

FRACCIONES DE FOSFORO EN SUELOS AGRICOLAS Y PASTORILES DE LA REGION SEMIARIDA PAMPEANA CENTRAL (ARGENTINA)

A M URIOSTE¹, A A BONO², D E BUSCHIAZZO^{1,2}, G G HEVIA¹, E N HEPPEL¹

¹Facultad de Agronomía UNLPam, C.C.300, 6300 Santa Rosa, Argentina. ²EAA Anguil, "Ing.Agr. Guillermo Covas", INTA, C.C. 11, 6326 Anguil, Argentina.

PHOSPHORUS FRACTIONS IN AGRICULTURE AND PASTURE SOILS OF THE SEMIARID ARGENTINIAN PAMPAS

Inorganic phosphorus fractions and total organic phosphorus were evaluated after four years of alfalfa pasture and continuous cropping in two different textured soils of the Central Semiarid Pampean Region. Initially, total phosphorus contents of both soils were similar, labile inorganic phosphorus fractions (PI-HCO₃ and PI-NaOH) were higher and calcium phosphates (PI-HCl) lower in the coarse than in the fine textured soil. PI-HCO₃, PI-HCl and specially PI-NaOH decreased under both cropping systems. These fractions were significantly lower in pasture than in agriculture soils, probably because of the high phosphorus requirements of alfalfa. PI ultrasound NaOH and organic phosphorus were not affected by management.

Key words: Phosphorus fractions - Pasture - Agriculture - Soils of Semiarid Regions

INTRODUCCION

El fósforo es uno de los elementos más afectados por los procesos degradativos en suelos de todo el mundo. La magnitud de las pérdidas de este elemento y las fracciones más afectadas del mismo, varían en función de la intensidad de uso del suelo. Según Buschiazzo *et al.* (1994) los fosfatos más abundantes en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central (RSPC) son los ligados al calcio. Estos mismos autores comprobaron que el uso agrícola-ganadero continuo por más de 20 años, causa disminuciones del fósforo asimilable. La utilización alternada de pasturas de leguminosas y cultivos de cosecha es común en la RSPC. Se ha demostrado que las pasturas de alfalfa permiten recuperar los niveles de carbono orgánico y nitrógeno total de algunos suelos de esta región (Bono, Fagioli 1994; Loewy, López 1994), pero que disminuyen significativamente sus contenidos de fósforo asimilable (Echeverría *et al.* 1993). Ante estos antecedentes surge el interrogante referido a las alteraciones cuali y cuantitativas que pueden sufrir los fosfatos durante una etapa pastoril de la rotación. Esta cuantificación permitiría deducir potenciales requerimientos de fósforo por parte de las pasturas y los cultivos posteriores.

Magid (1993) comprobó que el tipo de vegetación afecta la proporción de las fracciones de fósforo y por lo tanto la fertilidad del suelo. Armstrong y Helyar (1992) demostraron que distintas gramíneas producen disminuciones similares de fracciones de fósforo inorgánico

de diferente solubilidad y, en general, no afectan significativamente al fósforo orgánico. Por otra parte es sabido que las leguminosas poseen mayores requerimientos de fósforo que las gramíneas (Sánchez, Uehara 1980). En algunos suelos muy laboreados la descomposición de la materia orgánica es elevada, lo que produce niveles de fósforo orgánico menores que en suelos bajo pasturas permanentes (Anderson 1980). Estos antecedentes permiten inferir que en suelos de la RSPC las pasturas de alfalfa afectarán con mayor intensidad las reservas más lábiles de fósforo que los cultivos de cosecha y producirán incrementos del fósforo orgánico total. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto que producen las pasturas de alfalfa y la agricultura convencional continuada, sobre la evolución de diferentes fracciones de fósforo, en dos suelos texturalmente diferentes de la RSPC.

