

FRACCIONES DE FÓSFORO EN SUELOS DE CORRIENTES CON PRODUCCIÓN CITRÍCOLA, ARROCERA Y PASTORIL

CAROLINA FERNÁNDEZ LÓPEZ¹; RODOLFO MENDOZA² & SARA VAZQUEZ¹

¹Facultad de Ciencias Agrarias-UNNE- Sargento Cabral 2131. C.P.: 3400. Corrientes, Argentina. E-mail: carolfl@agr.unne.edu.ar

²Museo Argentino de Cs Naturales. Angel Gallardo 470, lab. N°. 67. C.P.: 1414. Cap. Fed. Argentina.

Recibido: 04/04/06

Aceptado: 17/10/06

RESUMEN

Con el objetivo de determinar las fracciones de fósforo predominantes en un Entisol, un Alfisol y un Vertisol y analizar los cambios que se producen por el uso citrícola, arrocero y pastoril, respectivamente; se seleccionaron tres suelos con cultivos fertilizados representativos de las actividades productivas más importantes económicamente para la provincia de Corrientes. Se realizó un muestreo aleatorio simple de dos tratamientos con cinco repeticiones en cada orden: 1) Entisol con cobertura natural y monte citrícola, 2) Alfisol con cobertura natural y con arrocera y 3) Vertisol con cobertura natural y pastura (*Setaria* sp.). Se obtuvieron muestras compuestas de cada repetición a una profundidad de 0-15 cm. Las muestras fueron sometidas al análisis de: textura, pH, carbono orgánico, calcio, magnesio, carbonato, hierro y aluminio en oxalato, fósforo asimilable (P Bray I) y se realizó el fraccionamiento de fósforo (P) según el método propuesto por Hedley *et al.* (1982) modificado por Sattell y Morris (1992). El P total (Pte) se consideró como resultado de la suma de las fracciones. De los órdenes estudiados el contenido de fósforo total fue menor para el Entisol (71,46 mg P kg⁻¹ de suelo), seguido del Alfisol (126,84 mg P kg⁻¹ de suelo) y por último el Vertisol (142,28 mg P kg⁻¹ de suelo), predominando la fracción de fósforo orgánico en hidróxido de sodio con un porcentaje de 53%, 54% y 48% respectivamente para cada orden. Con la incorporación del citrúscito fertilizado en el Entisol hubo una disminución del fósforo fácilmente disponible, siendo las fracciones moderadamente lábiles y las más resistentes el reservorio del fertilizante agregado. El cultivo de arroz bajo inundación produjo la disminución de la mayoría de las formas de fósforo en el Alfisol, aumentando solo el fósforo inorgánico en microagregados y el orgánico residual. La implantación de *Setaria* sp. con fertilización en el Vertisol solo produjo aumento significativo en el fósforo orgánico ocluido en los microagregados.

Palabras clave. Formas de fósforo-fertilización-Entisol-Alfisol-Vertisol.

FRACTIONS OF PHOSPHORUS IN SOILS OF CORRIENTES WITH CITRUS, RICE AND PASTURE PRODUCTION

ABSTRACT

The objectives of this study were to determine the phosphorus fractions in Entisols, Alfisols and Vertisols and to analyze the effects of the production system employed (citrus, pasture and rice) on this fractionation. Three soils from fields that mainly contribute to the economy of Corrientes were selected. A simple random sampling of two treatments and five replicates was conducted in each soil order, each replicate were a composed samples from 0-15 cm depth. Samples were selected from: 1) Entisol: native grassland vs. citrus field, 2) Alfisol: native grassland vs. rice crop, 3) Vertisol: native grassland vs. *Setaria* sp. pasture. The parameters analysed were: texture, pH, organic carbon, calcium, magnesium, carbonate, iron and aluminium in oxalate, available phosphorus (P Bray I) and phosphorus (P) fractionation by Hedley *et al.* (1982) Method modified by Sattell and Morris (1992). Total P was calculated as the total addition of each phosphorus fraction. The smallest total P detected was observed in Entisols (71.46 mg P kg⁻¹soil), followed by Alfisols (126.84 mgP kg⁻¹ soil) and Vertisols (142.28 mgP kg⁻¹soil). The most predominant fraction of total P was the organic phosphorus in sodium hydroxide (53%, 54% y 48% respectively for each order). Fertilization decreased available P, but increased moderately labile and resistant phosphorus fractions in Entisols. Only P fraction from inorganic phosphorus in microaggregates and residual organic in Alfisols were increased under rice crop production. The implantation of *Setaria* sp. with fertilization in Vertisols raised the occluded organic phosphorus in the micro-aggregate fraction.

