

DINAMICA DE LA RENOVACION DEL FOSFORO EN DOS MOLISOLES CON DISTINTA HISTORIA AGRICOLA Y DE FERTILIZACION

Marta S. Zubillaga y Mabel E. Vázquez

Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes. Facultad de Agronomía,
UBA. Av. San Martín 4453 - (1417) Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

Con el objetivo de investigar la dinámica del fósforo en dos Molisoles del SE de la Pradera Pampeana con distintas historias de fertilización y años de agricultura, y su asociación con la respuesta vegetal a la aplicación de fósforo, se procedió a realizar extracciones sucesivas del suelo con resinas de intercambio aniónico.

Se observó que la liberación de fósforo es rápida al principio, haciéndose cada vez más lenta hasta llegar a un valor casi constante luego de un período de 48 horas de extracción. Un tiempo de 72 horas de extracción, considerado relativamente estable en la liberación de fósforo, no permitió diferenciar taxones, historia de fertilización ni años de agricultura.

El ajuste de los datos experimentales por la ecuación propuesta fue estadísticamente significativo. Se comparó la media de los estimadores de los parámetros de las ecuaciones de ajuste (a y b) según taxón, historia de fertilización y años de agricultura, encontrándose sólo diferencias significativas para el coeficiente b según historia de fertilización. Se discuten las posibles causas de las diferencias halladas. Dichos estimadores se correlacionaron con datos de respuesta vegetal a la adición de fósforo en condiciones de invernáculo, hallándose asociaciones estadísticamente significativas para ambos, demostrando la eficiencia de estas medidas de la dinámica de la liberación de fósforo como evaluación de la fertilidad fosforada.

Palabras claves: fósforo, dinámica del fósforo, extracciones sucesivas, resinas de intercambio aniónico.

DYNAMICS OF PHOSPHORUS RENOVATION IN TWO MOLLISOLS WITH DIFFERENT FERTILIZATION AND AGRICULTURAL HISTORY

ABSTRACT

Successive soil-solution extractions with anion-exchange resins were used to investigate phosphorus dynamics in two Mollisols from Pampean Prairie with different fertilization history and variable years of agriculture, and also its association with plant response to P fertilization.

The soils, from SE of the Pampean Prairie, were classified as typic Hapludoll and typic Argiudoll, with different fertilization history and years under crop.

The phosphorus liberation was rapid at the beginning and slow after 48 hours of its extraction. After 72 hours of extraction, considered normal in the liberation of phosphorus, there were not differences between taxon, fertilizers histories or years of agriculture.

The adjustment of experimental data to proposed equation was statistically significant. It was compared the mean of the estimator of the equation parameters (a and b) between taxon, fertilization history and years of cultivation. Only significant differences of the coefficient b for the fertilization history was found. The possible causes of the differences were considered. The correlation between plant response to the adding of phosphorus in greenhouses conditions, was statistically significant for both estimators. It shows the efficiency of phosphorus liberation dynamic as measure of the phosphorus fertility.

Key words: phosphorus, phosphorus dynamics, successive soil-extractions, anion-exchange resin.

INTRODUCCION

Una forma simple de clasificar al fósforo del suelo es por su naturaleza orgánica (presente en la materia orgánica del suelo) o inorgánica (presente como fosfatos en la solución del suelo y en la fase sólida a través de diversas reacciones químicas y fisicoquímicas de adsorción y precipitación). La proporción de cada una de estas formas es variable de acuerdo al grado de evolución de los suelos, antecedentes de uso agrícola, naturaleza del material parental, etc. (Tiessen et al., 1982; Vázquez et al., 1991).

El nivel de la concentración de fósforo en la solución del suelo depende de la solubilización y precipitación de los fosfatos unidos al Ca, Fe y Al; desorción y adsorción a los coloides del suelo y de la mineralización e inmovilización del fósforo orgánico (Tiessen et al., 1984).

La concentración de equilibrio de P en solución, oscila en la mayoría de los casos, entre $3 \cdot 10^{-4}$ a $3 \cdot 10^{-2} \mu\text{g}^{-1}$ suelo, lo que significa para una gran parte de los cultivos, valores que no alcanzan a satisfacer ni siquiera la demanda diaria (Mizuno, 1981). Por tal motivo para evaluar la fertilidad fosforada de un suelo es necesario cuantificar la reserva del fósforo edáfico y fundamentalmente su dinámica.

Se sabe que la dinámica del fósforo nativo puede ser diferente a la del fósforo del fertilizante, en suelos donde se ha hecho uso de este insumo; y que ambas fracciones interactúan de diferente manera, según otras condiciones edáficas, climáticas y culturales (El Nennah, 1978; Fixen y Ludwick, 1983; Nath y Borah, 1983; Judel et al., 1985).

