

Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica *

Liliana I. Picone y Ester Zamuner

Facultad Ciencias Agrarias (UNMP)-EEA INTA Balcarce

CC 276, (7620) Balcarce, Buenos Aires, Argentina

lpicone@balcarce.inta.gov.ar

Publicado en Informaciones Agronómicas del Cono Sur, N°16, Diciembre 2002

El ciclo del fósforo (P) en el suelo es un sistema dinámico y complejo que involucra la acumulación del elemento en la biomasa microbiana, materia orgánica y formas inorgánicas. El P en el suelo puede ser particionado en compartimentos que varían en su disponibilidad para las plantas y microorganismos. Una fracción pequeña se encuentra en forma soluble, la cual está en equilibrio con la fracción lábil que comprende el P orgánico fácilmente mineralizable y los fosfatos débilmente adsorbidos a las arcillas coloidales. La mayor parte está en formas insolubles o fijadas, principalmente como minerales primarios fosfatados, humus, fosfatos insolubles de Ca, Fe y Al, y fosfatos fijados por los óxidos y minerales silicatados.

En este ciclo, el P orgánico representa una fracción importante oscilando entre 15% y 80% del P total en el horizonte superficial, dependiendo del tipo de suelo y su composición (Tabla 1) (Halstead y McKercher, 1975). En la Argentina, el P orgánico representa entre 78% y 83% del P total en suelos Molisoles del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Diez et al., 2000; Picone et al., 2001); mientras que en suelos Vertisoles y Alfisoles de la provincia de Entre Ríos oscila entre el 41 y 74% del P total, en los horizontes superiores (Boschetti et al., 2000; Pascale et al., 2000). En el sur de Misiones, el P orgánico explica un 18% y 28% del P total en los suelos Ultisoles y Oxisoles, respectivamente (Vázquez et al., 1998).

Fósforo en la biomasa microbiana y su variación

El P orgánico está compuesto, a su vez, por varias fracciones, desde las más lábiles hasta las más resisten-

tes a la mineralización. No obstante, el componente orgánico central del ciclo del P es la biomasa microbiana (Stewart y Tiessen, 1987), la cual es una fracción lábil controlada por factores ambientales y por aquellos relacionados con el manejo de los suelos.

En una pastura mixta fertilizada con distintas dosis de P, el contenido de la biomasa microbiana fue de 29 mg P kg⁻¹ en los primeros 15 cm de suelo, y representó el 5% del P orgánico total (Picone et al., 2001). Tendió a aumentar con la dosis de P aplicada, desde 22 mg P kg⁻¹ (testigo) hasta 37 mg P kg⁻¹, con la dosis de 200 kg P ha⁻¹. El momento de muestreo del suelo (2 a 3 años después de fertilizar) pudo haber afectado estos resultados, más aún si se tiene en cuenta que el reservorio estudiado es muy dinámico. En cambio, en un ensayo en invernáculo se observó, a los 2 días de aplicar una solución de P, que los microorganismos eran un destino significativo del P aplicado, especialmente cuando se agregaba una fuente de carbono fácilmente disponible (Mestelan, 1997).

La conversión de una pastura permanente en cultivos anuales bajo labranza convencional redujo en un 32% el P de la biomasa microbiana en los primeros 10 cm de suelo, a los 2 años de haber efectuado el cambio. Por el contrario, a los 2 años de haber implantado un sistema agrícola bajo labranza cero, los valores de biomasa microbiana fueron similares a los de la pastura permanente (Aslam et al., 1999). Luego de 8 años consecutivos de siembra directa, el P de la biomasa microbiana fue superior con respecto al del suelo bajo labranza convencional, especialmente en la profundidad de 0-5 cm (Fig. 1) (Ester Zamuner, comunicación personal).

Tabla 1. Valores de fósforo (P) orgánico en suelos del mundo. Datos de Halstead y McKercher (1975).

