenta los factores presencia de sales, temperatura y tiempo de extracción.

La metodología fue utilizada luego por diversos autores en diferentes partes del mundo, lográndose buena correlación entre el fósforo extractable por las resinas y el asimilado por las plantas (Cooke, 1962; Elrashidi, 1975; Hernando, 1975; Moser, 1959; Rojas, 1976; Waterhouse, 1978).

Con este método Appelt (1970) estudió la disponibilidad relativa de fósforo en suelos incubados con adición de fósforo.

Hernando (1972) obtuvo las curvas de solubilización de este elemento en varios suelos españoles, obteniendo resultados semejantes con tres métodos (resinas, Burriel y Hernando, Martín).

Alva (1980) y Turner (1976) utilizaron las resinas para evaluar disponibilidad de fósforo en suelos arroceros, donde la dinámica del fósforo es muy particular, ya que la planta de arroz adecuaría la movilización o inmovilización del mismo por su capacidad de regular la secreción de oxígeno en la rizosfera.

Elrashidi (1975) consideró que esta técnica caracteriza el factor capacidad para fósforo y que es muy útil en el cálculo de la tasa de liberación de este macronutriente del suelo. También estudia las fracciones de fósforo nativo y su correlación con el fósforo extractable con resinas, encontrando buena correlación con fósforo soluble en cloruro de amonio y fósforo unido al aluminio.

Evans (1976) realizó con las resinas estudios cinéticos de liberación de fósforo en suelos calcáreos, efectuando una revisión de trabajos anteriores en este tópico.

El Nennah (1978) describió el grado de disolución de fosfatos usando resinas y modelos matemáticos, considerando que la disolución del fosfato puede ser empleada como criterio de disponibilidad de fósforo para las plantas y para evaluar el valor residual de fertilizantes fosfatados previamente aplicados.

Bache (1980) utilizó las resinas para estudiar la desorción de fósforo del suelo y discute las reacciones que intervienen en la captación del mismo por la resina y en la liberación por el suelo.

A pesar de esto, el método no se difundió en gran escala debido a que el procedimiento analítico es tedioso, largo y difícil de llevar a cabo para estudios de gran número de muestras.

Vaidyanathan (1970, b) propuso una modificación al introducir la resina en tubos de terylene para determinar fosfato lábil desorbido por la resina en una suspensión con suelo equilibrado con fósforo marcado.

Zunino (1972) puntualizó los inconvenientes de la utilización del método original en el caso de suelos volcánicos, que deben ser utilizados en estado húmedo ya que el secado altera sus propiedades físicas y químicas, cambiando la solubilidad de los fosfatos presentes. La metodología requiere un severo molido y tamizado del suelo y ya que esto no es posible de hacer en suelos volcánicos en estado húmedo, el autor introduce una modificación, utilizando las resinas dentro de una bolsa de fibra sintética atada con una goma durante el período de contacto con la suspensión suelo-agua.

### c) Método de Sibbesen

Sibbesen (1977) presentó un método simple que elimina muchas dificultades de orden práctico y que consiste en colocar las resinas en bolsas de nylon o poliéster que se sumergen en la suspensión de suelo con agua demineralizada y son agitadas por 24 horas en una agitadora de muñeca.

Las bolsas tienen una forma y tamaño especial dependiente del recipiente utilizado. La suspensión de suelo entra y sale de las bolsas asegurando una mezcla completa entre la suspensión de suelo y las partículas de resina. Luego del agitado, se elimina el suelo y se lava la bolsa con agua demineralizada. Los iones fosfatos absorbidos por la resina se eluyen por agitado con una solución adecuada, donde se determina más tarde la concentración del ion. Finalmente las resinas son retiradas de los recipientes y se procede a su regeneración, siempre dentro de las bolsas.

Las ventajas sobre el procedimiento con-

vencional (resinas libres en la suspensión) son las siguientes:

- Se evita el severo tamizado durante la preparación de las muestras.
- Si es necesario, pueden tomarse muestras húmedas directamente del campo.
- La separación del suelo y la resina se realiza muy rápidamente.
- El mismo recipiente se utiliza para agitado y elución.
- Una vez que se preparan las bolsas no hay más manipuleo de las resinas.
- Se adecua a estudios cinéticos de liberación de iones del suelo.
- Una bolsa de resina puede ser reemplazada por otra regenerada rápidamente.
- Se pueden usar concurrentemente resinas aniónicas y catiónicas separadas en bolsas diferentes.