Se han desarrollado diferentes metodologías para estudiar la dinámica del fósforo. Entre ellas pueden citarse las isotermas de adsorción, a través de las cuales se relaciona la cantidad de un ión sorbido y la cantidad de ese mismo ión en solución (Barrow, 1978; López Camelo et al., 1984; Mendoza, 1986).

Otra forma de estudiar la renovación de fósforo a partir de dicha reserva, son las extracciones secuenciales con CaCl_2 (Ibrahim y Pratt, 1982).

Las resinas de intercambio aniónico han sido propuestas por varios autores para medir la reserva del fósforo edáfico (Elrashidi et al., 1975; Sibbesen, 1977; Sibbesen, 1978). El Nennah (1978) sugiere mediciones de la dinámica de la liberación de fósforo a través de extracciones sucesivas con estas resinas. Su empleo tendría ventajas comparativas respecto del uso de isotermas de adsorción, ya que con este método se mide la liberación del fósforo a la solución, que es el proceso directamente ligado a la nutrición vegetal, considerando que se trata de un mecanismo sujeto a histéresis (Van der Zee et al., 1988). Con la metodología usada para establecer las isotermas de adsorción se basa en el fenómeno inverso.

El objetivo del presente trabajo es investigar la diná-

mica del fósforo edáfico en diferentes suelos y con distintas historias de fertilización, a través de extracciones sucesivas con resinas de intercambio aniónico. Se evaluará, además, la asociación entre estas medidas y la respuesta de tomate a la aplicación de fósforo, en condiciones de cultivo de invernáculo.

MATERIALES Y METODOS

Suelos

Se usaron suelos pertenecientes a los partidos de San Cayetano-Tres Arroyos, SE de la Pradera Pampeana, Argentina, clasificados como Hapludoles típicos (Series Calén y Los Triángulos) y Argiudoles típicos (Series La Elvira y Santa Lucía), cuyas características principales se observan en la **Tabla 1**.

Determinaciones Analíticas del suelo

Las determinaciones analíticas fueron realizadas sobre muestras de 0-20 cm de profundidad. El muestreo fue de tipo al azar constituyéndose una muestra compuesta de diez submuestras por lote estudiado. Las determinaciones analíticas realizadas fueron:

- Caracterización general de las muestras:
- pH (técnica potenciométrica, relación suelo/agua: 1/2.5)
- Carbono total (Ct), (Richter et al., 1973)
- Nitrógeno total (Nt), (Conti et al., 1976)
- Fósforo extractable (Pextr), (Bray y Kurtz, 1945)
- Extracciones sucesivas con resinas de intercambio aniónico, según El Nennah (1978) con las siguientes modificaciones:
- Relación resina/suelo: 0,4 g resina Dowex X-8/0,5 g suelo.
- Tiempos de agitación: 0,5-1-3-7-17-24-48-72 horas. Se utilizó agitador vaivén con 180 oscilaciones min^{-1} .
- Los resultados fueron ajustados mediante la siguiente función potencial:

$$y = a x^b$$

y= fósforo adsorbido ($\mu\text{g P g}^{-1}$)

x= tiempo de agitación (horas)

a y b= parámetros

Ensayo de invernáculo

El ensayo biológico de invernáculo se realizó mediante un diseño en bloques completamente al azar con tres repeticiones. Las unidades experimentales fueron macetas de 1 kg de suelo seco.

Se mantuvo la humedad del suelo a 80 % de la humedad equivalente mediante riegos diarios con agua desionizada.

Se utilizaron 19 suelos de la zona en estudio, seleccionados con la finalidad de abarcar una amplia gama de la fertilidad fosforada, evaluada a través del fósforo extractable e historia de fertilización (tipo de fertilizantes, dosis, periodicidad de la aplicación, etc.).

Se utilizó como planta índice tomate (*Lycopersicon esculentum*), siendo los tratamientos:

- Testigo (T)
- 17,5 mg P/kg suelo⁻¹ (P1)
- 35 mg P/kg suelo⁻¹ (P2)

