

Cambios en el contenido de las formas de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana cultivados con trigo (*Triticum aestivum*)

L. G. SUÑER¹, J. A. GALANTINI¹, R. A. ROSELL² & M. D. CHAMADOIRA³

¹ Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), ² CONICET, ^{1,2,3} LAHBIS, Universidad Nacional del Sur, 8000, Bahía Blanca, Argentina. E-mail : lsuner@criba.edu.ar

SUÑER L. G., J. A. GALANTINI, R. A. ROSELL & M. D. CHAMADOIRA. 2000/2001. Cambios en el contenido de las formas de fósforo en suelos de la región semiárida pampeana cultivados con trigo (*Triticum aestivum*). Rev. Fac. Agron., La Plata 104(2): 113-119.

En un Haplustol éntico de la región semiárida Bonaerense se estudió el efecto de dos manejos del cultivo de trigo (*Triticum aestivum*) sobre la distribución del fósforo (P) en fracciones granulométricas del suelo. Se tomaron muestras superficiales (0-0,15 m de profundidad) bajo trigo continuo (TT) y trigo-pastoreo (TP, en años alternos) durante nueve años, además de un suelo de referencia no cultivado. Se determinaron los contenidos de P orgánico (Po), inorgánico (Pi) y total extractable (Pte) y extractable (Pe) en el suelo entero, en la fracción fina (FF, < 100 µm) y en la gruesa (FG, 100-200 µm). El trigo continuo (labranzas anuales) condujo a la disminución más importante de todas las formas de P estudiadas luego de nueve años. La aplicación de fertilizante disminuyó las pérdidas de P respecto al suelo de referencia y elevaron el Pe (de 11,8 a 27,4 µg g⁻¹ de suelo). La rotación con pastoreo del campo natural (laboreo sólo año por medio) presentó valores más elevados de todas las formas de P que el cultivo continuo de trigo. La aplicación de fertilizante no modificó los contenidos de Po, Pte ni Pe, pero disminuyó el Pi. Los cambios más importantes se observaron en la fracción gruesa, donde disminuyeron Po asociado a la materia orgánica particulada (alrededor del 95% del Po total) y el Pi de los minerales del tamaño de las arenas (25% en TP y 44% en TT).

Palabras clave: formas de fósforo, fracciones granulométricas, manejos de trigo, fertilización, región semiárida pampeana

SUÑER L. G., J. A. GALANTINI, R. A. ROSELL & M. D. CHAMADOIRA. 2000/2001. Change of phosphorus forms in soils of the semiarid pampean region cultivated with wheat (*Triticum aestivum*). Rev. Fac. Agron., La Plata 104(2): 113-119.

The effect of two soil managements with wheat on the distribution of P in granulometric fractions of an Entic Haplustoll of the semiarid region was evaluated. The soil (0-0.15 m depth) under continuous wheat (TT) and under wheat-grazing (TP, wheat every two years) sequences during 9 years were studied. A reference, non cultivated plot close to each sequence was use as a check. Organic (Po), inorganic (Pi), total acid extractable (Pte), and extractable (Pe) in whole soil, in the fine (FF, < 100 µm) and in the coarse (FG, > 100µm) soil fractions were determined. Continuous wheat decreased the contents of all P forms during the studied period. Fertilization decreased the P losses compared with the reference plots and increased Pe from 11,8 to 27, 4 µg P g soil⁻¹. The wheat-grazing sequence had higher concentration of P forms than continuous wheat. Phosphorus application did not change the contents of Po, Pte and Pe, but decreased Pi. The most important changes of P forms were detected in the soil coarse fractions, where the Po associated to the organic matter (ca. 95% of total Po) and the Pi (25% in TP and 44 % in TT) decreased substantially.

