

CAMBIOS DEL FÓSFORO EN SUELOS BAJO DIFERENTES ROTACIONES DE CULTIVOS

Suñer Liliana^{1,3}, Galantini Juan A.^{1,3}, y Rosell Ramón^{2,3}

¹ Comisión de Investigaciones Científicas (CIC, Pcia. Bs. As.), ² CONICET,
³ Laboratorio de Humus, CERZOS - Dpto. Agronomía, UNS. Bahía Blanca (8000),
Argentina.

lsuner@criba.edu.ar

Introducción

Los contenidos de fósforo (P) total del suelo pueden ser relativamente altos, desde 200 a 5000 $\mu\text{g g}^{-1}$ (Kuo, 1996), pero la capacidad del suelo de proveer P es muy variable. En la región pampeana, sólo una pequeña fracción que varía de 5 a 20 $\mu\text{g P g}^{-1}$ está disponible para los cultivos (García, 2001). De esta manera, aún cuando la reserva de P total en el suelo exceda ampliamente los requerimientos del cultivo, éste podría sufrir deficiencias.

La dinámica del P en el suelo es compleja y el equilibrio entre los diferentes compuestos en los que se lo puede encontrar es función de las características químicas, físicas y biológicas edáficas. La transformación de las formas orgánicas (Po) e inorgánicas (Pi) del P están estrechamente relacionadas; si bien las plantas absorben Pi, existen numerosos trabajos que indican la importancia del Po como un reservorio de P disponible para las plantas (Stewart y Tiessen, 1987). En el oeste de la provincia de Buenos Aires se ha encontrado que el Po representa entre el 28,5% y el 51% de la reserva total (Galantini et al., 1997). Varios estudios realizados en los suelos de la región pampeana (Hepper, 1996; Vazquez, 2002), evidencian pérdidas importantes de P total, debidas principalmente a las fracciones más lábiles inorgánicas y orgánicas y es aquí donde radica la importancia del Po para determinar la disponibilidad de P del suelo (Andersohn, 1996).

Numerosos trabajos han estudiado las diferencias en cantidad y dinámica de las varias formas de P que se encuentran en el suelo, basándose en largos y complicados fraccionamientos químicos (Hedley et al., 1982; Kpombekou y Tabatabai, 1997). Con estas metodologías ha sido posible separar formas de P con diferente significado físico-químico, aportando información desde el punto de vista de la susceptibilidad a la degradación biológica en diferentes situaciones.

La obtención de estas diversas formas de P permitió la elaboración de modelos descriptivos sumamente detallados, los que en algunos casos exceden las posibilidades de validación en situaciones de campo (Parton et al, 1988).

Durante los últimos años, y con la aparición de esquemas de fraccionamiento físico por tamaño de partícula de la materia orgánica (MO), ha sido posible la caracterización de fracciones con características y dinámica muy diferentes (Galantini et al., 2004). Las fracciones más importantes desde el punto de vista del manejo agronómico y ambiental son dos. Por un lado la MO asociada a la fracción mineral (MOM), constituida por las partículas menores de 0,1 mm y que representa las moléculas más transformadas como los ácidos húmicos y las huminas. Por otro lado, y con características totalmente diferentes, se encuentra la materia orgánica particulada (MOP) o joven, constituida por partículas de tamaño entre 0,1 y 2 mm y que comprende el material orgánico del suelo en estados de transformación intermedia. Desde el punto de vista de su función en el suelo, su papel es totalmente diferente. En el caso de la MOM es la principal responsable de las uniones con los minerales del suelo, formando los complejos organo-minerales, o sea, elementos básicos en la formación de los agregados y la estructura del suelo. Mientras que la MOP constituye el elemento más dinámico, con un papel activo en la dinámica de los nutrientes contenidos en ella, aspecto que se encuentra íntimamente ligado a la disponibilidad de nutrientes para los cultivos (Galantini et al., 2004).

Dada la importancia desde el punto de vista de la fertilidad de este tipo de fraccionamiento físico por tamaño de partícula, resulta relevante conocer cual es la distribución de las formas orgánicas e inorgánicas del P dentro de estas fracciones y su relación con el manejo agronómico.