Lugar	P orgánico	
	mg kg ⁻¹	% del P total
Australia	40-900	-
Canadá	80-710	9-54
Dinamarca	354	61
Inglaterra	200-920	22-74
Nueva Zelanda	120-1360	30-77
Nigeria	160-1160	-
Escocia	200-920	22-74
Estados Unidos	4-85	3-52

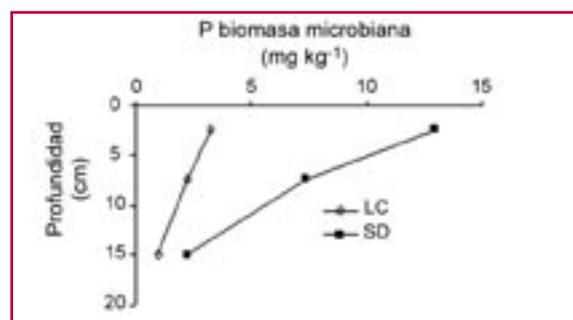


Figura 1. Fósforo (P) de la biomasa microbiana (expresada como flush de P) a distintas profundidades, en un suelo bajo labranza convencional (LC) y siembra directa (SD) (E. Zamuner, com. pers.).

El P de la biomasa microbiana muestra un patrón de variación estacional que aumenta gradualmente durante el invierno, y comienza a disminuir a mediados de la primavera hasta alcanzar el valor más bajo en el verano (Picone et al., 2001). Esta variación puede atribuirse a una menor mineralización, durante el invierno, debido a las bajas temperaturas del suelo (12°C). Por el contrario, en la primavera fueron las temperaturas más elevadas (19°C) las que favorecieron la mineralización de esta fracción, ya que el contenido de agua del suelo no había variado con respecto al mes anterior. En el verano, el contenido de agua del suelo que fue inferior al de capacidad de campo, limitó el crecimiento microbiano y produjo mortandad de microorganismos (Fig. 2). Estos cambios estacionales indican el almacenaje y liberación de P por parte de la biomasa microbiana que podrían afectar el P disponible. En pasturas, aproximadamente un 39% del P transferido a la fracción de P-Olsen derivó de la biomasa microbiana (Kondo et al., 1989).

Comparando los valores de flujo anual de P, a través de la biomasa microbiana, con el P absorbido por la pastura se observa que el flujo es un 40-50% mayor (Tabla 2). Posiblemente este valor sea superior, considerando que las raíces pueden llegar a explorar P más allá de los 15 cm de profundidad de suelo. Brookes et al. (1984) obtuvieron flujos anuales de P a través de la biomasa de 5 y 23 kg P ha⁻¹ año⁻¹ en suelos bajo trigo continuo y pasturas, respectivamente. Aunque el flujo de P bajo trigo continuo fue menor que el P absorbido por el cultivo (20 kg P ha⁻¹ año⁻¹), en las pasturas fue

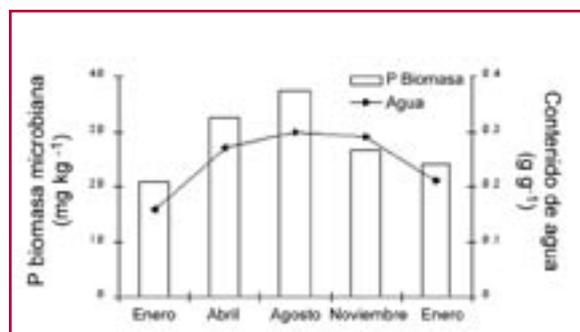


Figura 2. Variación del fósforo (P) de la biomasa microbiana y el contenido de agua en el horizonte superficial de una pastura, promedio de distintas dosis de P. (LSD_{0.05} = 6.7 para biomasa, LSD_{0.05} = 0.01 para agua). (Picone et al., 2001).

Tabla 2. Fósforo (P) de la biomasa microbiana, flujo anual de P, y P absorbido por la pastura (Picone et al., 2001).

Dosis de P	Biomasa microbiana de P*	Flujo anual de P	P absorbido por pastura
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹ año ⁻¹	
0	36	18	9
50	40	20	12
100	49	24	14
200	61	30	18

*Biomasa de P determinada (en los 15 cm) por el método de Brookes et al. (1982).

mucho mayor que el P asimilado por las plantas (12 kg P ha⁻¹ año⁻¹). Por lo tanto, la biomasa microbiana podría ser una fuente importante de P para la nutrición vegetal, si se dan las condiciones para su mineralización. En pasturas del Reino Unido, la absorción de P por la planta correlacionó con la suma de P en la biomasa microbiana y los reservorios de P disponible (He et al., 1997).