Key words: phosphorus forms, granulometric fractions, wheat sequences rotations, fertilization, semiarid region

INTRODUCCIÓN

En nuestro país se ha observado que, por efecto de la agricultura sin fertilización, los contenidos de fósforo asimilable y/o extractable han disminuido por debajo de niveles considerados como críticos (Darwich, 1990) y, en menor medida, se han detectado pérdidas del fósforo inorgánico total (Buschiazzo *et al.*, 1994). Diversos estudios han puesto en evidencia las deficiencias de fósforo en suelos del sur de la provincia de Buenos Aires (Darwich, 1980; Loewy & Puricelli, 1982).

Una importante fuente de fósforo es el orgánico (Po), que se encuentra en formas química y/o físicamente protegidas que pueden ser lentamente mineralizadas como un producto de la descomposición de la MO del suelo (McGill & Cole, 1981). En el oeste de la provincia de Buenos Aires se ha encontrado que representa entre el 28,5% y el 51% de su reserva total (Galantini *et al.*, 1997; Migliarina, 1991). La labranza airea y mezcla el suelo, causando una ruptura física de los agregados por intensificación de los ciclos de humectación y secado, acelerando así procesos de descomposición biótica y abiótica de la materia orgánica (MO), la cual se pierde rápidamente (Dormaar & Carefoot, 1996). En este proceso, el Po pasa a formas disponibles para los cultivos.

Una pérdida continua de la reserva de P del suelo, debida a la extracción por parte del cultivo, rápidamente agotará las formas de Po y fósforo inorgánico (Pi) (Sharpley & Smith, 1985; Tiessen *et al.*, 1983; Tate, 1984). Tiessen *et al.* (1994) indicaron que el P exportado por los cultivos durante los primeros 40-60 años de agricultura era mucho menor que el P disponible a través de la descomposición de la MO. Este exceso de Pi forma compuestos de baja solubilidad como, por ejemplo, la apatita y/o brushita.

En la región semiárida de Argentina existen trabajos que cuantifican el contenido de Po y Pi en suelos, pero es escasa la informa-

ción sobre estos valores en las fracciones granulométricas de los mismos. Esto brindaría información sobre el origen del fósforo disponible para las plantas. Conceptualmente, el fraccionamiento granulométrico del suelo toma en cuenta la situación natural de la MO, la cual está parcialmente asociada a partículas minerales, proveyendo información sobre su función *in situ*.

El objetivo del presente trabajo consistió en evaluar los cambios producidos por diferentes rotaciones (o secuencias) de cultivos y aplicación o no de fertilizante (N-P) sobre la distribución del fósforo edáfico en fracciones granulométricas de suelos de la región semiárida pampeana de Argentina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelos

Los suelos utilizados para este estudio están situados en la Estación Experimental Agropecuaria Bordenave del INTA (63° 01' 20" de longitud W y 37° 51' 55" de latitud S), provincia de Buenos Aires, Argentina. El lugar está ubicado en la región semiárida pampeana. El clima es continental templado, con una temperatura media anual de 15°C. La precipitación media anual es 654 mm (1928-1993). Los suelos estudiados son Haplustoles Enticos serie Darregueira (textura franca gruesa, mixto, méxico, Gómez *et al.*, 1981) que poseen una profundidad de 0,80 a 1,20 m, limitada por un manto calcáreo.

Tratamientos o secuencia de cultivos

Ref, suelo de referencia sin cultivar por más de 20 años, con una historia agrícola-ganadera (predominantemente pasturas) previa semejante a los demás tratamientos y ubicada entre los mismos.

TT, trigo continuo, desde 1983 hasta el momento del muestreo (1991).

TP, un año trigo - un año pastoreo del campo natural con bovinos, alternativamente, du-

rante similar período al anterior tratamiento.