Los resultados obtenidos en una primera etapa de la investigación han puesto de manifiesto que la fracción más afectada por el manejo agrícola es el Po asociado a los residuos semitransformados o MOP (Suñer et al., 2002). También, se ha determinado que el P obtenido por el método Bray-Kurtz (1945) es de origen inorgánico y preferentemente asociado a la fracción fina del suelo (Suñer et al., 1999). Estos resultados podrían explicar la respuesta errática a la fertilización con P en suelos donde el diagnóstico los ubica como deficientes. Además, en las regiones semiáridas la variabilidad de los factores climáticos incide significativamente sobre los rendimientos enmascarando en la mayoría de los casos el verdadero efecto del fertilizante aplicado. Algunos trabajos muestran que los manejos que modifican la actividad microbiana, como las labranzas conservacionistas, mejoran el ciclado del P y la calidad del suelo (Zibilske et al., 2003). Se han observado cambios importantes en la fracción orgánica del P, la que disminuyó por la mineralización durante el barbecho (McKenzie et al., 1992), mientras que aumentó por la incorporación del Pi en pasturas mixtas con leguminosas (Echeverría et al., 1993).

Evidentemente, para comprender en forma global la dinámica del P y evaluar los test de disponibilidad, se deben conocer los contenidos de P en sus diferentes formas y sus equilibrios con los compuestos lábiles. Además, se debe considerar el impacto de las diferentes prácticas agrícolas sobre las fracciones orgánica e inorgánica de P y relacionarlas con los cambios en la absorción por el cultivo, su nutrición, su rendimiento y su calidad industrial.

La hipótesis propuesta es que la separación de las formas de P por su asociación al tamaño de partícula son indicadores sensibles del efecto del manejo. El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios producidos por dos rotaciones de cultivos sobre la distribución de las formas de P en fracciones granulométricas de suelos de la región semiárida pampeana.

Materiales y métodos

La experiencia se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria Bordenave del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) (63° 01' 20" O; 37° 51' 55" S) ubicada en la región semiárida pampeana de Argentina, provincia de Buenos Aires. El clima es continental templado, con una temperatura media anual de 15 °C. La precipitación media anual es 654 mm (1928-1995), concentrada en otoño y primavera, con una estación seca a fines del invierno y otra semiseca a mediados del verano.

El suelo es un Haplustoll éntico, franco arenoso, mixto, méxico. No se observaron diferencias texturales entre los diferentes bloques ni tratamientos, con valores medios de arcilla y limo de 10,1 y 21,8%, respectivamente.

Sobre una pastura implantada se instalaron diferentes sistemas de rotaciones de cultivos que tenían una superficie de media hectárea. En este estudio se presentan los datos de las siguientes situaciones (Tabla 1):

Ref: situación inicial o de referencia, con vegetación natural sin cultivar desde mucho antes de iniciar las rotaciones; que mantuvo la pastura original desde el inicio de la experiencia, pero con importante reemplazo de las especies originales por especies espontáneas. Considerado tiempo cero.

PaC: pastura durante 5,5 años - cultivos [trigo (*Triticum aestivum*)-sorgo (*Sorghum bicolor*)-avena (*Avena sativa*)+vicia (*Vicia sativa*)] durante 6,5 años;

TG: trigo – Girasol (*Helianthus annuus*)

Tabla 1. Secuencias de las diferentes rotaciones y precipitaciones en los años analizados

Años desde el inicio	PaC	TG	Lluvia anual (mm)
0	Pastura natural		
9	Triticale+vicia	Trigo	1195
10	Trigo	Girasol	1108
12	Trigo	Girasol	642

El muestreo de suelos se realizó a los 9 años de iniciada la experiencia y se repitió a los 10 y 12 años. Se ubicaron 3 bloques al azar, tanto en el sistema de producción como en el suelo de referencia y se tomaron 3 muestras compuestas (3 submuestras) de la profundidad 0-15 cm en cada bloque. En ninguno de los tratamientos se aplicó fertilizantes.

