

EFFECTOS DE LA AGRICULTURA SOBRE FRACCIONES DE FOSFORO EN SUELOS DE LA REGION SEMIARIDA PAMPEANA CENTRAL (ARGENTINA)

E N HEPPEP¹, G G HEVIA¹, D E BUSCHIAZZO^{1,2}, A M URIOSTE¹, A BONO²

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

EFFECTS OF AGRICULTURE ON PHOSPHORUS FRACTIONS IN SOILS OF THE SEMIARID ARGENTINIAN PAMPAS

Inorganic phosphorus fractions (PI-HCO₃, PI-NaOH, PI-SONICATE NaOH and PI-HCl) and total organic phosphorus (PO) were evaluated in A-horizons of an Entic Hapludoll and two different textured Entic Haplustolls, under virgin (rangeland conditions at a *Prosopis caldenia* bush) and agricultural (pasture-crop rotations for more than 15 years) management conditions. PI-HCl (208 to 332 mg kg⁻¹) was the highest and PI-sonicate NaOH (17.5 to 26.5 mg kg⁻¹) the lowest phosphorus fraction in all soils. Agriculture decreased PI-HCO₃ and increased PI-SONICATE NaOH significantly in all soils. PI-HCO₃ losses were higher in the first 10 cm of the coarser textured Haplustoll (115 mg kg⁻¹, 84%) and lower in the Hapludoll (47.9 mg kg⁻¹, 47%). PI-HCO₃ decreases were related to crop uptake rather than to its transformation in PI-SONICATE NaOH. The latter showed an increase which was 20 times smaller than PI-HCO₃ decreases. Decreases of PI-HCO₃ in the agricultural condition of the coarser textured Haplustoll agreed with PI-HCl and pH increases. A transformation of PI-HCO₃ into PI-HCl under high pH conditions probably occurred. PO decreased in the Entic Hapludoll, probably because mineralization rates were higher in this soil than in the others, due to more intense tillage practices.

Key words: Soil phosphorus fractions - Management effects on soil phosphorus - Soils of Semiarid Regions

INTRODUCCION

La agricultura continua produce, en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central (RSPC), disminuciones considerables del fósforo asimilable y en menor medida del fósforo inorgánico total (Buschiazzo *et al.* 1994). Estas disminuciones podrían deberse a absorción por parte de los cultivos, o a procesos de fijación y/o precipitación, formando fosfatos más estables. El fósforo total presenta en estos suelos valores medios y existe una predominancia de los fosfatos inorgánicos de calcio, como hidroxapatita y fluorapatita (Buschiazzo *et al.* 1994), que son los menos solubles. Se ha observado que por efecto de la agricultura, en algunos casos, los contenidos de fósforo asimilable han disminuido por debajo de niveles considerados, para otros suelos, como críticos (Senigaglia *et al.* 1983, Kamprath, Watson 1980). Todos estos factores contribuyen a producir una baja disponibilidad de este nutriente para las plantas. No se ha establecido aún el efecto que ha producido la agricultura sobre los contenidos de las diferentes fracciones de fósforo (inorgánico y orgánico) y cuáles de ellas han contribuido a las disminuciones

encontradas del fósforo asimilable y del fósforo inorgánico total.

El efecto que el uso agrícola produce sobre contenidos cuali- y cuantitativos de fósforo puede variar según el tipo de suelo. O'Halloran *et al.* (1987) comprobaron que el fósforo inorgánico y orgánico lábil aumentan por efecto del cultivo en suelos arenosos. Tiessen *et al.* (1982) comprobaron que en suelos de textura gruesa la agricultura puede producir disminuciones semejantes del fósforo orgánico y del inorgánico, mientras que en suelos mas finos el fósforo orgánico es el que presenta mayores cambios. De acuerdo a Chang y Chu (1961) los fosfatos de hierro y aluminio se encuentran en mayor proporción en las fracciones texturales finas, mientras que los fosfatos de calcio son más abundantes en las gruesas. Por lo tanto los contenidos y el tipo de fosfatos predominantes en los suelos dependerán de la textura. Por esa razón las variaciones texturales de los materiales parentales, genéticas o inducidas por erosión, pueden producir diferencias en la cantidad y calidad de fosfatos entre suelos y en un mismo suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios inducidos por las prácticas agrícolas sobre fracciones de fósforo en suelos de la RSPC.

MATERIALES Y METODOS

Se analizaron los horizontes superficiales de un Hapludol éntico (suelo 1) y dos Haplustoles énticos texturalmente diferentes, uno franco arenoso (suelo 2) y otro arenoso franco (suelo 3) cuyas principales características se detallan en la Tabla 1.