Se utilizó labranza conservacionista (5 meses de barbecho, mantenido con la mayor cantidad posible de cobertura de residuos (1,5 a 3,0 Mg ha⁻¹) en superficie, labranza vertical y siembra en surco profundo) en TT, y labranza convencional (1 mes de barbecho, arado de disco y siembra en plano) en TP. Ambos tratamientos se dividieron en no fertilizado (nf) y fertilizado (f) anualmente a la siembra con 64 kg N y 37 kg P₂O₅, por medio de 100 kg de urea y 80 kg de fosfato diamónico por hectárea. El muestreo de suelos, a la profundidad 0-0,15 m, se realizó cuando el ensayo llevaba 9 años de iniciado y ambos tratamientos se encontraban con trigo. Los valores se expresaron en kg P ha⁻¹, empleando la densidad aparente y la profundidad de muestreo.

Fraccionamiento granulométrico del suelo

Se realizó un fraccionamiento granulométrico (Andriulo *et al.*, 1990), en un frasco de vidrio de 120 ml con tapa hermética se adicionaron 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 posibles problemas creados por diferentes contenidos de arena (Elliott & 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 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 con un mortero. Se obtuvieron de esta forma dos fracciones con características diferentes: en la fina se encontraban arcilla, limo, arenas muy finas y el material orgánico más humificado. En la gruesa se encontraban las arenas y el material orgánico en diferentes niveles de transformación (residuos semidescompuestos). Cambardella & Elliott (1994), denominaron a esta fracción de la MO como

materia orgánica particulada (MOP) o joven.

En las muestras de suelo entero, tamizado por 2 mm, se determinaron el contenido de P extractable (Pe, Bray & Kurtz, 1945) y el pH (relación suelo: agua igual a 1:2,5). Sobre el suelo entero y las fracciones se determinaron las siguientes formas de fósforo:

- Fósforo inorgánico (Pi), orgánico más inorgánico (previa calcinación de la muestra a 550°C) y orgánico (Po, por diferencia) por el método de Saunders & Williams (1955).
- Fósforo total extractable (Pte), mediante digestión con ácidos nítrico y perclórico empleando el procedimiento de Sommers & Nelson (1972).

En todas las determinaciones de las distintas formas de fósforo se aplicó la técnica colorimétrica de Watanabe & Olsen (1965).

Teniendo en cuenta el porcentaje de fracción fina y gruesa se corrigieron los valores determinados en cada fracción, para expresar los resultados referidos al suelo entero, de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \text{En la FF: } P &= P_{\text{determinado}} \cdot \text{FF}/100 \\ \text{En la FG: } P &= P_{\text{determinado}} \cdot \text{FG}/100 \end{aligned}$$

El análisis estadístico se realizó mediante el ANOVA y la comparación de las medias mediante el test de Tukey (P < 0,05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el monocultivo de trigo se observó una importante disminución en los contenidos de las diferentes formas de P estudiadas respecto a los presentes en el suelo de referencia (Tabla 1). La aplicación anual de fertilizante (TTF) mostró contenidos más altos de Pi, Po y Pte comparado con la parcela no fertilizada pero menores que en el suelo de referencia. Además presentó un contenido de Pe semejante al suelo de referencia. El tratamiento trigo-pastoreo presentó pérdidas menores respec-

to del suelo de referencia que el monocultivo de trigo, posiblemente, consecuencia de la menor intensidad de labranza (cultivado año por medio y con barbecho muy corto) de este sistema de producción.

La mayor presión del pastoreo con bovinos durante el período de campo natural y la mayor extracción por parte del cultivo de trigo en la parcela fertilizada pueden ser las causas de los contenidos semejantes de Pte y Po. Se ha observado que cuando aumenta el nivel de fosfatos (fertilización o mineralización de la MO) en estos suelos se producen minerales insolubles (Brushita), es decir habría un cambio en las formas inorgánicas presentes que podría explicar la disminución de los valores determinados (Baravalle *et al.*, 1995).

Las mayores pérdidas de las formas de P observadas en el cultivo continuo de trigo, respecto del tratamiento trigo-pastoreo serían consecuencia de las mayores exportaciones producidas en el tratamiento trigo continuo.