MATERIALES Y METODOS

Este estudio se llevó a cabo en dos sitios de la RSPC cuyos suelos, clasificados como Haplustoles énticos, eran texturalmente diferentes: Santa Rosa, franco arenoso y Catrillo, arenoso franco (Tabla 1) y no habían sido fertilizados. En marzo de 1990 se implantó en ambos suelos, que provenían de agricultura continuada de trigo, avena y girasol durante cuatro años, una pastura de alfalfa (*Medicago sativa*), destinándose una parte del lote (3.600 m²) a cultivos de cosecha realizados con labranzas convencionales (arado rastra y cultivadores de campo). La pastura se manejó con pastoreo directo rotativo y la parcela agrícola tuvo la siguiente secuencia de cultivos: trigo (*Triticum aestivum*) (1990), verdeo de invierno (*Avena sativa*) (1991), girasol (*Helianthus*

Tabla 1. Características de los suelos estudiados(*)

Sitio	Prof. (cm)	Limo (%)	Arcilla (%)	Carbono (%)	pH
Santa Rosa	0-10	24,80	11,58	1,3	5,1
	10-20	22,56	12,40	1,4	5,6
Catriló	0-10	16,16	7,68	1,3	6,3
	10-20	18,00	9,06	1,2	6,3

(*) Los datos presentados corresponden a la situación inicial, año 1990.

annus) (1991-1992), trigo (1992), verdeo de invierno (1993) y trigo (1994). Para determinar el rendimiento, los cortes de la pastura se hicieron por cuadruplicado con un marco de 1m² previo a cada ingreso de los animales; en el lote con cultivos anuales se cosecharon 3m² por cuadruplicado. En cada sitio y manejo se realizaron muestreos de suelos al azar por triplicado, a dos profundidades: 0-10 y 10-20 cm, a la siembra de la pastura (situación inicial) y antes de roturar la pastura (cuatro años). A cada muestra, secada al aire y tamizada por 2 mm, se le realizaron las siguientes determinaciones: granulometría por el método combinado de tamizado y pipeteado; pH en pasta por potenciometría; carbono orgánico (C) por Walkley-Black; fósforo total (PT) por calcinación y extracción con H₂SO₄ 0,2N; fósforo inorgánico (PI) por extracción con H₂SO₄ 0,2N; fósforo orgánico total (PO) obtenido por diferencia entre PT y PI (Kailla 1962). Las fracciones inorgánicas de fósforo se determinaron mediante una extracción secuencial basada en el método de Hedley *et al.* (1982): 0,5 g de suelo fueron tratados con 30 ml de solución extractiva y en cada etapa se agitó durante 16 hs, se centrifugó y filtró. El fósforo en los diferentes extractos fue determinado espectrofotométricamente, por el método del ácido ascórbico y molibdato de amonio. Las fracciones analizadas fueron: fósforo lábil (PI-HCO₃) por extracción con solución 0,5 mol dm⁻³ de NaHCO₃ (pH=8,5); fósforo ligado a hierro y aluminio, superficialmente (PI-NaOH) extractado con solución 0,1 mol dm⁻³ de NaOH; fósforo ocluido ligado a hierro y aluminio (PI-ULTRASONIDO NaOH) por extracción con solución 0,1 mol dm⁻³ de NaOH, previo tratamiento con ultrasonido durante 2 minutos a 0°C y fósforo ligado al calcio (PI-HCl) obtenido por extracción con solución 1 mol dm⁻³ de HCl. La fracción de fósforo biológicamente más disponible (removido con resina) y la de fósforo residual (extractado con H₂SO₄, H₂O₂) no fueron determinadas. Los resultados obtenidos se analizaron estadísticamente usando una prueba t, las mismas se compararon de la siguiente forma: entre sitios en la situación inicial (por profundidad) y entre manejos en cada sitio a los cuatro años y por profundidad.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Figura 1 se presentan los contenidos de las fracciones de fósforo analizadas. En ambos sitios, profundidades y manejos, los contenidos más altos correspondieron a PI-HCl (entre 128 y 199 mg kg⁻¹), siguiendo en orden decreciente PO (entre 108 y 131 mg kg⁻¹), PI-NaOH (entre 32,0 y 95,5 mg kg⁻¹), PI-HCO₃ (7,4 y 37,4 mg kg⁻¹) y PI-ultrasonido NaOH (entre 3,4 y 7,9 mg kg⁻¹).