En cada sitio se estudiaron dos pedones adyacentes, diferenciados por manejo previo: suelo virgen, sometido a pastoreo extensivo bajo monte de caldén (*Prosopis caldenia*) y suelo agrícola sometido a ciclos agrícolas y ganaderos por más de 15 años, sin fertilización. Cada horizonte superficial se muestreó a dos profundidades, 0-10 y 10-20 cm, con tres repeticiones en cada caso.

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 H_2SO_4 0,2N; fósforo inorgánico (PI) por extracción con H_2SO_4 0,2N; fósforo orgánico (PO) obtenido por diferencia entre PT y PI (Kaila 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- HCO_3) por extracción con solución 0,5 mol dm^{-3} de $NaHCO_3$ (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 (removida con resina) y la de fósforo residual (extractado con H_2SO_4 ,

H_2O_2) no fueron determinadas. Los resultados fueron analizados por análisis de varianza, usando un modelo con efectos de sitio y tratamiento, con sitios como aleatorios, probando la existencia de efectos significativos de tratamiento contra la interacción sitio por tratamiento. Se usaron como niveles de significancia $P < 0,05$ y 0,10. En cada sitio, se calcularon intervalos de confianza, con niveles de significancia $P < 0,05$ y 0,10.

RESULTADOS Y DISCUSION

En la Tabla 2 se presenta el valor promedio de las fracciones de fósforo de cada suelo. En general, en todos los sitios, profundidades y tratamientos, los contenidos más altos correspondieron a PI-HCl (entre 208 y 332 $mg\ kg^{-1}$) y los más bajos a PI-ULTRASONIDO NaOH (entre 17,5 y 26,5 $mg\ kg^{-1}$), mientras que PI- HCO_3 (19,8 a 136,4 $mg\ kg^{-1}$), PI-NaOH (43,5 a 224,9 $mg\ kg^{-1}$) y PO (67,7 a 270,6 $mg\ kg^{-1}$) presentaron valores intermedios.

En los suelos vírgenes los contenidos de las fracciones más lábiles (PI- HCO_3 y PI-NaOH) fueron, en general a las dos profundidades, mayores en el suelo 3 y menores en el suelo 1, mientras que PI-ULTRASONIDO NaOH, PI-HCl y PO presentaron tendencias inversas. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Tiessen *et al.* (1983) en cuanto a que suelos de textura gruesa poseen mayores contenidos de las fracciones de fósforo inorgánico más lábiles que los de textura fina. El análisis de varianza permitió comprobar que los contenidos de PI-ultrasonido NaOH fueron significativamente mayores ($P < 0,1$) en suelos agrícolas que en vírgenes a ambas profundidades, y que

Tabla 1. Características de los suelos estudiados.

| Suelo | Prof. (cm) | Manejo | Limo | Arcilla | Carbono | pH |
|----------------------------------|------------|----------|------|---------|---------|-----|
| | | | (%) | | | |
| Hapludol éntico | 0-10 | virgen | 49,3 | 14,2 | 2,81 | 5,9 |
| | | agrícola | 43,6 | 24,3 | 1,90 | 6,1 |
| | 10-20 | virgen | 42,6 | 13,5 | 1,78 | 7,3 |
| | | agrícola | 39,7 | 22,5 | 1,73 | 6,1 |
| Haplustol éntico: franco arenoso | 0-10 | virgen | 49,5 | 14,5 | 1,89 | 5,4 |
| | | agrícola | 44,1 | 16,5 | 1,46 | 6,5 |
| | 10-20 | virgen | 45,0 | 16,2 | 0,92 | 7,1 |
| | | agrícola | 41,7 | 13,9 | 1,14 | 6,6 |
| Haplustol éntico: arenoso franco | 0-10 | virgen | 37,4 | 9,0 | 2,79 | 5,1 |
| | | agrícola | 22,0 | 8,8 | 1,28 | 6,7 |
| | 10-20 | virgen | 34,1 | 10,1 | 1,11 | 5,9 |
| | | agrícola | 23,7 | 7,9 | 1,20 | 6,8 |

PI-HCO₃ fue significativamente menor en agrícolas que en vírgenes sólo en los primeros 10 cm. El resto de las fracciones evaluadas no presentaron diferencias significativas entre manejos, lo que indica que la agricultura no afectó a estas fracciones.