Key words. Forms of P, phosphate fertilization, Entisol, Alfisol, Vertisol.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Corrientes, ubicada en el noreste de la Argentina, presenta un clima subtropical húmedo y posee diversidad de suelos. Entre ellos se encuentran Entisoles, representados por lomadas arenosas y rojizas, planicies y depresiones; Molisoles y Vertisoles ubicados en la región de las Cuchillas Mesopotámicas. Las actividades económicamente importantes son la ganadería, la citrícola y la arrocería (Escobar *et al.*, 1996). Desde el punto de vista de la fertilidad todos los suelos presentan una generalizada deficiencia de fósforo (P) para el crecimiento vegetal.

El P se presenta en el suelo tanto en forma orgánica (Po) como inorgánica (Pi). En los ecosistemas naturales los procesos geoquímicos y biológicos regulan la disponibilidad del P. La importancia de la mineralización del Po para la nutrición de las plantas cultivadas es probablemente universal, pero resulta máxima para las zonas con temperaturas elevadas y húmedas, debido a la alta velocidad de mineralización. Harrison (1982) comprobó que en suelos deficientes en P solamente una pequeña fracción de las formas de Po se mineraliza (alrededor de 1% año⁻¹) para suplir el P absorbido por la planta. En estos ecosistemas, la planta hace más eficiente la utilización de este elemento y, junto a la sorción de P, crea un ciclo cerrado de conservación del mismo (Yanai, 1992).

Habiéndose definido funcionalmente las distintas clases de P en el suelo según el extractante que las remueve, se han propuesto varias técnicas de fraccionamiento a fin de identificar las diferentes formas. En los últimos años, los procedimientos de extracción secuencial de distintas fracciones de Pi y Po desarrollados por Hedley *et al.* (1982) & Tiessen *et al.* (1984) han sido los más utilizados. La asunción implícita es que el P lábil del suelo es removido en principio por extractantes suaves, en tanto las formas menos disponibles del P pueden ser extraídas con ácidos y álcalis fuertes (Buehler *et al.*, 2002). En general, el P lábil es conocido como asimilable para las comunidades vegetales y microbianas a corto plazo, porque es rápidamente desorbido de las superficies de las partículas del suelo. El P moderadamente lábil incluye el P que es extractado con NaOH, considerado biológicamente asimilable en un lapso intermedio de tiempo, y el P ocluido es conocido como disponible en un período largo (Cross & Schlesinger, 1995).

Wagar *et al.* (1986) encontraron que después de un año, la mayoría del P agregado a suelos calcáreos de Canadá, pasaba a las formas de P fácilmente extraíbles. En los años siguientes, estas formas disminuían por las cosechas, y el P pasaba a formas más estables. El reservorio para el P dependía de la dosis aplicada y de la naturaleza del suelo, pero del 30 al 50% permanecía asimilable.

Zheng *et al.* (2004) condujeron una experiencia para determinar los cambios en las fracciones de P, después de 10 años de aplicación de fertilizantes. Las formas de Pi fueron las que más aumentaron y en menor medida el Po extractado con bicarbonato (Pobic). El Pi en hidróxido de sodio (Pina) fue la fracción que más P acumuló, sirviendo como fuente de Pi en bicarbonato (Pibic). En cambio las fracciones de Po fueron las más sinificativamente relacionadas a las transformaciones de P.

Para suelos arenosos de Florida con producción cítrica Zhang *et al.* (1997) establecieron que las prácticas de producción como ser encalado, aplicación de fertilizantes, fungicidas y pesticidas influían sobre el pH, la materia orgánica del suelo y en la distribución de nutrientes y metales del perfil afectando la disponibilidad de los mismos para las plantas. El P ligado a la fracción orgánica era la forma dominante en estos suelos con pH $\leq 6,5$.

Reddy *et al.* (2000) encontraron que el arroz disminuía el P del suelo a partir de distintas fracciones, en cambio cuando era fertilizado en exceso el P agregado se distribuía en las distintas formas. Saleque *et al.* (2004) obtuvieron que este cultivo tomaba la mayor parte del P de las fracciones lábiles, Pina, y formas extractadas con ácidos; el agotamiento de estas formas conduciría a la mineralización del Po extractado con NaOH (Pona) y a la disolución del P residual.

McDowell & Stewart (2006) trabajando con suelos arenosos, arcillosos y limosos con vegetación natural, pastura y forestado, concluyeron que la distribución de Pi y Po en los distintos extractos eran afectadas tanto por el tipo de suelo como por el uso del mismo; en la pastura fertilizada se incrementaban las formas lábiles de Pi.