Los resultados con esta modificación presentan valores mayores de fosfatos extraídos que en el procedimiento convencional, ya que en éste las resinas pueden reducir su tamaño y perderse en el tamizado al separar suelo de resina.

## MATERIALES Y METODOS

### 1) Suelos utilizados

Se estudian muestras superficiales de treinta suelos argentinos, cuyas características figuran en el Cuadro 1.

### 2) Método de Sibbesen. Su adaptación

Para llegar a la metodología empleada en este trabajo, se realizaron pruebas preliminares para determinar cual era el mejor material para la confección de las bolsas, debido a la imposibilidad de conseguir el que estaba especificado en el trabajo original. Se probó también la forma más adecuada de las mismas teniendo en cuenta los recipientes utilizados para realizar las suspensiones y que se contaba solamente con una agitadora de vaivén. Se determinó asimismo el volumen de sustancia

eluyente necesario para que la concentración de fósforo fuese perfectamente determinable por métodos colorimétricos, aún en muestras con bajo contenido del mismo.

### Técnica

Se confeccionan bolsas de "voile" de 100 % de poliéster (Niza) uniendo dos círculos de tela de 6 cm de diámetro, mediante una costura a máquina con hilo de nylon y sellado de los bordes con material adhesivo de contacto sintético (Suprabond - Poxiran). En cada bolsa se colocan mediante un embudo, por un orificio destinado a tal efecto, 2,20 gramos de resina suspendida en agua, sellando luego con el adhesivo.

La resina utilizada es Dowex 1 X4-50, con partículas mayores de 0,450 mm de diámetro.

Se emplean recipientes de material plástico cuyo diámetro inferior es un centímetro mayor que el diámetro de las bolsas; en ellos se pesan 4 gramos de suelo seco pasados por tamiz de 2 milímetros, se agregan 100 mililitros de agua desionizada y una bolsa ya preparada con la resina en su interior. Se agita durante 24 horas en agitadora de vaivén. Se descarta la suspensión suelo-agua y se lavan los recipientes con agua desionizada al igual que las bolsas con resina, hasta eliminar todas las partículas de suelo. Se dejan drenar las bolsitas y luego se colocan en el mismo recipiente donde se agregan 50 mililitros de ácido clorhídrico 1 M para provocar la elución de los fosfatos adsorbidos en la resina, que serán intercambiados con los iones cloruro, mediante un agitado de una hora.

La determinación colorimétrica se realiza en el eluido mediante la utilización de sulfomolibdico y ácido ascórbico como reductor. Se lee en fotocolorímetro en 660 m $\mu$ .

La regeneración de las resinas se realiza dentro de las bolsas según la técnica de Sibbesen (1977), agitando dos veces con 100 mililitros de ácido clorhídrico 0,5 M (por bolsa) durante 10 minutos, y posteriormente se lava cuidadosamente con agua desionizada.

La recuperación del fósforo por la resina se estudia agitando 2,20 gramos de resina

CUADRO 1: Características de las muestras estudiadas.