Fósforo orgánico lábil

Además de la biomasa microbiana, el P orgánico extractable con NaHCO₃ compone la fracción orgánica lábil que estaría disponible para las plantas o microorganismos en un período de tiempo corto, del orden de días o semanas (Cross y Schlessinger, 1995). Halm et al. (1972) encontraron que el P orgánico lábil extractable con 0.5 M NaHCO₃ correlacionaba positivamente con la actividad de la enzima fosfatasa y la población microbiana. Posteriormente, Bowman y Cole (1978) enfatizaron la importancia del P orgánico lábil en la nutrición de las pasturas fertilizadas con P. En una pastura mixta, el P orgánico lábil extraído con NaHCO₃ promedió 30 mg P kg⁻¹, pero sus valores presentaron un rango de variación mayor que los de biomasa microbiana: varió desde 11 hasta 71 mg P kg⁻¹, dependiendo de la fecha de muestreo y dosis de P (Fig. 3). El P orgánico lábil mostró un patrón de variación estacional opuesto al del P de la biomasa microbiana, siendo mayor en el verano cuando el contenido de agua era bajo y la absorción de P por parte de la pastura decaía (Fig. 3) (Picone et al., 2001). Esta fracción de P declinó entre enero y noviembre, supuestamente como resultado de la mineralización. El P orgánico puede ser mineralizado como subproducto de la mineralización de la materia orgánica del suelo o mediante la acción de enzimas específicas que son reguladas por la demanda de este nutriente. Estos datos indicarían que la mineralización fue independiente de la dosis de P aplicada. Similar tendencia fue observada por Linnquist et al. (1997) quienes sugirieron que la mineralización de la fracción orgánica de P extractable con NaHCO₃ está acoplada a la del carbono y nitrógeno.

Fraccionamiento del fósforo orgánico

Hedley et al. (1982) propusieron un fraccionamiento secuencial que permite separar al P en fracciones orgánicas e inorgánicas que varían en su disponibilidad para las plantas y microorganismos (Tabla 3). Empleando una modificación de la extracción secuencial propuesta por Hedley et al. (1982), Boschetti (2001) encontró que la proporción de P total retenida, en las distintas fracciones orgánicas, variaba con el desarrollo de los suelos. En los suelos Oxisoles y Ultisoles la mayoría del P orgánico, expresado en valores absolutos o como porcentaje del P total, estuvo quimioadsorbido a los compuestos de Fe y Al; mientras que en los suelos mas

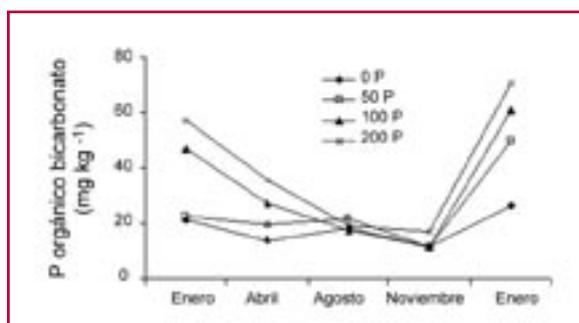


Figura 3. Dinámica del fósforo (P) orgánico extraído con bicarbonato de sodio en el horizonte superficial de un suelo bajo pastura, fertilizada con 0, 50, 100 y 200 kg P ha⁻¹. (LSD_{0.05} = 7.4). (Picone et al., 2001).

jóvenes como los Entisoles e Inceptisoles, comienzan a adquirir importancia relativa las formas orgánicas más lábiles, aquellas retenidas en forma más intercambiable. La suma del contenido de P de cada fracción orgánica (P-NaHCO₃ + P-NaOH + P-HCl concentrado) fue mayor en los suelos más evolucionados, donde el P orgánico moderadamente lábil puede representar hasta el 89% del P orgánico (Tabla 4). Los suelos con mayores contenidos de Fe y Al amorfo presentaron los valores más altos de P orgánico moderadamente lábil.

El uso de esta extracción secuencial, también permite identificar las fracciones de P que pueden ser alteradas por las prácticas de cultivo. En Canadá, la implementación de trigo continuo bajo labranza cero durante 12 años comparada a la de trigo con barbecho bajo labranza convencional, incrementó significativamente el P total como resultado de una mayor acumulación de formas lábiles y moderadamente lábiles en superficie, especialmente en forma orgánica (Tabla 5). Esto refleja la mayor cantidad de residuos que retornan al suelo bajo trigo continuo, y la reducción en la tasa de descomposición de los residuos en suelos bajo labranza cero (Selles et al., 1999).

Disponibilidad del fósforo orgánico y nutrición de cultivos

Estimar la cantidad de P orgánico que se hace disponible mediante la mineralización puede ser impor-

Tabla 3. Fracciones de fósforo (P) y sus características principales (Adaptado de Selles et al., 1999).