Este trabajo se realizó bajo las hipótesis de que los Entisoles tienen el menor contenido de fósforo total que los Alfisoles y Vertisoles, mientras que en los tres órdenes predominan las formas moderadamente lábiles. Con la incorporación del cultivo y la fertilización fosfatada disminuyen las formas lábiles después de ser absorbidas por las raíces y se produce un reciclado de las moderadamente lábiles y resistentes.

Los objetivos del presente trabajo fueron: determinar las fracciones de fósforo predominantes en un Entisol, un Alfisol y un Vertisol y analizar los cambios que se producen por el uso cítrico, arrocería y pastoril, respectivamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionaron suelos sometidos a las actividades productivas más importantes económicamente para la provincia de Corrientes ubicadas en distintos órdenes de suelos mediante un muestreo aleatorio simple.

Se realizó un ensayo siguiendo un diseño completamente aleatorizado consistente en dos tratamientos para cada orden de suelo donde se tomaron cinco repeticiones a una profundidad de 0-15 cm. Los tratamientos fueron los siguientes:

1- Entisol

Son suelos bien drenados, algo lavados y ácidos, con características físicas óptimas para los citrus. Las texturas gruesas en superficie son responsables de una baja capacidad de retención hídrica y de nutrientes, resultando en una baja fertilidad natural y susceptibilidad a la erosión eólica que disminuyen su aptitud.

- Suelo con cobertura natural (Test Cit) sin cultivo previo representativo del área.
- Monte citrícola de 7 años (Citrus) con agregado anual de 1 kg de fertilizante 15:6:15:6 por planta⁻¹ año⁻¹, encalado (1 kg de dolomita por planta) y desmalezado mecánico. El muestreo se realizó bajo vuelo de copa coincidiendo con el lugar de aplicación del fertilizante.

2- Alfisol

Suelo ubicado en relieve normal-subnormal, en posición de plano de terraza y pendiente del 0,5%. El drenaje es imperfecto, con escurrimiento lento a muy lento y permeabilidad muy lenta. Áreas poco inundables, de corta duración. Se observan abundantes moteados de color pardo en todo el perfil.

- Suelo con cobertura natural (Test Arroz) sin cultivo previo representativo del área.
- Arrocera con 3 años de cultivo bajo inundación (Arroz), con aplicación en la línea de fertilizante mezcla 5:30:15 a razón de 180 kg ha⁻¹ en el momento de la siembra. El muestreo de suelo se realizó en el líneo luego de la cosecha.

3- Vertisol

Se ubica en relieve normal, media loma alta, con pendiente entre 1 a 2%. Su drenaje es moderado a imperfecto, escurrimiento lento a medio y permeabilidad moderadamente lenta, muy poco a excepcionalmente inundables.

Las limitantes son muy severas y se deben a susceptibilidad a la erosión hídrica y drenaje moderado a imperfecto, lo que restringe la elección de cultivos y/o requiere un manejo muy cuidadoso.

- Campo natural sin pastoreo (Test Set) sin cultivo previo representativo del área.
- Pastura (*Setaria* sp.) con fertilización tres años de repetición, de 120 kg de superfosfato triple por hectárea aplicado al voleo.

De cada repetición se tomó una muestra de suelo compuesta por cinco submuestras a una profundidad de 0-15 cm. Luego de secadas al aire y tamizadas por malla de 2 mm se sometieron al análisis de:

- Textura*: método de Bouyoucos (Dewis & Freitas, 1970)
- pH relación suelo*: agua 1:2.5 (Jackson, 1964)
- Carbono Orgánico*: Método de Walkley & Black modificado (Jackson, 1964)

- Cationes intercambiables, con acetato de amonio*: (Jackson, 1964): Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) por complejometría con EDTA
- Contenido de carbonato*: (Dewis & Freitas, 1970)
- Fe y Al activo*: en oxalato de amonio pH3 analizado por Absorción Atómica (Loeppert & Inskeep, 1996)
- P asimilable*: Bray-Kurtz I (Olsen & Sommers, 1982)
- Fraccionamiento de P Hedley *et al.* (1982) con una pequeña modificación final propuesta por Sattell & Morris (1992). La secuencia del fraccionamiento y la designación de las fracciones fue:

Extractante	Denominación	Fracción determinada
NaHCO ₃	Pibic	P lábil inorgánico P lábil orgánico
	Pobic	
NaHO	Pina	P inorgánico moderadamente lábil (ligado al Fe, Al)
	Pona	
NaHO + ultrasonido	Piult	Pi en microagregados
	Poult	Po en microagregados
HCl 1M HCl concentrado	Piac	P ligados al Ca P inorgánico residual
	Pires	
HCl + H ₂ O ₂	Pores	P orgánico residual

El fósforo total extraíble (Pte) se obtuvo por la sumatoria de las fracciones descriptas.