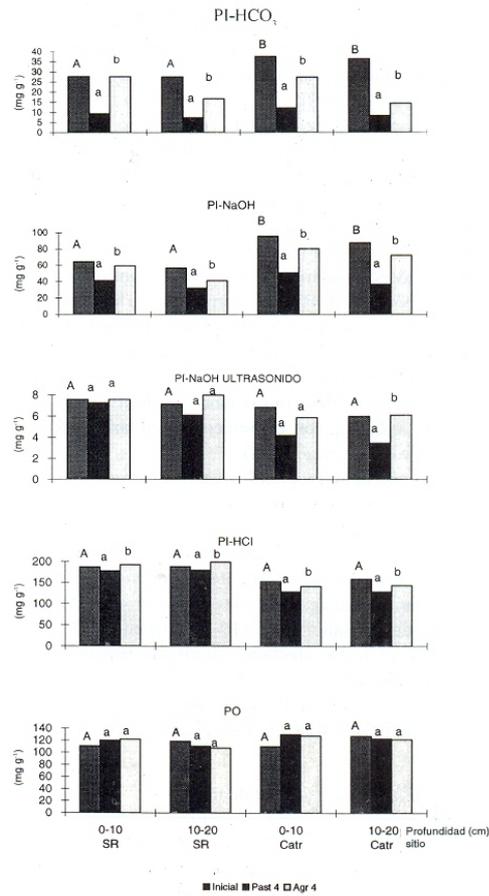


Figura 1. Contenido de las fracciones de fósforo determinadas en suelos de Santa Rosa (SR) y Catriló (CATR) en la situación inicial y después de cuatro años de pastura (PAST 4) y agricultura (AGR 4). Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$). Letras minúsculas indican diferencias entre pastura y agricultura. Letras mayúsculas indican diferencias entre sitios en la situación inicial.

Estos resultados indican que, en las situaciones analizadas, los fosfatos predominantes son de calcio y los menos abundantes los ocluidos.

En la situación inicial el contenido total de fósforo (suma de las fracciones analizadas) prácticamente no difirió entre los dos suelos, pero analizando cada fracción, se encontró que en Catriló los contenidos de PI-HCO₃ y PI-NaOH fueron significativamente mayores y

los de PI-HCl menores que en Santa Rosa. Estas diferencias son coincidentes con resultados de otros autores en cuanto a que suelos de textura más gruesa poseen mayores contenidos de fósforo lábil que los de textura fina (Tiessen *et al.* 1983)

El contenido de PI-HCO₃ disminuyó al cabo de cuatro años en todos los casos estudiados. Estas disminuciones fueron más pronunciadas en los suelos bajo pastura que en los agrícolas, y a la profundidad de 10-20 cm. En todos los casos el contenido de PI-HCO₃ del suelo bajo pastura fue significativamente menor que el del agrícola. Estas tendencias podrían deberse a un consumo más alto de fósforo por parte de la alfalfa con respecto a las gramíneas teniendo en cuenta sus mayores requerimientos. Las pérdidas de fósforo más pronunciadas entre 10 y 20 cm de profundidad podrían deberse a la absorción del elemento de capas más profundas, considerando que la alfalfa tiene un sistema radicular con crecimiento predominantemente pivotante (Mays *et al.* 1980).

En general la fracción PI-NaOH disminuyó al cabo de los cuatro años en todas las situaciones analizadas, siendo más acentuada en los suelos bajo pasturas y a mayor profundidad. Al cuarto año el contenido de esta fracción fue significativamente menor en el suelo bajo pastura que en el agrícola a las dos profundidades, con excepción de Santa Rosa (10-20 cm) en donde estos fosfatos no fueron afectados significativamente por el manejo (Figura 1).