Las pérdidas de PI-HCO₃ que produjo la agricultura fueron mayores en el suelo 3 (115 mg kg⁻¹, un 84%) y menores en el suelo 1 (47,9 mg kg⁻¹, un 47%). Estas disminuciones podrían atribuirse principalmente a la extracción por parte del cultivo (Hedley *et al.* 1982) ya que esta fracción es la más disponible para las plantas (Bowman, Cole 1978). Las disminuciones de PI-HCO₃ coincidieron con aumentos del pH, los que fueron más pronunciados en el suelo 3. PI-HCO₃ se correlacionó en forma negativa y significativamente con los valores de pH ($r^2=(-) 0,842$, $n=18$, $P<0,01$), coincidiendo con lo encontrado por Tiessen *et al.* (1984) y O'Halloran *et al.* (1987). Los contenidos de PI-HCO₃ fueron menores en la condición agrícola del suelo 3 y mayores en la del suelo 1. Estas tendencias inversas a las observadas en la condición virgen se deberían a un mayor efecto de la agricultura sobre esta fracción en el suelo de textura más gruesa.

Los aumentos de PI-ULTRASONIDO NaOH en los suelos agrícolas oscilaron entre 2,5 y 6 mg kg⁻¹ en los primeros 10 cm del perfil, por lo que sólo explicarían un 5% de las disminuciones de PI-HCO₃. Los incrementos fueron más pronunciados en los Haplustoles (6,0 mg kg⁻¹, un 23% para el franco arenoso y 4,2 mg kg⁻¹, un 18% para el arenoso franco). A la profundidad

de 10-20 cm, las mayores variaciones se produjeron en el suelo 1 y en el suelo 2 (8,4 mg kg⁻¹, un 32% y 7,7 mg kg⁻¹, un 30% respectivamente). Los aumentos de PI-ULTRASONIDO NaOH podrían deberse a la adsorción de fósforo por parte de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, los que por su alta superficie reactiva pueden contribuir a que una gran proporción del fósforo adsorbido sea fijado (Hsu 1977). Para los suelos estudiados se ha comprobado que los procesos de adsorción de fosfatos por parte de óxidos de hierro y de aluminio poseen magnitudes apreciables (Buschiazzi *et al.* 1990, Hepper *et al.* 1995, Hevia *et al.* 1991) y que la fijación irreversible puede alcanzar a un 79% de la adsorción total de fósforo (Prüß 1989).

El análisis estadístico basado en intervalos de confianza permitió evaluar el efecto del manejo en cada suelo. Los resultados del mismo indican que la agricultura produjo incrementos significativos ($P<0,1$) de PI-HCl en el suelo 3, y disminuciones significativas de PO en el suelo 1, en los primeros 10 cm del perfil. El resto de las fracciones de fósforo analizadas no presentaron diferencias significativas (Tabla 2).

Los aumentos de PI-HCl (fosfatos de calcio) en la condición agrícola del suelo 3 (84,7 mg kg⁻¹, un 38%) coincidieron con el incremento del pH, que fue más pronunciado en éste que en los otros dos suelos. Lindsay (1979) indica que a partir de pH 6,5 existen condiciones favorables para la formación de fosfatos de calcio. Por ello la disminución de PI-HCO₃ (115,1 mg kg⁻¹, un 84%) aquí observada podría haberse debido en parte a

Tabla 2. Contenido de las fracciones de fósforo inorgánico y fósforo orgánico total de los suelos estudiados.

| Suelo | Prof. (cm) | Manejo | PI-HCO ₃ | PI-NaOH | PI-ULTRAS.NaOH | | | PO |
|-------|------------|----------|---------------------|---------------|------------------------|---------------|---------------|----|
| | | | | | (mg kg ⁻¹) | | | |
| 1 | 0-10 | virgen | 101,6(±83,5) | 133,6(±112,6) | 24,1(±2,1) | 331,8(±188,7) | 270,6(±51,6) | |
| | | agrícola | 53,7(±6,0) | 138,7(±57,5) | 26,5(±4,4) | 230,1(±10,2) | 167,7(±29,1) | |
| | 10-20 | virgen | 37,1(±43,8) | 43,5(±10,7) | 17,5(±3,5) | 285,6(±56,1) | 200,9(±62,9) | |
| | | agrícola | 36,4(±1,4) | 122,5(±49,3) | 25,9(±7,4) | 231,6(±2,4) | 146,5(±110,6) | |
| 2 | 0-10 | virgen | 123,3(±85,8) | 185,2(±68,2) | 20,1(±6,1) | 265,7(±77,2) | 97,6(±36,5) | |
| | | agrícola | 44,3(±14,3) | 126,5(±18,6) | 26,1(±3,7) | 207,4(±22,9) | 125,4(±31,0) | |
| | 10-20 | virgen | 24,3(±10,3) | 89,9(±15,6) | 18,1(±3,9) | 272,4(±14,9) | 71,6(±16,3) | |
| | | agrícola | 29,6(±12,1) | 126,5(±11,9) | 25,8(±3,3) | 219,5(±68,6) | 78,7(±25,9) | |
| 3 | 0-10 | virgen | 136,4(±119,2) | 224,9(±125,9) | 19,0(±7,4) | 219,5(±8,8) | 175,8(±105,4) | |
| | | agrícola | 21,3(±1,1) | 95,1(±5,3) | 23,2(±1,8) | 304,2(±38,7) | 96,6(±59,8) | |
| | 10-20 | virgen | 67,2(±19,4) | 124,5(±14,2) | 21,1(±0,3) | 239,9(±16,9) | 99,0(±20,6) | |
| | | agrícola | 19,8(±7,2) | 94,3(±8,4) | 24,5(±3,2) | 290,2(±32,3) | 67,7(±54,4) | |