El P en todos los extractos fue determinado por el método colorimétrico de Murphy y Riley (Olsen & Sommers, 1982).

Para cada Orden de suelo se realizó una prueba de t para muestras independientes ($\alpha = 0,05$) con el software estadístico Infostat (2004). Previamente se comprobó el supuesto de normalidad mediante prueba de bondad de ajuste con el estadístico Ji² ($\alpha = 0,01$) y homogeneidad de la varianza (homocedasticidad) a través de prueba de F para igualdad de varianzas ($\alpha = 0,01$) de cada variable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entisol

El Entisol es un suelo arenoso (Tabla 1), de pH ácido, con baja fertilidad manifestada por su baja capacidad de intercambio catiónica, bajo contenido de Carbono Orgánico (CO) y P asimilable. La concentración de Fe y Al activo (Fe_{ox} y Al_{ox}) fue de 0,54-0,15 g kg⁻¹; y 0,33 y 0,19 mg kg⁻¹, respectivamente, valores considerados bajos ya que pueden variar entre 13,178 - 0,035 g kg⁻¹ para el Fe_{ox} y de 6,4-0,14 g kg⁻¹ para el Al_{ox} (Zhang *et al.* 2005).

Tabla 1. Valores promedios para los distintos órdenes y tratamientos. *Diferencia significativa dentro de una columna (P<0,05).
Table 1. Mean values for different orders and treatments. * Significant difference in columns (P<0,05).

Orden	Tratamiento	Ar	Li	arc	pH	CO	Bray I	Pte	Mg	Ca	Carb	Fe _{ox}	Al _{ox}
		g kg ⁻¹				g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol kg ⁻¹		g kg ⁻¹			
Entisol	Test Citrus	832	70	98	4,6 *	3 *	3,7 *	71,5 *	0,38	1,31	0,001	0,54	0,33
	Citrus	813	89	98	6,0 *	4 *	5,8 *	100,5 *	0,23	2,14	0,002	0,15	0,19
Alfisol	Test Arroz	470	280	251 *	5,4 *	22 *	6,4	126,8	0,93	14,20	0,067 *	0,44	1,04
	Arroz	486	301	214 *	5,5 *	17 *	5,0	129,0	1,35	13,13	0,303 *	0,54	1,29
Vertisol	Test Set	557	210	234	5,3	21	6,6	142,3	1,04	14,84	0,003	0,53	0,00
	Setaria	576	198	226	5,2	18	8,5	147,3	1,93	14,06	0,004	0,65	0,00

Con la incorporación del cultivo se produjo un aumento del pH, CO y P asimilable con diferencias significativas respecto al suelo testigo, atribuidos al encalado y al agregado de fertilizante fosfatado (Tabla 1). El contenido de Pte fue de 71,5 mg P kg⁻¹ de suelo (Tabla 1) para las condiciones naturales y de 100,5 mg P kg⁻¹ de suelo en el suelo con citrus. El P es provisto por el material parental o por el agregado de fertilizantes, siendo arenas cuarzosas el origen de estos suelos. Estos valores de Pte se encontraban dentro de lo esperable por considerarse una propiedad primaria de los suelos que no depende de ninguna otra variable (Cole & Heil, 1981), los resultados obtenidos además concuerdan con lo encontrado por otros autores para Entisoles; por Boschetti *et al.* (2003) en la Argentina y por Chen & Ma (2001) para Entisoles de Florida.

El fraccionamiento del Pte en el suelo Entisol mostró al Pona (53%) como la fracción predominante (Figura 1), con diferencias significativas entre el testigo (37,8 mg kg⁻¹) y el cultivado (53,2 mg kg⁻¹). En suelos similares el Pona alcanzó valores entre 32,3 y 27,9 mg P kg⁻¹ de suelo (Boschetti *et al.*, 2003). El P incorporado como fertilizante es utilizado por las plantas y los microorganismos y transformado en Po (Smeck 1985). Schlesinger *et al.* (1998) obtuvieron mayores valores de Po que de Pi extractado en NaOH que lo atribuyeron a la unión del P con la MO a través del Fe y Al. En suelos fertilizados el Pona sería controlado por factores físico-químicos (sorción-desorción) y reacciones biológicas (inmovilización-mineralización) durante el ciclo del P (Buehler *et al.*, 2002).