Determinaciones analíticas

En las muestras de suelo secadas al aire y tamizadas por 2 mm, se determinaron las siguientes propiedades químicas: pH (relación suelo- agua 1:2,5). P extractable (Pe), Bray y Kurtz (1945); P total extractable (Pte), Sommers y Nelson (1972).

Se realizó el fraccionamiento físico por tamaño de partícula. Se tomaron 50 g de suelo previamente tamizado (2 mm), ca. 100 ml de agua destilada (relación suelo:agua 1:2) y 10 bolitas de vidrio, para incrementar la desagregación y reducir los posibles problemas creados por diferentes contenidos de arena (Elliott y Cambardella, 1991). Se agitó vigorosamente durante aproximadamente 60 minutos para desintegrar los agregados y se pasó a través de un tamiz de 12 cm de diámetro y 0,1 mm de abertura de malla, lavando con abundante agua destilada. Se recogieron en forma separada las dos fracciones, la fina (FF, 0-100 μm) y la gruesa (FG, 100-2000 μm), las que se secaron y homogeneizaron. Estas dos fracciones tienen características diferentes: en la fina se encontraban arcilla, limo, arenas muy finas y la MOM; en la fracción gruesa se encontraban las arenas, minerales del tamaño de las arenas y la MOP. Sobre cada una de las fracciones se determinaron los contenidos de P orgánico (Po) e inorgánico (Pi) (Saunders y Williams, 1955).

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de la varianza (ANOVA) y se aplicó el test de las diferencias mínimas significativas (DMS) utilizando el software BMDP (BMDP, 1992) y macros elaboradas por el Dpto. de Matemáticas (UNS).

Resultados y discusión

Fósforo en el suelo

El Pe de ambas rotaciones de cultivos disminuyó significativamente con respecto al suelo de referencia. Esta disminución fue más marcada en PaC (Tabla 2). Esto podría deberse a la introducción de leguminosas, las que tienen altos requerimientos de P, y a la menor frecuencia de labranza, la que disminuye la descomposición del P asociado a la materia orgánica en la rotación PaC. De esta manera, las leguminosas alteran las proporciones de Po y Pi, haciendo que los valores de Pe detectados por el método de Bray-Kurtz sean más bajos.

Los dos tratamientos produjeron disminución significativa de pH en relación al suelo de referencia manteniendo valores semejantes a lo largo de los años analizados. Esto estaría relacionado con la pérdida de MO en los suelos con baja capacidad buffer, como lo son los utilizados en esta experiencia.

El contenido de Pte disminuyó significativamente en las dos rotaciones evaluadas con respecto al suelo de referencia. La magnitud de las pérdidas pone de manifiesto la velocidad con la que ocurrieron los cambios en el suelo. La menor cantidad de labranzas y predominio de cultivos de invierno en PaC resultaron en disminuciones significativamente menores que en TG, las que se mantuvieron entre el 9º y 12º año.

Se observó una tendencia semejante en el contenido de Po+Pi en el suelo de referencia y en los cultivados. Sin embargo, la diferencia con el Pte, o P ocluido, fue mayor en el suelo no cultivado, indicando que las labranzas pueden hacer accesible una parte importante del P edáfico que no es determinado mediante la metodología de cuantificación de las formas orgánicas e inorgánicas.

Tabla 2 Cambios en el contenido ($\mu\text{g g}^{-1}$) de fósforo extractable (Pe), total extractable (Pte), orgánico + inorgánico (Po+Pi), y pH en diferentes rotaciones de cultivos.

Años desde el inicio	Rotación	Pe	Pte	Po+Pi	pH
0 ^a	Ref	39**	912**	431,1	6.8*
9 ^b	PaC	13,4	415,9*	282,9	6,5ns
	TG	19,9*	323,8	217,7	6,5
10 ^b	PaC	15,7	466,4*	339,2	6,5ns
	TG	17,1*	362,7	221,4	6,5
12 ^b	PaC	13,7	459,3*	336,8	6,6ns
	TG	19,7*	375,5	224,0	6,6

a. **, * y ns indican diferencias estadísticas $P < 0,01$, $P < 0,05$ y no significativas respectivamente entre el suelo de referencia y los tratamientos a los nueve años de iniciadas las rotaciones.

b. En cada año, **, * y ns indican diferencias estadísticas $P < 0,01$, $P < 0,05$ y no significativas respectivamente, entre los tratamientos.