Los contenidos de PI-NaOH siguieron tendencias similares a los de PI-HCO₃. Esto puede deberse a que los

fosfatos PI-NaOH pueden transformarse en PI-HCO₃ de acuerdo al modelo conceptual de transformaciones del fósforo presentado por Tiessen *et al.* (1984). Corroborando esto se encontró una correlación positiva entre los contenidos de dichos fosfatos ($r^2=0,55$, $n=36$, $P<0,01$). En la mayoría de los casos la disminución de PI-NaOH tuvo un alto grado de incidencia sobre la variación del contenido total de las fracciones de fósforo inorgánico extractadas, alcanzando en los dos suelos bajo pasturas y a las dos profundidades, aproximadamente al 46 % de las variaciones totales. Las disminuciones de los fosfatos más lábiles (PI-HCO₃ y PI-NaOH) serían, en parte, causadas por efecto del cultivo, teniendo en cuenta que PI-HCO₃ es una de las fracciones de fósforo más disponible para las plantas (Bowman *et al.* 1978).

Los contenidos de PI-ULTRASONIDO NaOH al cabo de cuatro años prácticamente no presentaron variaciones con respecto a la situación inicial, en todos los casos estudiados. Probablemente estos fosfatos, por estar ocultos en los agregados del suelo, fueron poco afectados por el manejo en el período estudiado. En general esta fracción no presentó diferencias significativas entre manejos con excepción del suelo de Catrilo a la profundidad de 10-20 cm.

Al cabo de cuatro años, PI-HCl disminuyó en relación a la situación inicial en la mayoría de las condiciones analizadas, con excepción del suelo bajo agricultura de Santa Rosa donde se produjo un aumento que fue más marcado a mayor profundidad, coincidentemente con un mayor aumento de pH (0,5 unidades). El PI-HCl fue significativamente menor en el suelo bajo pastura que en el

Tabla 2. Balance general de fósforo.

Sitio	Cultivo	Rendimiento de los cult. (kg ha ⁻¹)	Fósforo en planta o grano ⁽¹⁾ (%)	Extraído por el cultivo ⁽²⁾ (kg ha ⁻¹)	Pérdidas de fósforo del suelo ⁽³⁾ (kg ha ⁻¹)	Extraído por el cultivo ⁽⁴⁾ (%)
Santa Rosa	Pastura	25288	0,31	78,4	207	37,8
	Girasol	1500	0,25	3,8		
	Agric. Trigo	6116	0,375	22,9	26,6	>100
	Verdeos	7751	0,20	15,5		
Catrilo	Pastura	44753	0,31	139,0	426	33
	Girasol 1400	0,25	3,5			
	Agric. Trigo	4482	0,375	16,8	171	20,9
	Verdeos	7775	0,20	15,6		

⁽¹⁾Extractado de Hanway, Olson 1980; Mays *et al.* 1980.

⁽²⁾Calculado en base a la fórmula: $\frac{\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{) fósforo en grano o planta(\%)}}{100}$

⁽³⁾Calculado en base a la suma de las variaciones de las fracciones de fósforo analizadas ocurridas entre el cuarto año y la situación inicial en los primeros 20 cm del perfil.

⁽⁴⁾Porcentaje de las disminuciones de las fracciones de fósforo del suelo debidas a la extracción del cultivo.

agrícola en ambos sitios y profundidades, a los cuatro años.

Luego de cuatro años PO no presentó variaciones pronunciadas con relación a los contenidos iniciales, en ambos manejos. Tampoco se manifestaron diferencias significativas en el contenido de estos fosfatos en todas las condiciones analizadas (manejos y profundidades). Estos resultados indican que en el período estudiado la pastura y la agricultura no ejercieron efectos evidentes sobre el contenido total de PO, en coincidencia con los resultados presentados por O'Halloran *et al.* (1987) para suelos Chernozémicos de Canadá. Estos mismos autores y Tiessen *et al.* (1983) comprobaron que la agricultura produce cambios en las formas de PO disminuyendo especialmente las fracciones más lábiles.