La segunda fracción en importancia fue por su contenido el Pires (10%), seguida del Pibic ~ Pobic ~ Poult (8%). El Pires aumentó en el cultivo mientras que las otras disminuyeron. En todos los casos no hubo diferencias significativas estadísticamente. La fracción más fácilmente extractable (Pibic) desciende en el suelo cultivado por el aprovechamiento que hicieron del mismo las plantas y

por las transformaciones que sufrió hacia formas inorgánicas más resistentes como también lo expresara Tieszen (1995).

Las fracciones de menor concentración en condiciones naturales Pina ~ Pores (5%), Piac (1%) y Piult se incrementaron en el tratamiento Citrus, haciéndolo con diferencia significativa las tres primeras. El P proveniente del fertilizante influiría sobre las fracciones de Pi moderadamente lábiles (Buehler *et al.*, 2002).

Alfisol

El Alfisol es un suelo con mayor contenido de arcilla, CO, P asimilable, Ca y Mg respecto al Entisol (Tabla 1). Los carbonatos, Fe_{ox} y Al_{ox} presentaron valores bajos (0,067; 0,44 y 1,04 g kg⁻¹ respectivamente). Con la incorporación del cultivo se produjo un aumento estadísticamente significativo del pH y del contenido de carbonato debido a los procesos redox que se desarrollan durante la inundación (Scalenghe *et al.*, 2002). Simultáneamente hubo disminución del porcentaje de arcilla y del contenido de CO, lo que podría atribuirse al laboreo intensivo bajo condiciones de pudelado.

El contenido de Pte fue mayor que en el Entisol con valores de 126,8 y 129 mg P kg⁻¹ de suelo (Tabla 1), sin diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento. Boschetti *et al.* (2003) encontraron para un Ocracualf de la región valores de Pte de 266 mg P kg⁻¹ de suelo. Cross & Schlesinger (1995) encontraron para Alfisoles de distintas zonas un valor de Pte promedio más elevado, alrededor de 380 mg P kg⁻¹ de suelo.

En la Figura 2 se pueden observar los resultados del fraccionamiento para los tratamientos del Alfisol. En condiciones naturales la mayor proporción la tuvo el Pona (54%). Walker & Syres (1976) sugirieron que la proporción de P en las fracciones lábiles, no lábiles, no ocluidas y ocluidas podrían variar entre taxa de suelos a través de

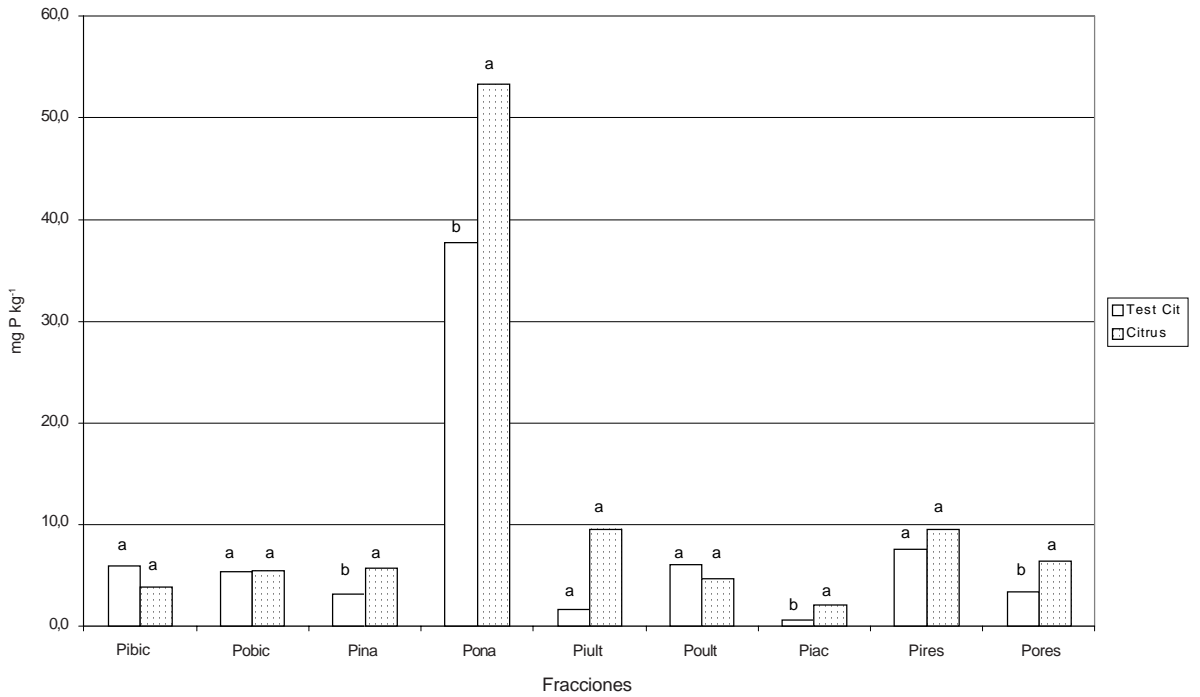


Figura 1. Fracciones de fósforo en Entisoles (letras distintas indican diferencias significativas, $p < 0,05$).