Tabla 1: Caracterización general de los suelos en estudio

Muestra	Taxon (1)	AA (2)	Historia Fert. (3)	pH	Ct (%)	Nt (%)	Pextr (µg g-1)
1	1	3	3	6.3	2.27	0.19	0.9
2	1	13	3	6.3	1.93	0.16	8.7
3	1	13	3	6.0	2.79	0.24	7.4
4	1	3	2	6.0	2.83	0.2	10.0
5	1	4	2	5.5	1.57	0.13	10.1
6	2	4	1	6.1	2.74	0.24	13.8
7	2	1	1	6.0	2.74	0.24	16.1
8	2	4	2	5.9	-	-	8.6
9	2	1	1	5.9	2.40	0.21	7.8
10	2	1	1	5.9	2.73	0.23	6.4
11	2	9	3	6.0	2.41	0.22	9.0
12	2	9	3	5.9	2.69	0.24	8.6
13	2	7	3	6.1	2.62	0.22	6.8
14	2	8	2	6.2	1.72	0.16	5.8
15	2	1	1	5.8	3.0	0.25	6.0
16	2	8	2	5.8	2.88	0.26	15.5
17	2	13	2	6.0	2.64	0.22	9.4
18	2	5	2	6.0	2.71	0.23	17.5
19	2	2	3	5.9	2.71	0.24	8.9

Referencias:
 (1) Taxon: 1 Hapludol típico . 2 Argiudol típico.
 (2) AA: Años de agricultura a partir de pradera.
 (3) Historia de fertilización:
 1- más de 5 años de fertilización
 2- de 2 a 5 años de fertilización
 3- menos de 2 años de fertilización

La respuesta a la fertilización fue evaluada a través del peso seco de la parte aérea (PS), expresándose los resultados en rendimiento relativo (Rr), calculado de la siguiente manera:

$$Rr = \frac{PS \text{ tratamiento P1 ó P2} - PS \text{ tratamiento T}}{PS \text{ tratamiento T}} \cdot 100$$

Análisis estadístico

Las asociaciones entre las diferentes variables edáficas medidas, se estudiaron a través de análisis de correlación.

La capacidad predictiva de la respuesta a la fertilización en el ensayo de invernáculo, fue analizada a través de regresiones simples. Para llevar a cabo esto se usó el paquete estadístico "STATGRAPHICS" (Statistical Graphics Corporation).

Los resultados obtenidos en los distintos tiempos de equilibrio se compararon, para los dos taxones de suelos, historia de fertilización y años de agricultura, mediante la prueba de t de Student.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de las extracciones sucesivas se presentan en la **Tabla 2**, mostrándose los coeficientes de la ecuación de ajuste y de correlación. Se presentan como ejemplos de liberación la **Figura 1**, muestras 2 y 10, correspondientes a coeficientes de correlación extremos.

Los resultados del ensayo de invernáculo se presentan en la **Tabla 3**, expresados en rendimiento relativo (Rr).

Se observa en la **Tabla 2** y **Figura 1** que la liberación de fósforo es rápida al principio haciéndose cada vez más lenta llegando a un valor casi constante con un período de equilibrio mayor de 48 horas, concordando con lo hallado por Elrashidi et al. (1975); El Nennah (1978); López Camelo et al. (1984). Harrison y Adams (1987), trabajando con CaCl encontraron que la concentración de fósforo

en solución del suelo permanece relativamente constante luego de un período de 8 días de equilibrio.

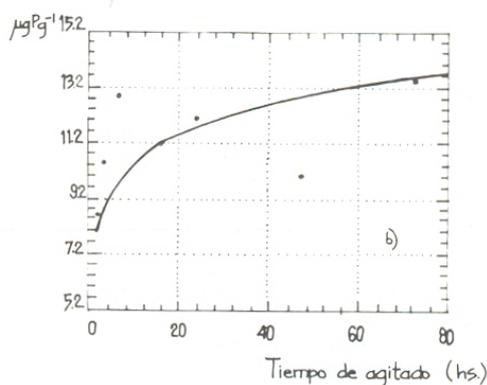
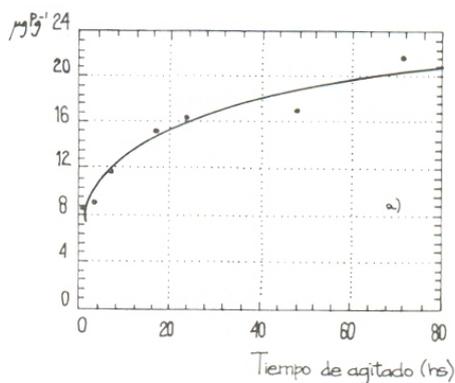
Se considera el tiempo de agitación de 72 horas como una condición relativamente estable de la liberación. Comparando los resultados, para dicho período de equilibrio, de los dos taxones estudiados (Hapludoles contra Argiudoles) y años de agricultura (menos de 5 años de agricultura contra el resto) no se encuentran diferencias significativas estadísticamente (prueba de t).