Todos los tratamientos produjeron disminución significativa de pH, en relación con el suelo de referencia, en mayor medida cuando se aplicó fertilizante, especialmente en el monocultivo de trigo (Tabla 1). Este compor-

tamiento que es característico de los suelos pobremente tamponados estaría relacionado con la pérdida de MO, lavado de Ca y el efecto acidificante del fertilizante (Robson & Taylor, 1987).

En forma semejante a lo observado en el suelo entero, en la fracción fina de la secuencia trigo continuo se observaron valores bajos de todas las formas de P, los que aumentaron al aplicar fertilizante. En la fracción fina, en la secuencia trigo-pastoreo, el Pi aumentó, el Po se mantuvo y el Pte disminuyó respecto del suelo de referencia. En este caso la parcela fertilizada mostró niveles de Pi significativamente menores que la no fertilizada, no observándose cambios en las otras dos formas de P (Tabla 2).

En la fracción gruesa de ambos tratamientos se observó una disminución significativa de las formas de P analizadas, independientemente de la aplicación o no de fertilizante.

La disminución de Pi, con respecto al suelo de referencia, fue mayor en TT ($\pm 44\%$) que en TP ($\pm 25\%$). Las pérdidas de Po fueron elevadas en todos los casos (aproximadamente 95-98%), mientras que el Pte disminuyó alrededor del 48%. La labranza disminuyó la

Tabla 1. Niveles de fósforo inorgánico (Pi), orgánico (Po), total extractable (Pte) y extractable (Pe) y pH en el suelos de cada uno de los tratamientos.

Soil inorganic (Pi), organic (Po), extractable total (Pte) and extractable (Pe) phosphorus levels and pH in the soil of each one treatments.

Tratamiento	Suelo Entero					pH
	Pi	Po (kg ha ⁻¹)	Pte	Pe (kg ha ⁻¹) (µg g ⁻¹)		
Ref	596,3ab	398,4a	1019,8a	60,7a	27,5a	7,4a
TT	361,1 d	105,2 c	581,5 c	24,7 d	11,8 b	6,7 b
TTf	458,1 c	158,0 b	679,9 b	54,6a b	27,4a	6,3 c
TP	654,3a	172,5 b	726,0 b	31,7 cd	14,3 b	6,8 b
TPf	527,2 b	180,7 b	691,0 b	35,8 bc	17,2ab	6,6 b

En cada columna, letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$), test de Tukey.

Tabla 2. Niveles de fósforo (kg ha^{-1}) inorgánico (Pi), orgánico (Po) y total extractable (Pte) en las fracciones fina (FF, $< 0.1 \text{ mm}$) y gruesa (FG, $0.1-2 \text{ mm}$) en cada uno de los tratamientos.

Inorganic (Pi), organic (Po), extractable total (Pte) phosphorus levels in the fine (FF) and coarse (FG) soil granulometric fractions in each one treatments.

Tratamiento	FF			FG		
	Pi	Po	Pte	Pi	Po	Pte
Ref	325,4 bc	171,8a	672,5a	270,9a	226,6a	347,3a
TT	206,6 d	100,8 b	399,7 c	154,6 c	4,4 b	181,8 b
TTf	305,2 c	153,3a	512,1 b	152,8 c	4,7 b	167,8 b
TP	442,8a	160,2a	543,3 b	211,4b	12,3 b	182,7 b
TPf	329,4 bc	174,8a	506,7 b	197,9b	5,9 b	184,3 b

En cada columna, letras diferentes representan diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$), test de Tukey. Ref, suelo referencia; TT, trigo continuo; TP, trigo-pasturas; f, fertilizado.

cantidad de minerales inorgánicos del tamaño de las arenas (menor estabilidad frente a la metodología de fraccionamiento aplicada) y el contenido de MO particulada (mayor mineralización y producción de fosfatos). Ambos mecanismos enriquecieron la fracción fina.