Figure 1. Phosphorus fractions in Entisols (different letters indicate significant differences, $p < 0.05$)

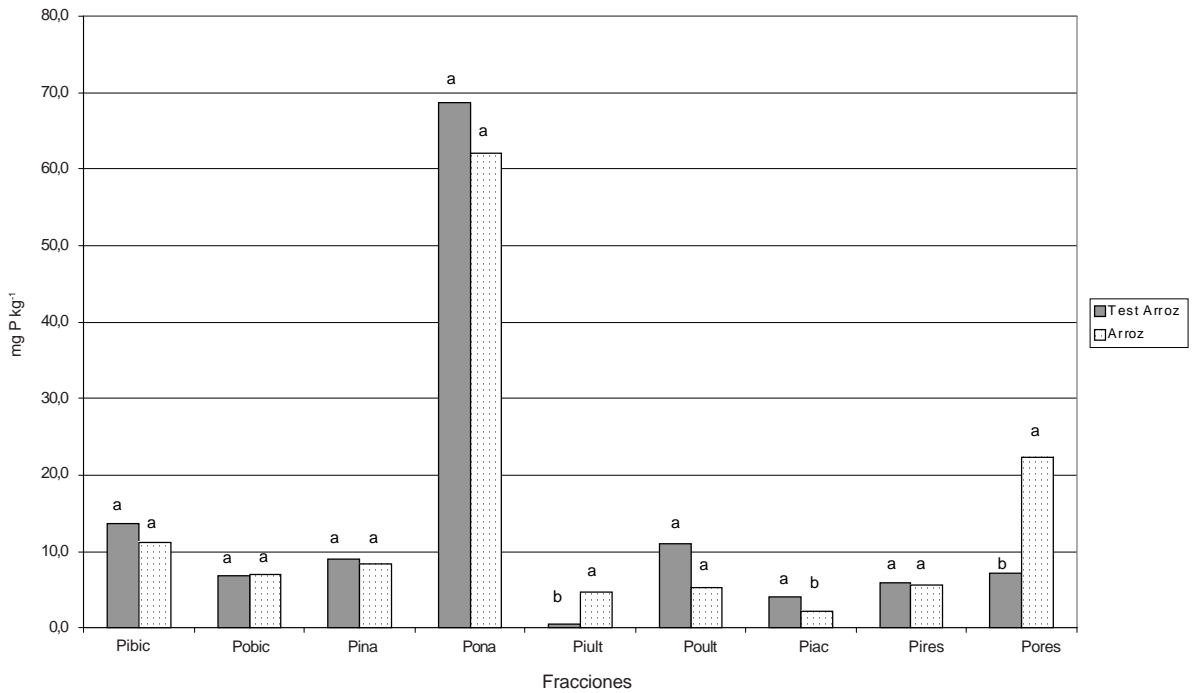


Figura 2. Fracciones de fósforo en Alfisoles (letras distintas indican diferencias significativas, $p < 0,05$).

Figure 2. Phosphorus fractions in Alfisols (different letters indicate significant differences, $p < 0.05$)

un gradiente de intensidad de meteorización. En ecosistemas con meteorización moderada, la mayoría se encontraría en compuestos orgánicos o adsorbidos a minerales secundarios de arcilla.

Las formas que siguieron en orden de contenido fueron el Pibic>Poult>Piac, las que disminuyeron con la incorporación del cultivo. Estas formas de P serían las que por disolución o a través de la mineralización de las formas orgánicas aportarían para la absorción de las plantas (Reddy *et al.*, 2000 y Saleque *et al.*, 2004).

Las fracciones de P que estadísticamente variaron fueron el Pores que en el testigo representó el 6% y el Piult 0,01%, incrementándose en el tratamiento al 17%, y 4% respectivamente. En el primer caso se explicaría por los procesos de inmovilización biológica (Huguenin-Elie *et al.*, 2003) y en el Piult a la incorporación anual del P proveniente del fertilizante. Scalenghe *et al.* (2002) comprobaron que el P en suelos sometidos a inundación se acumularía en formas insolubles y serviría de tampón, regulando el establecimiento y la eficacia del elemento agregado como fertilizante.