Este mismo resultado fue hallado entre muestras cuya antigüedad de la fertilización fue menor de 2 años contra el resto. Asimismo tampoco se hallaron diferencias significativas en los valores de fósforo extractable, entre los mismos, lo cual indicaría que ninguno de éstos métodos sería sensible a cambios cuanti-cualitativos del fósforo derivado del fertilizante, en la escala de tiempo y condiciones analizadas. Esto no concuerda con lo hallado por El Nennah (1978) donde las muestras fertilizadas liberaron más fósforo que sus respectivos testigos en el mismo período de tiempo.

La ecuación de ajuste ya enunciada ($y = a x^b$), fue utilizada para describir el proceso de liberación del fósforo mediante el uso de resinas de intercambio aniónico. Dicha ecuación tuvo un ajuste significativo estadísticamente, con una probabilidad superior al 95 %.

Tabla 2: Coeficientes de la ecuación de ajuste ($y = a x^b$)

Muestra	Coeficientes de la Ecuación de Ajuste		Coeficiente de Correlación
	a	b	
1	1.994	0.228	0.965
2	1.995	0.244	0.984
3	2.342	0.207	0.922
4	2.371	0.248	0.843
5	1.794	0.193	0.948
6	2.424	0.192	0.916
7	2.267	0.204	0.950
8	2.156	0.185	0.916
9	1.984	0.219	0.979
10	2.038	0.133	0.785
11	2.091	0.183	0.932
12	2.314	0.148	0.899
13	1.838	0.193	0.919
14	1.522	0.241	0.961
15	1.831	0.168	0.899
16	2.275	0.263	0.977
17	2.105	0.215	0.957
18	2.363	0.257	0.982
19	2.073	0.233	0.893



Referencias:

- a) muestra 2
- b) muestra 10

Figura 1: Liberación sucesiva de fósforo

en todos los suelos, lo que indica la generalización del modelo aplicado.

Los valores medios de a y b diferenciados los suelos según taxón fueron para Hapludoles 2,099 y 0,224 y para Argiudoles 2,091 y 0,202 respectivamente. Teniendo en cuenta los años de agricultura fueron 2,12 y 0,205 en suelos con menos de 5 años de agricultura y 2,06 y 0,2117 para el resto de los casos. Considerando la historia de fertilización dichos valores fueron de 2,084 y 0,205 para los casos cuya antigüedad de fertilización fue menor de 2 años y 2,094 y 0,209 para el resto. Sólo se halló diferencias significativas para el coeficiente b, entre los suelos cuya antigüedad de la fertilización fue menor de 2 años contra el resto.

Tabla 3: Resultados del ensayo de invernáculo

Muestra	Rendimiento P1	relativo P2
1	0.49	0.70
2	0.51	0.39
3	0.02	-
4	0.35	0.31
5	0.50	0.51
6	1.51	1.92
7	1.38	1.72
8	0.82	0.84
9	0.70	0.54
10	0.84	1.07
11	0.69	0.71
12	0.30	0.63
13	0.92	1.19
14	0.86	0.51
15	0.16	0.18
16	0.53	0.39
17	0.77	0.95
18	0.00	0.04
19	1.20	1.29

La falta de diferencias significativas del coeficiente a entre Hapludoles y Argiudoles, puede deberse a que la cantidad de fósforo disponible en promedio para ambos taxones son comparables, evaluados por ejemplo a través del método de Bray y Kurtz (1945). tampoco se pudo hallar diferencias significativas según años de agricultura, aquí no tenemos en cuenta la extracción por parte de los cultivos, dosis de fertilizante aplicado, etc., por escala de tiempo, factores condicionantes de cambios cualitativos del fósforo.

La historia de fertilización no permite diferenciar a este parámetro, ya que éste depende del fósforo nativo además del que proviene del fertilizante.

La ausencia de diferencias significativas del estimador b para diferente intensidad de uso agrícola puede atribuir-

se a que la liberación de fósforo es la resultante de variables que actúan simultáneamente, tales como contenido y naturaleza del fósforo edáfico, tipo de fertilizante, sistema de aplicación, condiciones climáticas, etc., lo cual impide que tampoco haya diferencias significativas con respecto a los años de agricultura.

La existencia de diferencias significativas en b según la historia de fertilización muestra que éste estimador es más eficiente que una medida no dinámica como fósforo extraído a las 72 horas de liberación, el cual no mostraba diferencias según historia de fertilización.