Considerando los cambios ocurridos en el Pte se observó que partiendo de valores iniciales de 1020 kg en el suelo de referencia, durante el período estudiado se perdieron entre $300-320 \text{ kg}$ en ambos TP, 340 kg en TT fertilizado y 440 kg en TT no fertilizado. La producción de grano (exportación de P) acumulada durante en los 9 años fue: $15,5$ (TTnf), $24,4$ (TTf), $8,7$ (TPf), $11,6$ (TPf) Mg de grano de trigo ha^{-1} . El contenido de P en grano en estas y otras secuencias de cultivos de la región oscila entre $0.30-0.35\%$ (datos de las cosechas 1988, 1989 y 1991 no publicados). Por ello, solo una parte del balance negativo del P edáfico puede atribuirse a la exportación a través de las cosechas. En la región semiárida Pampeana central otros autores han obtenido resultados semejantes (Urioste *et al.*, 1996). Luego de 5 años de pastura o rotación

de cultivos las pérdidas de P fueron variables, llegando a superar los 400 kg ha^{-1} ($0-0,20 \text{ m}$). En la mayoría de los casos la exportación a través del grano o pasto explicó solo una parte de las pérdidas.

Los mecanismos que podrían estar involucrados en estas pérdidas podrían ser erosión (especialmente eólica por los frecuentes vientos en la región durante el período de barbecho), lixiviación de formas orgánicas (Ron Vaz *et al.*, 1993), adsorción sobre óxidos de hierro y sobre sitios activos liberados al descomponerse la MO (Hevia *et al.*, 1994) o formación de minerales de P de baja solubilidad (Tiessen *et al.*, 1994). Este último mecanismo ha sido observado en estos mismos suelos cuando aumenta el nivel de fosfatos (Barvalle *et al.*, 1995). Considerando que una parte importante de las pérdidas ($\pm 200 \text{ kg P ha}^{-1}$) se origina de la oxidación de la MO particulada (Po de la fracción gruesa) este mecanismo podría explicar parte de las diferencias encontradas. Sin embargo, se requieren estudios específicos para establecer la importancia y la magnitud de cada uno de los mecanismos mencionados.

CONCLUSIONES

El aumento en la frecuencia de las labranzas disminuyó las reservas de Po, Pi y Pte en el suelo entero y en las respectivas fracciones granulométricas estudiadas. La fertilización produjo un efecto favorable solamente en trigo continuo.

El P asociado a la fracción gruesa decreció debido a la importante pérdida del Po relacionado con la materia orgánica particulada y los minerales inorgánicos mayores de 100 μm .

El P asociado a la fracción fina disminuyó solamente en trigo continuo. Puede inferirse que la producción de Pe a partir de la descomposición de la materia orgánica particulada fue una fuente importante de P para los cultivos. La magnitud de los cambios observados indicaron que otros factores diferentes de la exportación a través del grano tuvieron importancia en el balance del P del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la EEA Bordenave del INTA, por las parcelas utilizadas, a la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC, Pcia. de Bs.As.) y al CONICET, por el apoyo económico brindado a esta investigación.