Muestra No	Localidad	Clasificación taxonómica	Textura	pH (1)	Ct (2)
1	Santa Cecilia 1, Candelaria, Misiones	Udult, s. Urunday	franco arenoso	4,7	0,71
2	Santa Cecilia 2, Candelaria, Misiones	Udult, s. Posadas	franco	4,9	1,6
3	Cerro Azul, Cerro Azul, Misiones	Udult, s. Cerro Azul	franco arcilloso arenoso	5,5	1,56
4	Carlos Navaja 1, Candelaria, Misiones	Udult, s. Urunday	franco arenoso	4,7	0,24
5	Carlos Navaja 2, Candelaria, Misiones	Udult, s. Urunday	franco arenoso	4,8	0,46
6	Alem, Alem, Misiones	Udult, s. Puerto Piray	franco arcilloso	5,55	2,08
7	Rincón Chico, Virasoro, Corrientes	Udult, flia. Timbauva	franco arcilloso arenoso	5,1	2,03
8	Paso de los Libres, Corrientes	Aqualf	franco arcilloso	6,3	0,68
9	Concordia, Entre Ríos	Fluvent	arenoso a areno-franco	6,1	0,21
10	Santa Ana 1, Rojas, Buenos Aires	Argiudol típico, s. Rojas	franco limoso	6,3	2,78
11	Santa Ana 2, Rojas, Buenos Aires	Argiudol típico, s. Rojas	franco limoso	6,3	2,30
12	Santa Rosa Central 1, Arrecifes, Buenos Aires	Argiudol típico, s. Arrecifes	franco limoso	6,15	1,7
13	Santa Rosa Central 2, Arrecifes, Buenos Aires	Argiudol típico, s. Arrecifes	franco limoso	6,3	1,8
14	Santa Rosa Central 3, Arrecifes, Buenos Aires	Argiudol típico, s. Arrecifes	franco limoso	6,1	1,7
15	La Lucila, Pergamino, Buenos Aires	Argiudol típico, s. Urquiza	franco limoso	6,2	1,6
16	La Sarita, Chacabuco, Buenos Aires	Argiudol típico, s. Urquiza	franco limoso	6,2	1,8
17	El Salto, Salto, Buenos Aires	Argiudol típico, s. Arroyo Dulce	franco limoso	5,9	2,2
18	La Justina, Baradero, Buenos Aires	Argiudol típico, s. Portela	franco limoso	6,1	1,6
19	La Fe, Acevedo, Buenos Aires	Argiudol típico	franco limoso	6,15	1,7
20	La Dolores 1, Venado Tuerto, Santa Fe	Argiudol típico, s. Santa Isabel	franco limoso	5,9	1,7
21	La Dolores 2, Venado Tuerto, Santa Fe	Argiudol típico, s. Santa Isabel	franco limoso	6,15	1,6
22	La Dolores 3, Venado Tuerto, Santa Fe	Argiudol típico, s. Santa Isabel	franco limoso	6,5	1,3
23	Las Gamas 1, Colón, Buenos Aires	Argiudol típico, s. Las Gamas	franco limoso	6,1	1,6
24	Las Gamas 2, Colón, Buenos Aires	Argiudol típico, s. Las Gamas	franco limoso	6,1	1,8
25	Mary 1, San Pedro, Buenos Aires	Argiudol típico	franco limoso	5,55	2,5
26	Mary 2, San Pedro, Buenos Aires	Argiudol típico	franco limoso	5,6	1,6
27	La Suerte, Arenaza, Buenos Aires	Hapludol	franco arenoso	5,9	1,67
28	La Olivia, Ameghino, Buenos Aires	Hapludol	franco arenoso	6,0	1,04
29	La Margarita, Pehuajó, Buenos Aires	Hapludol	franco arenoso	5,4	1,81
30	Sauce Irú, Henderson, Buenos Aires	Hapludol	franco arenoso	5,7	1,13

(1) pH en agua: 1:2,5

(2) Carbono Total: Método de Walkley - Black

con 100 mililitros de una solución de 1 ppm de fósforo siguiendo análogo procedimiento que en las muestras.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### a) Comportamiento químico del método de Sibbesen

Se estudia la variabilidad observando la repetibilidad de una misma muestra procesada 13 veces, obteniéndose un coeficiente de variabilidad de 9 por ciento, considerando excelente según Calzada Benza (1954) y bajo según Pimentel Gómez (1973). Esto permite demostrar la confiabilidad del método en cuanto a su comportamiento químico.

Las recuperaciones del fósforo incorporado a las muestras fueron de  $68,75\% \pm 2,79$ , con un coeficiente de variabilidad de 4%, datos considerados normales para el tipo de resina empleado (Massani, 1966).

### b) Comparación entre el método de Sibbesen y Bray 1

Se realiza un contraste entre los resultados obtenidos con ambos métodos, los que figuran en el Cuadro 2. La correlación con el método clásico de Bray 1 es muy elevado y altamente significativa.