Vertisol

El Vertisol es un suelo arcilloso, con un buen contenido de CO y buena fertilidad química (Tabla 1). El P asimilable fue más alto que en el Alfisol (6,4 mg P kg⁻¹ de suelo), pero no lo suficiente para encontrarse dentro de los valores adecuados para el cultivo; Vidal (2000), encontró que en un suelo con 7 mg P kg⁻¹ de suelo la producción de *Setaria* se incrementaba en más de 50 kg de materia seca por unidad de P agregado.

En ninguna de las propiedades estudiadas se observaron diferencias significativas entre el suelo testigo y el utilizado con pastura implantada, debido probablemente a la similitud de los ciclos biológicos.

El Pte fue de 142,3 y 147,3 mg P kg⁻¹ de suelo en el testigo y con *Setaria* sp. respectivamente, coincidiendo con valores similares encontrados para otros Vertisoles de la región (Boschetti *et al.*, 2004). Para Vertisoles de la zona de Extremadura (España) Lopez-Piñeyro & García-Navarro (2001) encontraron valores de Pte que variaban entre 168 y 482 mg P kg⁻¹ de suelo.

En la Figura 3 se pueden observar los resultados del fraccionamiento para los tratamientos en Vertisol. En este orden también fue el Pona la fracción de mayor importancia (68%), seguida del Pibic (20%), debido probablen-

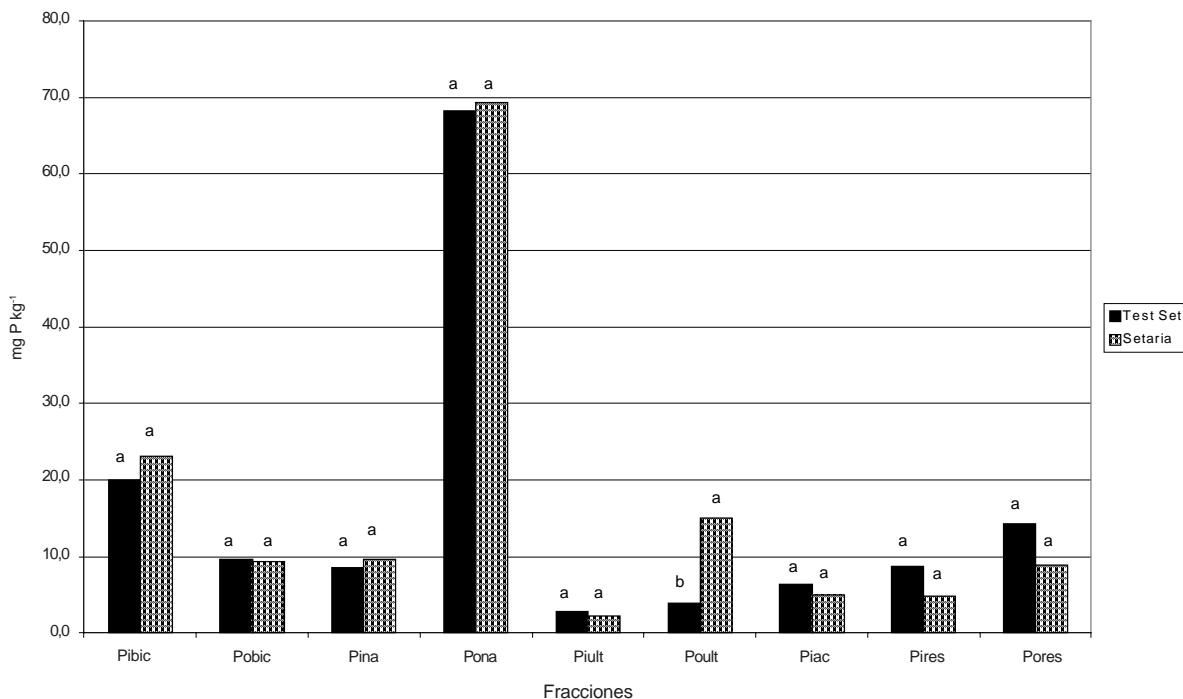


Figura 3. Fracciones de fósforo en Vertisoles (letras distintas indican diferencias significativas, $p < 0,05$).

Figure 3. Phosphorus fractions in Vertisols (different letters indicate significant differences, $p < 0.05$).

te a que estos sistemas presentan un reciclado eficiente del P proveniente de las raíces y de la hojarasca (Jordan & Herrera, 1981; Medina & Cuevas, 1989). Las fracciones que siguieron en orden al porcentaje respecto al Pte fueron: Pores>Pobic>Pina ~ Pires>Piac>Piult, ninguna de estas formas presentaron diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento.