Fracción de P	Características
Pi-resina	P inorgánico más biodisponible
P-NaHCO ₃	P inorgánico y orgánico adsorbido a los coloides
P-CHCl ₃ /NaHCO ₃	P de la biomasa microbiana
P-NaOH	P inorgánico y orgánico quimioadsorbido a los compuestos de Fe y Al.
P-sonicado	P inorgánico y orgánico en el interior de los agregados
P-HCl	P inorgánico relativamente insoluble unido al Ca, y P ocluido en suelos meteorizados
P-residual	P inorgánico y orgánico químicamente muy estables e insolubles

Tabla 4. Fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo (P) en el horizonte superficial en suelos de la Mesopotamia. Datos de Boschetti (2001).

Suelo	Pi Resina	Pi NaHCO ₃	Po NaHCO ₃	Pi NaOH	Po NaOH	Pi HCl	Pi HCl Conc.	Po HCl Conc.	P Residual	P Total
mg kg ⁻¹										
1	12	4.8	12.8	34.8	162.9	12.0	225.4	7.5	126.6	599
2	15	1.0	26.3	9.3	153.2	5.4	76.0	75.0	85.0	447
3	13	3.4	19.7	29.4	87.9	22.7	274.0	31.0	188.5	670
4	10	3.9	28.5	8.6	41.0	8.8	22.2	6.8	12.3	142
5	4.6	6.3	11.3	10.1	32.3	6.8	20.2	5.1	12.6	109
6	1.8	2.9	13.9	6.1	27.9	4.4	19.9	3.4	14.6	95

1 Hapludox (Oxisol), 2 Kandihumult (Ultisol), 3 Kandiudult (Ultisol), 4 Haplumbrept (Inceptisol), 5 Udifluent (Entisol), 6 Udipsament (Entisol).

tante en suelos con bajo niveles de P nativo, en suelos ácidos que presentan una actividad alta de Fe y Al, y en tropicales donde gran parte del P se encuentra en forma orgánica. Bowman y Cole (1978) usaron los cambios en P orgánico extraído con NaHCO_3 como una medida del P orgánico potencialmente mineralizable. Sin embargo, los cambios netos en P orgánico son generalmente pequeños en relación al tamaño de los reservorios totales. Consecuentemente, se requieren observaciones durante varios años para detectar efectos significativos (Friesen y Blair, 1988). Chater y Mattingly (1979) compararon los cambios en P orgánico, durante un período de 20-50 años, bajo sistemas de cultivos contrastantes. Ellos reportaron una tasa anual promedio de mineralización neta del P orgánico que varió desde 0.5 hasta 3.2 kg P ha^{-1} . Las cantidades de P orgánico mineralizado variaron entre 5 y 20 $\text{kg P ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en las regiones templadas y desde 67 hasta 157 $\text{kg P ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ en los suelos tropicales donde las marcadas estaciones húmedas y secas, y la mayor temperatura del suelo estimulan la actividad microbiana (Stewart y Sharpley, 1987). Estudios realizados con suelos incubados mostraron evidencias de mineralización del P orgánico, a través de la disminución de las formas orgánicas lábiles de P, en el tratamiento testigo y fertilizado (Giuffré et al., 1998). El P inorgánico lábil fue el principal destino de la mineralización en el suelo Hapludol; mientras que un incremento en las formas de P extractables con los métodos de Bray y Olsen se observó en los suelos Argiudoles. También, las formas orgánicas moderadamente lábiles de P se habrían movilizado durante el período de incubación del suelo (Zubillaga y Giuffré, 1998). En presencia de *Lolium perenne*, la movilización de P orgánico fue mayor en los Ultisoles (77%) y Andisoles (75%) con respecto a los Molisoles, Vertisoles y Entisoles (Zubillaga y Giuffré, 1999). Empleando la técnica de dilución isotópica, Lopez-Hernández et al. (1998) determinaron una tasa de mineralización del P orgánico de 220 a 900 $\mu\text{g P kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$, en suelos Molisoles que tienen una baja adsorción de P.