Si bien no puede afirmarse que uno de los métodos puede extraer más fósforo que el otro, puede señalarse que en el caso de muestras excesivamente bien dotadas de este nutriente, las resinas extraen mayor cantidad del mismo, lo que implicaría un mayor "pool" de fósforo lábil en estos casos, ya que las resinas podrían servir para medir el factor capacidad de fósforo.

Es evidente que para trabajos de rutina es más práctica la utilización del método de Bray 1 debido a su rapidez, pero puede ser fructífero el método de Sibbesen para trabajos de investigación donde se requiera un tratamiento no agresivo del suelo; en los casos en que no pueda alterarse el estado de hume-

CUADRO 2: Contenido de fósforo extractable en suelos argentinos.

Muestra No	(1)	(2)
1	9,3	8,4
2	4,9	1,6
3	1	3,5
4	1	2,1
5	1	3,5
6	4	4,9
7	10,7	9,1
8	103	43,4
9	6,2	8,7
10	397,5	192,5
11	93,8	80,5
12	21,9	23,8
13	16,9	16,4
14	17,5	19,6
15	26,9	35
16	10	14
17	23,8	20,9
18	9,4	10
19	18,7	18,6
20	28,1	28
21	21,2	17,5
22	25	22,5
23	17,5	22
24	22,5	19,3
25	31,2	39,9
26	15,6	21
27	26,2	21
28	16,2	25,2
29	20,9	25,9
30	13,8	16,1

(1) Método con resinas de intercambio aniónico.

(2) Método de Bray 1 (Jackson, 1964).

$r = 0,97$  \*\*

\*\* significativo al 1 %

dad de la muestra (por ejemplo en suelos arroceros y volcánicos) ya que esta técnica permite la utilización de suelo húmedo; en suelos previamente fertilizados con fósforo; donde los métodos tradicionales no reflejan la verdadera disponibilidad del mismo; y en experimentos cinéticos para la determinación del flujo del fósforo del suelo.

Los resultados pueden haber estado influidos por el tipo de resina utilizado. En un trabajo reciente Sibbesen (1978) estudió la

influencia de la variación de la forma aniónica de la resina.

Al utilizar resinas en forma cloruro, estos iones son liberados al producirse el intercambio por fosfatos, aumentando su concentración con el tiempo de agitado, con el resultado que la desorción de fosfatos hacia la fase acuosa se reduce gradualmente. Las resinas en forma bicarbonato también liberan aniones, pero los iones bicarbonato se equilibran con el sistema dióxido de carbono - ácido carbónico - bicarbonato - carbonato. Además la liberación de iones bicarbonato se asemeja a las condiciones químicas naturales que prevalecen en la rizosfera de las plantas en activo crecimiento, recomendando entonces el autor la utilización de resinas en forma bicarbonato, lo que será tenido en cuenta al seguir con esta línea de investigación.

### CONCLUSIONES

- 1) El método de extracción de fósforo disponible para las plantas mediante resinas de intercambio aniónico se presenta como analíticamente satisfactorio.
- 2) Existe una alta y muy significativa correlación entre los valores obtenidos con el método de Sibbesen y el clásico Bray 1 en las treinta muestras superficiales de suelos argentinos estudiados.