Los estimadores de los parámetros de la ecuación de ajuste propuesta se correlacionaron con los datos de respuesta vegetal a la adición de fósforo en condiciones de invernáculo, expresados como rendimiento relativo. Las asociaciones fueron estadísticamente significativas, siendo los coeficientes de correlación de a con RrP1 y RrP2 0,61** y 0,62** respectivamente y de b con RrP1 y RrP2 0,57** y 0,44* respectivamente (** nivel de significación 1 % y * nivel de significación 5 %). Esto demuestra la eficiencia de estas medidas de la dinámica de la liberación del fósforo como evaluación de la fertilidad fosforada para los cultivos.

CONCLUSIONES

La liberación de fósforo mediante el equilibrio con resinas de intercambio aniónico es rápida al principio, haciéndose cada vez más lenta luego de las 48 horas de extracción. El período de extracción de 72 horas no permite diferenciar suelos según taxón, años de agricultura e historia de fertilización.

La ecuación postulada ($y = a x^b$) para describir el fenómeno de captación de las resinas fue estadísticamente significativa (probabilidad mayor al 95%) en todos los casos. Los coeficientes de dicha ecuación permiten diferenciar antecedentes de fertilización, no taxones o historia agrícola.

Los coeficientes de dichas funciones fueron adecuados para predecir la respuesta vegetal a la adición de fósforo en condiciones controladas de invernáculo.

REFERENCIAS

- Barrow, N.J., 1978. The description of phosphate adsorption curves. *J. Soil. Sci.*, 29: 447-4462.
 Bray, R.H. and Kurtz, L.T., 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.*, 59: 39-45.
 Contí, M.E., Richter, M. y Giuffrè, L., 1974. Método de determinación rápida del N del suelo. *IDIA*, 343: 719-722.

- El Nennah, M., 1978. Phosphorus in soil extracted with anion exchange resin. 1.- Time dissolution relationship. *Plant and Soil*, 49: 6647-651.
- Elrashidi, M.A., Van Diest, A. and El Damath, A.H., 1975. Phosphorus determination in highly calcareous soils by the use of an anion exchange resin. *Plant and Soil*, 42: 273-286.
- Fixen, P.E. and Ludwick, A.E., 1983. Phosphorus and potassium fertilization of irrigated alfalfa on calcareous soils: I. Soil test maintenance requirements. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 107-112.
- Harrison, R.B. and Adams, F., 1987. Solubility characteristics of residual phosphate in a fertilized and limed Ultisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 063-969.
- Ibrahim, H.S. and Pratt, P.F., 1982. Effect of rate of application and time on phosphorus sorption by soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 926-928.
- Judel, G.K., Gebauer, W.G. and Mengel, K., 1985. Yield response and availability of various phosphate fertilizer types as estimated by EUF. *Plant and Soil* 83: 107-115.
- López Camelo, G.L. de, Sesé, Z. y Barberis, L.A., 1984. Extracción de P del suelo con resinas de intercambio aniónico. *Rev. Facultad de Agronomía* 5: 175-181.
- Mendoza, R., 1986. Isotermas de adsorción de fósforo en suelos argentinos. I. Método de ajuste y comparación entre ecuaciones. *Ciencia del Suelo* 4: 107-117.
- Mizuno, I., 1981. Fósforo en suelos argentinos. *Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*, 30, 6. Buenos Aires, Argentina.
- Nath, A.K. and D.K. Borah., 1983. A study on the release of native and applied fixed phosphate as affected by pH and moisture regime. *Indian J. Agric. Chem.* 16: 247-251.
- Richter, M, Massen, G. and Mizuno, I., 1973. Total organic carbon by the Walkley-Black procedure in some soils of the Argentine Pampa. *Agrochimica* 17: 462-473.
- Sibbesen, E., 1977. A simple ion exchange resin procedure for extracting plant-available elements from soil. *Plant and Soil* 46: 665-669.
- Sibbesen, E., 1978. An investigation of the anion exchange resin method for soil phosphate extraction. *Plant and Soil* 50: 305-321.
- Tiessen, H., Stewart, J.W.B. and Bettany, J.R., 1982. Cultivation effects on the amounts and concentration of carbon, nitrogen and phosphorus in grassland soils. *Agronomy Journal* 74: 831-835.
- Tiessen, H., Stewart, J.W.B. and Cole, C.V., 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 853-858.
- Van der Zee, S.E.A.T.M., Nederlof, M.M., Riemsdijk, W.H. and Haan, F.A.M. de., 1988. Spatial variability of phosphate adsorption parameters. *J. Environ. Qual.* 17: 682-688.
- Vázquez, M.E., Noellemeyer, E. and Coremberg, P., 1991. The dynamics of different organic and inorganic phosphorus fractions in soils from the South of Santa Fé Province, Argentina. *Commun. in Soil Sci. and Plant Anal.* 22: 1151-1163.