La significancia del P orgánico, en la nutrición de los cultivos, ha sido probada relacionando su contenido con el rendimiento de los cultivos. Los mayores efectos han sido notados en suelos tropicales donde, aparentemente, el P orgánico puede contribuir a los requerimientos de los cultivos. Estudios realizados en África reportaron una buena correlación entre rendimiento del trigo y el P orgánico total (Friend y Birch, 1960). Se asumió que una proporción constante del P orgánico total era mineralizado, y que éste fue la principal fuente de P para la planta. En Ultisoles, las variaciones en el contenido de la fracción orgánica lábil y extractable con NaHCO_3 explicaron el 80% de la variabilidad del P inorgánico lábil (P-resina) (Tiessen et al., 1984). También en suelos Ultisoles, esta fracción de P orgánico correlacionó con la absorción de P y producción de materia seca de soja, en sistemas no fertilizados (Linguist et al., 1997). En regiones templadas, la contribución del P orgánico sería menor, siendo la disponibilidad de P inorgánico el principal factor que afecta la respuesta de los cultivos. En suelos Molisoles, la mayoría del P inorgánico lábil (P-resina) derivó de las formas inorgánicas de P adsorbidas y secundarias extraídas con NaHCO_3 y NaOH (Tiessen et al., 1984). El P orgánico e inorgánico explicaron hasta el 81% y 88% de la variación del P disponible-Bray en suelos no fertilizados y fertilizados, respectivamente (Sharpley, 1985).

El incremento de las fracciones orgánicas de P en algunos ordenes de suelo y bajo determinadas labranzas, indica la importancia del P orgánico como una reserva de este nutriente. Si bien varios trabajos muestran evidencias de mineralización del P orgánico como una posible fuente de P disponible para los cultivos, aún no disponemos de suficiente información sobre la tasa de mineralización de las fracciones orgánicas de P ni tampoco ensayos que permitan evaluar la habilidad de las plantas para usar el P liberado. El aporte de estas fracciones orgánicas para las plantas podría tener implicancias en los tests de suelo, que usualmente se emplean para estimar el P disponible sin considerar la fracción orgánica.

Tabla 5. Contenido y proporción de fósforo (P) en las fracciones orgánicas e inorgánicas, para los primeros 10 cm de suelo. Datos de Selles et al. (1999).

Pool de P	Barbecho-trigo (labranza convencional)		Trigo continuo (labranza cero)	
	kg ha^{-1}	%	kg ha^{-1}	%
Org. Lábil	66	6.3	108	10.5
Inorg. Lábil	82	9.5	112	10.8
Total lábil	148	15.8	220	21.3
Org. mod. Lábil	157	16.9	238	22.8
Inorg. mod. lábil	411	15.5	387	37.2
Total mod. lábil	568	62.4	625	60.0
Residual	189	21.8	197	18.6
Total	877	100	1041	100

P lábil= Pi-resin , P-microbiano, Po y Pi-NaHCO_3 ; P moderadamente lábil= Po y Pi-NaOH , Pi-HCl ; P residual=Fracciones de P extraídas con H_2SO_4 .