REFERENCIAS

- Andriulo A., J.A. Galantini, C. Pecorari & E. Torioni.** 1990. Materia orgánica del suelo en la región pampeana. I. Un método de fraccionamiento por tamizado. *Agrochimica* 34: (5-6) 475-489.
- Baravalle R. A., R. Rosell, A. Miglierina & P. Maiza.** 1995. Soil Fixation and availability of phosphate fertilizer. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 26: 2157-2165.
- Bray R.H. & L.T. Kurtz.** 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorous in soils. *Soil Science* 59: 39-45.
- Buschiazzo D.E., G.G. Hevia, A.M. Urioste & E.N. Hepper.** 1994. Phosphate forms and sorption in virgin and cultivated soils of the Semiarid Argentinean Pampas. *Transactions 15th International Congress Soil Science, Acapulco, México.* pp. 97-98.
- Cambardella C. A. & E.T. Elliott.** 1994. Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Science Society of American Journal* 58:123-130
- Darwich N. A.** 1980. Niveles de fósforo asimilable en los suelos pampeanos. *Actas de la IX Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo. Paraná, Entre Ríos.* Tomo II: 707-709.
- Darwich N. A.** 1990. Fertilizantes: nuevo balance de requerimientos. INTA. *Juicio a Nuestra Agricultura.* 2.4.2,1-10
- Dormaar J. & J.M.Carefoot.** 1996. Implications of crop residue mangement and conservation tillage on soil organic matter. *Canadian Journal of Plant Science* 76 (4) 627-634.
- Elliott E. T. & C.A.Cambardella.** 1991. Physical separation of soil organic matter. *Agric. Ecosystems Environm.* 34: 407-419.
- Galantini J.A., Landriscini M.R., Miglierina A. M., Iglesias J.O. & Rosell R.A.** 1997. Dinámica del fósforo en agroecosistemas pampeanos: efecto del sistema de labranza sobre la distribución en fracciones granulométricas. VII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. La Serena . Chile. p 3.
- Gomez L., V. Nakama & C. Puricelli.** 1981. Carta detallada de suelos. EEA INTA Bordenave escala 1:10000. Informe interno.
- Hevia G.G., D. Buschiazzo, E.N. Hepper & N. Peinemann.** 1991. Influencia de la materia orgánica, CaCO_3 y fracciones de Fe y Al sobre la adsorción de fosfatos en suelos de la región semiárida pampeana central. XIII Congreso Ciencia del Suelo, Bariloche. pp. 95-96.
- Loewy T. & C.A. Puricelli.** 1982. Disponibilidad de fósforo en suelos del area de la EEA Bordenave. Informe Técnico N° 28. EEA, Bordenave INTA. 16 pp.
- McGill W.B. & C.V. Cole.** 1981. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S, and P through soil organic matter. *Geoderma* 26: 267-286.
- Miglierina A. M.** 1991. Materia orgánica y sistemas de producción en la región semiárida bonaerense Tesis Magister en Ciencias del Suelo. Universidad Nacional del Sur.
- Robson A. D. & A. C. Taylor.** 1987. The effect of tillage on the chemical fertility of soil. In "Tillage: New Directions in Australian Agriculture". (Eds. Pl S. Cornish and J. E. Pratley). Inkata Press, Sydney.
- Ron Vaz M.D., A.C. Edwards, C.A. Shand & M.S.**

- Cresser.** 1993. Phosphorus fractions in soil solution: Influence of soil acidity and fertiliser additions. *Plant and Soil* 148: 175-183.
- Saunders W.M.H. & E.G. Williams.** 1955. Observations on the determination of total organic phosphorus in soil. *Journal of Soil Science* 6: 254-267.
- Shapley A.N. & S.J. Smith.** 1985. Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. *Soil Science Society of American Journal* 47: 581-586.
- Sommers L.E. & D.D.W. Nelson.** 1972. Determination of total phosphorus in soil. *Soil Science Society of American Proceedings* 36: 902-904.
- Tate K. R.** 1984. The biological transformation of phosphorus in soil. *Plant and Soil* 76: 245-256.
- Tiessen H., J.W.B. Stewart & A. Oberson.** 1994. Innovative soil phosphorus availability indices: Assessing organic phosphorus. In *Soil Testing: Prospects for Improving Nutrient Recommendations*. SSSA Special Publication N° 40. Madison, WI, USA, pp.143-162.
- Tiessen H., J.W.B. Stewart & J. O. Moir.** 1983. Changes in organic and inorganic phosphorus composition of two grassland soils and their particle size fractions during 60-90 years of cultivation. *Journal of Soil Science* 34: 815-823
- Urioste A.M., A.A. Bono, D.E. Buschiazzo, G.G. Hevia & E.N. Hepper.** 1996. Fracciones de fósforo en suelos agrícolas y pastoriles de la región semiárida pampeana central (Argentina). *Ciencia del Suelo* 14: 92-95.
- Watanabe, F. S. & S.R. Olsen.** 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society American Proceedings* 29: 677-678.