Fósforo en las fracciones granulométricas

En la fracción fina, al inicio de la experiencia el 28% del P se encontraba en forma orgánica (Tabla 3). En el 9º y 10º año, la rotación PaC presentó mayores relaciones Po:Pi que TG, y si bien en el año 12 fueron similares, esta menor proporción de Po en el tratamiento TG se debió probablemente a la mayor cantidad de labranzas y de cultivos para cosecha.

En PaC, el contenido de Po en la fracción fina aumentó, mostrando valores significativamente mayores que en TG y ligeramente superiores que el suelo de referencia. Posiblemente, los mayores requerimientos de P por parte de las leguminosas se reflejan en valores más elevados de P en la fracción orgánica y, consecuentemente, menor Pe.

El contenido de Pi de la fracción fina, disminuyó en ambas rotaciones con respecto al de referencia, sin embargo esta disminución fue más marcada en TG en el 9º año y se mantuvo constante en el intervalo de tiempo analizado. Si bien el contenido de Pi en PaC disminuyó significativamente en el primer año con respecto al suelo de referencia, este valor aumentó en los años con trigo.

Por otro lado, en la fracción gruesa del suelo de referencia, el 42% del P se encontraba en la forma orgánica. En esta fracción se observaron las pérdidas más importantes en los contenidos de Po (relacionados a la descomposición de la MOP) y Pi, (por disminución del tamaño de los minerales de fósforo debida a las labranzas), que pasarían a la fracción fina del suelo. La rápida mineralización de la MO de la fracción gruesa (debido a las labranzas continuas) y el menor aporte de residuos (por la extracción por cosecha y bajo aporte de residuos del girasol) hicieron que el balance del Po fuera totalmente negativo. La descomposición de MOP iría acompañada de la mineralización del Po que pasaría a Pi, con la consecuente pérdida de P en éste tamaño de partícula, la que fue importante en ambas rotaciones.

La rápida mineralización, debido a los continuos barbechos y el menor aporte de residuos, dada las características del girasol, estaría íntimamente relacionada con los menores contenidos de las formas orgánicas de P en la rotación TG.

Tabla 3. Efecto de la rotación de cultivos sobre el nivel de fósforo en las fracciones granulométricas del suelo.

Años desde el Inicio	Rotación	Fracción Fina		Fracción gruesa		
		Po	Pi	Po	Pi	
		-----μg P g ⁻¹ -----				
0 ^a	Ref	67,1ns	174,4**	107,3**	149,4**	1)
9 ^b	PaC	80,1*	98,2*	12,4ns	92,2*	2)
	TG	58,3	87,3	11,0	61,1	
10 ^b	PaC	101,1*	111,0*	12,2ns	95,1ns	2)
	TG	45,0	87,9	0	79,5	
12 ^b	PaC	93,3*	138,8*	3,6ns	46,7	2)
	TG	64,7	88,8	0	70,5*	

a. **, * y ns indican diferencias estadísticas $P < 0,01$, $P < 0,05$ y no significativas respectivamente entre el suelo de referencia y los tratamientos a los nueve años de iniciadas las rotaciones.

b. En cada año, **, * y ns indican diferencias estadísticas $P < 0,01$, $P < 0,05$ y no significativas respectivamente, entre los tratamientos.

Conclusiones

Ambas rotaciones produjeron una disminución significativa del P edáfico, como consecuencia principalmente de menores contenidos de Pi en la fracción fina y de Po en la fracción gruesa. La incorporación de pasturas en la rotación permitió mantener más alto el nivel de las formas de P en ambas fracciones granulométricas. La introducción de leguminosas y menor frecuencia de labranza en PaC, disminuyó la descomposición del P asociado a la materia orgánica de la fracción gruesa y favoreció su acumulación en la fracción fina, con posibles implicancias sobre la disponibilidad (indicada por el método Bray-Kurtz).