Referencias

- **Aslam T; Choudhary M.A. y Saggar S.** 1999. Tillage impacts on soil microbial biomass C, N and P, earthworms and agronomy after two years of cropping following permanent pasture in New Zealand. *Soil Till. Res.* 51:103-111.
- **Bowman R.A. y Cole C.V.** 1978. Transformations of organic P substrates in soils as evaluated by Na-HCO₃ extraction. *Soil Sci.* 125:49-54
- **Boschetti N.G; Valenti R; Vesco C. y Sione M.** 2000. Contenido de fósforo total en suelos con características vérticas de la provincia de Entre Ríos. *Revista Facultad de Agronomía*, 20:53-58.
- **Boschetti N.G.** 2001. Dinámica de las fracciones orgánicas e inorgánicas del fósforo del suelo y su disponibilidad para las plantas. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. Facultad de Agronomía-Universidad Nacional de Buenos Aires. p.113.
- **Brookes P.C; Powlson D.S. y Jenkinson D.S.** 1982. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.* 14:319-329.
- **Brookes P.C; Powlson D.S. y Jenkinson D.S.** 1984. Phosphorus in the soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.* 16:169-175.
- **Chater M. and Mattingly G.E.G.** 1979. Changes in organic phosphorus contents of soil from long-continued experiments at Rothamsted and Saxmundham. Rothamsted Experiment Station Report for 1979, Part 2, pp. 41-61.
- **Cross A.F. y Schlessinger H.W.** 1995. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma.* 64: 197-214.
- **Diez A; Zamuner E; Picone L. y Berardo A.** 2000. Efecto de la aplicación de dosis única o fraccionada de fertilizante fosfatado sobre el fósforo del suelo. XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. AACs. Mar del Plata, Buenos Aires.
- **Friend M.T. y Birch H.F.** 1960. Phosphate response in relation to soil tests and organic phosphorus. *J. Agric. Sci.* 54:341-347.
- **Friesen D.K. y Blair G.J.** 1988. A dual radiotracer study of transformations of organic, inorganic and plant residue phosphorus in soil in the presence and absence of plant. *Aust. J. Soil Res.* 26: 355-366.
- **Giuffré L; Zubillaga M.S; Heredia O.S. y Misart F.** 1998. Mineralización de fósforo en molisoles pampeanos. *Ciencia del Suelo* 16:99-102.
- **Halm B.J; Stewart J.W.B. y Halstead R.L.** 1972. The phosphorus cycle in a native grassland ecosystem. pp. 571-586. *In: Isotopes and radiation in soil-plant relationships including forestry.* Int. Atomic Energy Agency, SM 151/7. Vienna.
- **Halstead R.L. y McKercher R.B.** 1975. Biochemistry and cycling of phosphorus. *In: E. A. Paul y A. D. Mc Laren (eds.). Soil Biochemistry, Vol 4, Marcel Deckker, New York, pp.31-63.*
- **He Z.L; Wu J; O'Donnell A.G. y Sears J.K.** 1997. Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus ad sulphur in soils under pasture. *Biol. Fert. Soils.* 24:421-428.
- **Hedley M.J; Stewart J.W.B. y Chauhan B.S.** 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 970-976.
- **Kondo H; Koyama N; Tsuiki M; Shiyomi M; Katoh K. y Kurashima K.** 1989. Mineralization of phosphorus from microbial biomass in soil. *Bulletin of the National Grassland Research Institute.* 42: 69-75.
- **Linguist B. A; Singleton P.W. y Cassman K.G.** 1997. Inorganic and organic phosphorus dynamics during a build-up and decline of available phosphorus in an ultisol. *Soil. Sci.* 162:254-263.
- **Lopez Hernandez D; Brossard M. y Frossard E.** 1998. P-isotopic exchange values in relation to Po mineralisation in soils with very low-P sorbing capacities. *Soil Biol. Biochem.* 30:1663-1670.
- **Mestelan S.** 1997. Destino del fósforo inorgánico agregado al suelo: Su distribución en algunas fracciones inorgánicas y orgánicas. Tesis para optar al grado de Magister Scientiae. Facultad Ciencias Agrarias (UNMDP). 90 p.
- **Pascale C; Heredia O. y Giuffré L.** 2000. Distintas fracciones de P en suelos de Entre Ríos. *Revista Facultad de Agronomía* 20:59-62.
- **Picone L.I; Zamuner E; Berardo A. y Marino M.A.** 2001. Phosphorus transformations as affected by sampling date and fertilizer rate, and phosphorus uptake in soil under pasture. Aceptado para su publicación en *Nutrient Cycling Agroecosystems.*
- **Selles F; Mc Conkey B.G. y Campbell C.A.** 1999. Distribution and forms of P under cultivator and zero tillage for continuous and fallow -wheat cropping systems in the semi-arid Canadian prairies. *Soil Till. Res.* 51: 47-59.
- **Sharpley A.N.** 1985. Phosphorus cycling in unfertilized and fertilized agricultural soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:905-911.
- **Stewart J.W.B; y Sharpley A.N.** 1987. Controls on dynamics of soil and fertilizer phosphorus and sulfur. *In: R. F. Follett y C. V. Cole (eds.). Soil fertility and organic matter as critical components of production.* SSSA Special Publication 19. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin. p. 101-121.
- **Stewart J.W.B. y Tiessen H.** 1987. Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochemistry, Dordrecht,* 4:41:60.
- **Tiessen H; Stewart J.W.B. y Cole C.V.** 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 852-858.
- **Vázquez S; Dalurzo H; Lifschitz A.P. y Morales L.A.** 1998. Fósforo total, orgánico e inorgánico en Ultisoles, Alfisoles y Oxisoles del sur de Misiones (Argentina). *Ciencia del Suelo.* 16: 47-49.
- **Zubillaga M.S. y Giuffré de López Camelo L.** 1998. Pathways of native and fertilizer phosphorus in Argentine soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51:101-105.
- **Zubillaga M.S. y L. Giuffré.** 1999. Soil phosphorus mobilization in different taxonomic orders. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 162: 201-205.