Con el objeto de establecer un balance general de fósforo, se realizó una estimación de la cantidad del elemento extraída por los cultivos en cada suelo (Tabla 2). Para ello se tuvieron en cuenta los rendimientos y los contenidos de fósforo en grano o en masa aérea total de cada cultivo. El consumo de fósforo por la pastura en Santa Rosa explicó un 37% y en Catriel un 33% de las disminuciones de las fracciones de fósforo en el suelo. El consumo de fósforo por parte de los cultivos de cosecha representó más del 100% en Santa Rosa, mientras que en Catriel un 21%. Si bien este balance es relativo por estar sujeto a errores, ya que los contenidos de fósforo en planta y grano no fueron determinados en este estudio sino obtenidos de la bibliografía y no fue evaluado el contenido total de fósforo en el suelo, los resultados muestran que en los suelos bajo pastura la extracción de fósforo por el cultivo explicó en ambos sitios aproximadamente la misma proporción de las disminuciones de las fracciones de fósforo en el suelo. En los suelos agrícolas lo extraído por los cultivos de cosecha explicó cantidades muy variables de las disminuciones de las fracciones de fósforo evaluadas, lo que no permite afirmar que las mismas sean causadas en su totalidad por los cultivos. Deberá considerarse en estudios futuros los efectos de otros procesos sobre las fracciones de fósforo, tales como erosión, transformación de fósforo en formas residuales y a la extracción de fósforo por parte de los cultivos de mayor profundidad que la considerada en este estudio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento F Babinec por la realización de los análisis estadísticos. Este trabajo fue financiado por la Facultad de Agronomía de la UNLPam y la EEA INTA Anguil Ing. G. Covas.

REFERENCIAS

- Anderson G. 1980. Assessing organic phosphorus in soils. En F.E. Khasawneh, E.C. Sample, and E.J. Kamprath, Eds. The role of phosphorus in agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. pp 411-431
- Armstrong R D, Helyar K R. 1992. Changes in soil phosphate fractions in the rhizosphere of semi-arid pasture grasses. Aust. J. Soil Res. 30: 131-143
- Bono A, Fagioli M. 1994. Eficiencia de la alfalfa en la recuperación de la fertilidad nitrogenada del suelo en la región semiárida pampeana. Publicación Técnica N° 45. EEA Anguil, INTA. 11 p.
- Bowman B A, Olsen S, Watanabe F. 1978. Greenhouse evaluation of residual phosphate by four phosphorus methods in neutral and calcareous soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 451-454
- Buschiazzo, D, Hevia G, Urioste A, Hepper E. 1994. Phosphate forms and sorption in virgin and cultivated soils of the Semiárid Argentínea Pampas. XV Int. Congress of Soil Sci.: 97-98
- Echeverría N, Grossi T, Puricelli C A, Pelta H. 1993. Evolución de cuatro parámetros del suelo en dos manejos contrastados. XIV Congreso Arg. de la Ciencia del Suelo. 305
- Hanway J J, Olson R A. 1980. Phosphate nutrition of corn, sorghum, soybeans, and small grains. En F.E. Khasawneh, E. C. Sample, and E. J. Kamprath, Eds. The role of phosphorus in agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. pp 681-692
- Hedley M, Stewart J, Chauhan B. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus induced by cultivation practices and laboratory incubations. Soil Sci. Soc. Am. J. 46: 970-976
- Kaila A. 1962. Determination of total organic phosphorus in samples of mineral soils. J. Sci. Agric. Soc. Finland 34: 187-196
- Loewy T, López R. 1994. Efecto de pastura mixta y cultivos anuales sobre las propiedades de un Haplustol éntico. Ciencia de Suelo 12: 7-10
- Magid J. 1993. Vegetation effects on phosphorus fractions in set-aside soils. Plant and Soil 149: 111-119
- Mays D A, Wilkinson S R and Cole C D. 1980. Phosphorus nutrition of forages. En F.E. Khasawneh, E. C. Sample, and E. J. Kamprath, Eds. The role of phosphorus in agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. pp 805-846
- O'Halloran I, Stewart J, Kachanoski R. 1987. Influence of texture and management practices on the forms and distribution of soil phosphorus. Can. J. Soil Sci. 67: 147-163
- Sánchez P, Uehara G. 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In F.E. Khasawneh, E.C. Sample, and E.J. Kamprath, Eds. The role of phosphorus in agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI. pp 471-509
- Tiessen H, Stewart J W B, Moir J O. 1983. Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle size fractions during 60-90 years of cultivation. J. Soil Sci., 34: 815-823
- Tiessen H, Stewart J W B, Cole C. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. Soil Sci. Soc. Am. J., 48: 853-858