### BIBLIOGRAFIA

- 1) Alva, A. K., S. Larsen and W. Bille, 1980. The influence of rizosphere in rice crop on resin-extractable phosphate in flooded soils at various levels of phosphate - applications. *Plant and soil*, 56 (1): 17-25.
- 2) Amer, F., D. R. Bouldin, C. A. Black and F. R. Duke, 1955. Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and P32 equilibration. *Plant and soil*, 6: 391-408.
- 3) Appelt, H. and E. B. Schalscha, 1970. Effect of added phosphate on the inorganic phosphorus fractions of soils derived from volcanic ash. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 34: 599-602.
- 4) Bache, B. W. and C. Ireland, 1980. Description of phosphate from soils using anion exchange resin. *Journal of Soil Sci.*, 31: 297-306.
- 5) Barrow, N. J. and T. C. Shaw, 1977. Factors affecting the amount of phosphate extracted from soil by anion exchange resin. *Geoderma*, 18: 309-323.
- 6) Calzada Benza, J., 1954. Método estadístico para la investigación. Ed. Jurídica. Lima.
- 7) Cooke, J. J. and J. Hislop, 1962. Use of anion exchange resin for the assessment of available soil phosphate. *Soil Science*, 96: 308-312.
- 8) Dowex, 1964. Ion exchange. The Dow chemical company, Midland, Michigan.
- 9) El Nennah, M., 1978. Phosphorus in soil extracted with anion - exchange resin. 1: Time - dissolution relationship. *Plant and Soil*, 49: 647-651.
- 10) Elrashidi, M. A., A. Van Diest and A. H. El Damaty, 1975. Phosphorus determination in highly calcareous soils by the use of an anion exchange resin. *Plant and Soil*, 42: 273-286.
- 11) Evans, R. L. and J. J. Jurinak, 1976. Kinetics of phosphate release from a desert soil. *Soil Sci.*, 121: 205-211.
- 12) Giskin, M. L. and S. Larsen, 1979. Stepwise extraction of phosphate from soil by means of an anion exchange resin. *Arsskrift Kongelige Veterinaer-og Landbohjskde*, 22: 72-83.
- 13) Hernando, J. and J. A. Diez, 1972. Solubility of soil phosphorus as a function of time. *Agrochimica*, 16 (6): 497-506.
- 14) Hernando, V. and J. A. Diez, 1975. Comparative study of techniques to evaluate potentially soluble phosphorus in soils, in relation to that uptaked by ryegrass. *Agrochimica*, 19 (3-3-4): 211-223.
- 15) Jackson, M. L., 1964. Análisis químico de suelos. Ed. Omega, Barcelona. 662 pp.
- 16) Kunishi, H. M. and A. W. Taylor, 1975. The effect of phosphate applications on the diffusion coefficients and available phosphate in an acid soil. *Journal of Soil Science*, 26 (3): 266-267.
- 17) Massani, Z. M., S. Finkielman, M. Worcel, A. Agrest and A. C. Paladini, 1966. Angiotensin blood levels in hypertensive and non hypertensive diseases. *Clinical Science*, 30: 473-483.
- 18) Moser, U. S., W. H. Sutherland and C. A. Black, 1959. Evaluation of laboratory indexes of absorption of soil phosphorus by plants. *Plant and Soil*, 10 (4): 356-374.
- 19) Pimentel Gómez, F., 1973. Curso de Estadística Experimental. Ed. Livraria Novel.
- 20) Rojas, C., 1976. Selección de métodos para la evaluación de fósforo disponible en suelos

- arroceros. *Agricultura Técnica*, 36 (1): 5-13.
- 21) Sibbesen, E., 1977. A simple ion exchange resin procedure for extracting plant available elements from soil. *Plant and Soil*, 46: 665-669.
  - 22) Sibbesen, E., 1978. An investigation of the anion-exchange resin method for soil phosphate extraction. *Plant and Soil*, 50: 305-321.
  - 23) Turner, F. T. and J. W. Gilliam, 1976. Effect of moisture and oxidation status of alkaline rice soils on the adsorption of soil phosphorus by an anion resin. *Plant and Soil*, 45: 353-363.
  - 24) Vaidyanathan, L. and P. H. Nye, 1970, a. The measurement and mechanism of ion diffusion in soils. 6: The effect of concentration and moisture content on the counter-diffusion of soil phosphate against chloride ion. *Journal of Soil Science*, 21: 15-26.
  - 25) Vaidyanathan L. and O. Talibudeen, 1970, b. Rate processes in the desorption of phosphate from soils by ion-exchange resins. *Journal of Soil Science*, 21: 173-183.
  - 26) Waterhouse, P. L. and S. W. Bille, 1978. Comparison of the short term phosphate uptake by plants to the decrease in resin extractable phosphate in a cropped soil. *Plant and Soil*, 50: 67-79.
  - 27) Zunino, H., M. Aguilera and P. Peirano, 1972. A modified resin exchange method for measurement of available phosphate in soils derived from volcanic ash. *Soil Science*, 114: 404-405.
-