Valores entre paréntesis corresponden a desvíos estándar

su transformación en PI-HCl. Tiessen *et al.* (1983) comprobaron que en un suelo franco arenoso de Canadá se produjo esta transformación por efecto de la agricultura. Las pérdidas de PO del suelo I se habrían producido por la mayor tasa de mineralización que habrían ocasionado las labranzas (Anderson 1980) que fueron más intensas en este suelo que en los otros dos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a F Babinec por la contribución en el análisis estadístico de los datos. Este trabajo fue financiado por la Facultad de Agronomía de la UNLPam.

REFERENCIAS

- Anderson G. 1980. Assessing organic phosphorus in soils. In 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
- Bowman R A, Cole C V. 1978. Transformations of organic phosphorus substances in soil as evaluated by NaHCO_3 extraction. *Soil Sci.* 125: 49-54
- Buschiazzo D E, Hevia G G, Hepper E N. 1990. Variación de la adsorción de fósforo y parámetros edáficos en una climosecuencia de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. *Ciencia del Suelo* 8: 119-126
- Buschiazzo D E, Hevia G G, Urioste A M, Hepper E N. 1994. Phosphate forms and sorption in virgin and cultivated soils of the Semiárid Argentinean Pampas. XV Int. Congress Soil Sci. 97-98
- Chang S C, Chu W K. 1961. The fate of soluble phosphate applied to soils. *J. Soil Sci.* 12: 286-293
- Hedley M J, Stewart J W B, Chauhan B S. 1982. Changes in inorganic and organic soil phosphorus induced by cultivation practices and laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 970-976
- Hepper E N, Hevia G G, Buschiazzo D E. 1995. Adsorción de fósforo y su relación con los parámetros edáficos en una climotoposecuencia de la Región Semiárida Pampeana Central, Argentina. *Agrochimica* 39: 26-33
- Hevia G G, Buschiazzo D E, Hepper E N, Peinemann N. 1991. Influencia de la materia orgánica, carbonato de calcio y fracciones de hierro y aluminio sobre la adsorción de fosfatos en suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. XIII Congr. Arg. de la Ciencia del Suelo: 95
- Hsu P H. 1977. Aluminum hydroxides and oxyhydroxides. En J.B. Dixon and S.B. Weed, Eds. Minerals in Soil Environments. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI. pp 99-143
- Kaila A. 1962. Determination of total organic phosphorus in samples of mineral soils. *J. Sci. Agr. Soc. Finland.* 34: 187-196
- Kamprath E J, Watson M E. 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. En F.E. Khasawneh, E.C. Sample, and E.J. Kamprath, Eds. The Role of Phosphorus in Agriculture. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. pp 433-469
- Lindsay W L. 1979. Chemical equilibria in soils. Wiley-Interscience. New York. pp 162-209
- O'Halloran I P, Stewart J W B, Kachanoski R G. 1987. Influence of texture and management practices on the forms and distribution of soil phosphorus. *Can. J. Soil Sci.* 76: 147-163
- Prüß A. 1989. Verfügbares Phosphat in Böden aus Löß-vulkanische Gemischen der Argentinischem Pampa Semiárida. Tesis Diplom Universität Hohenheim, 98 pp.
- Senigagliales C A, García R, Meira S, Galetto M L, Frutos E, Teves R. 1983. La fertilización del cultivo de trigo en el norte de la provincia de Buenos Aires y sur de Santa Fe. EEA Pergamino INTA. Informe Técnico N° 191. 27 p.
- Tiessen H, Stewart J W B, 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, 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 V. 1984. Pathways of phosphorous transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48: 853-858