Las labranzas produjeron una caída significativa del Po asociada a la MOP, aún en la situación que tenía pastura, sugiriendo que en suelos labrados los cambios de esta forma de P es más rápida. El bajo aporte de residuos y las labranzas continuas en TG pueden ser los factores más adversos sobre el P del suelo de este sistema de producción.

Bibliografía

- Andersohn, C.** 1996. Phosphate cycles in energy crop systems with emphasis on the availability of different phosphate fractions in soil. *Plant and Soil*. 184: 11-21.
- BMDP Corporation.** 1992. USA.
- Bray R.H. and L.T. Kurtz.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. *Soil Sci*. 59: 39-45.
- Echeverría, N.; Grossi, T.; Purricelli, C.A.; Pelta H.** 1993. Evolución de cuatro parámetros del suelo en dos manejos contrastados. *Actas XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. p305.
- Elliott, E.T.; Cambardella, C.A.** 1991. Physical separation of soil organic matter. *Agric. Ecosystems Envirom.* (34): 407-419.

- Galantini, J.A.; Landriscini, M.R.; Miglierina, A. M.; Iglesias, J.O; Rosell R.A.** 1997. Formas de fósforo en Agroecosistemas de La Pampa. Argentina. VIII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. La Serena . Chile.
- Galantini, J.A.; N. Senesi; G. Brunetti; R. Rosell.** 2004. Influence of texture on organic matter distribution and quality and nitrogen and sulphur status in semiarid Pampean grassland soils of Argentina. *Geoderma* 123: 143-152
- García, F.** 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, N° 9: 1-3. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Hedley, M. J., Stewart J.W., 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.
- Hepper, G.; Hevia, G.; Buschiazzo, D. E.; Urioste, A. M.; Bono A.** 1996. Efectos de la agricultura sobre fracciones de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana central. *Ciencia del Suelo* 14 (2) 96-99.
- Kpombekou, K.; Tabatabai, M. A.** 1997. Effect of cropping systems on quantity/intensity relationships of soil phosphorus. *Soil Science*. 1621-56-68.
- Kuo, H.** 1996. In *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods.* (Ed. D.L. Sparks), SSSA-ASA, Madison, WI, USA.
- Mckenzie, R.H.; Stewart, J.W.B.; Domaar, J.F.; Schaalje, G.B.** 1992. Long -term crop rotation and fertilizer effects on phosphorus transformations: In a Chernozemic soil. *Can. J. Soil Sci.* 72: 581-589.
- Parton, W.J.; Stewart, J.W.B.; Cole, C.V.** 1988. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: a model. *Biogeochemistry* 5:109-131
- Saunders, W.M.H.; Williams, E. G.** 1955. Observations on the determination of total organic phosphorus in soil. *J. Soil Sci.* 6:254-267
- Sommers, LE.; Nelson, DDW.** 1972. Determination of total phosphorus in soil. *Soil Sci. Soc. Am Proc.* 36: 902-904.
- Stewart, JWB; Tiessen, H.** 1987. Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochemistry* 4: 41-60.
- Suñer, L.G.; Galantini, J.A.; Rosell, R.A.** 1999. Formas de fósforo y su relación con la textura en suelos de la región semiárida argentina. *Actas XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo* 8-12 de Noviembre, Pucón, Chile.
- Suñer, L.G.; Galantini, J.A.; Rosell, R.A.; Chamadoira M.D.** 2002. Cambios en el contenido de las formas de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana cultivados con trigo. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata* 104 (2).105-111.
- Vazquez, M.E.** 2002. Balance y fertilidad fosforada en suelos productivos de la región pampeana. En *Simposio Enfoque sistémico de la fertilización fosfórica.* XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Pto Madryn, Chubut.
- Zibilske, L.M.; Bradford J.M.** 2003. Tillage effects on phosphorus mineralization and microbial activity. *Soil Science* 168:10:677-685.