El Po extraído con NaOH previa ultasonificación (Poult), correspondiente al P sorbido a la MO y ocluido dentro de los microagregados, fue la única fracción que presentó diferencia significativa entre el testigo (3,88 mg P kg⁻¹) y el cultivado (15,03 mg P kg⁻¹). Esto indicaría que el Poult sería el reservorio del P agregado en las sucesivas fertilizaciones ya que esta fracción representa una forma de P moderadamente lábil la cual aumentó debido a la actividad biológica producida mas intensamente en el suelo con pastura implantada.

CONCLUSIONES

De los órdenes estudiados el contenido de fósforo total fue menor para el Entisol<Alfisol<Vertisol. En todos los casos predominó la fracción de fósforo orgánico en hidróxido de sodio.

Con la incorporación del citrus fertilizado en el Entisol hubo una disminución del fósforo fácilmente disponible, siendo las fracciones moderadamente lábiles y las más resistentes el reservorio del fertilizante agregado en el Entisol donde solo recibe aportes químicos a vuelo de copa. El cultivo de arroz bajo inundación produjo la disminución de la mayoría de las formas de fósforo en el Alfisol, aumentando solo el fósforo inorgánico en microagregados y el orgánico residual en el suelo cultivado el cual permanece en condiciones reductoras durante la producción de arroz. La implantación de *Setaria* sp. con fertilización en el Vertisol solo produjo aumento significativo en el fósforo orgánico ocluido en los microagregados, favorecido por la mayor actividad biológica en la pastura cultivada.

AGRADECIMIENTOS

A la Profesora D. Zicavo por su colaboración con la elaboración del trabajo. A la S.G.C. y T. de la Universidad Nacional del Nordeste por el financiamiento parcial con el PI-709.

BIBLIOGRAFÍA

- Boschetti, GN; CE Quintero; RA Benavidez & L Giuffre. 2003. Cuantificación de las fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo en suelos de la Mesopotamia Argentina. *Cs del Suelo* 21(1): 1-8.
- Boschetti, GN; CE Quintero & MAR Befani. 2004. Dinámica de las fracciones de fósforo en pasturas fertilizadas. XIX CACS Acta Resúmenes II Simposio N. sobre suelos Vertisólicos.
- Buehler, S; A Oberson; IM Rao; DK Friesen & E Frossard. 2002. Sequential Phosphorus Extraction of a ³³P-Labeled Oxisol under Contrasting Agricultural Systems. *Soil Sci Soc Am J.* 66(3): 868-877.
- Chen, M & LQ Ma. 2001. Taxonomic and geographic distribution of total phosphorus in Florida surface soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65(5): 1539-1547.
- Cole, CV & RD Heil. 1981. Phosphorus effects on terrestrial nitrogen cycling. *Ecol. Bull.* 33: 363-374.
- Cross, AF & WH Schlesinger. 1995. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: Applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma* 64(3-4): 197-214.
- Dewis, J & FF Freitas. 1970. Métodos físicos y químicos de análisis de suelos y aguas. Boletín sobre Suelos N° 10 FAO: 252p.
- Escobar, EH; HD Liger; R Melgar; HR Matteio & O Vallejos. 1996. Mapa de Suelos de la Provincia de Corrientes, 1:500.000. Subsecretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Centro Regional Corrientes. Imprenta Vida Correntina.
- Harrison, AF. 1982. ³²P-method to compare rates of mineralization of labile organic phosphorus in woodland soils. *Soil Biol. Biochem.* 14(4): 337-341.
- Hedley, MJ; J Stewart & B Chauhan. 1982. Changes in Inorganic and Organic Phosphorus Fractions Induced by Cultivation Practices and by Laboratory Incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46(5): 970-976.
- Huguenin-Elie, O; GJD Kirk & E Frossard. 2003. Phosphorus uptake by rice from soil that is flooded, drained or flooded then drained. *European Journal of Soil Science* 54(1): 77-90.
- INFOSAT. 2004. Versión 1.1. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Córdoba (FCA-UNC).
- Jackson, ML 1964. Análisis químicos de los suelos. 2° Edición. Editorial Omega S.A., Barcelona. 666 págs.
- Jordan, CF & R Herrera, 1981. Tropical rain forest: are nutrients really limiting? *Am. Nat.* 117(1): 167-180.
- Loeppert, RL & WP Inskeep. 1996. Iron. p. 639-664. In: DL Sparks *et al.* (ed.) Methods of soil analysis. Part3, Chemical methods. SSSA Book Series: 5. Madison, WI., USA.
- López-Piñeiro, A & A García-Navarro. 2001. Phosphate fractions and availability in Vertisols of south-western Spain. *Soil Sci.* 166(8): 548-556.
- McDowell, RW & I Stewart. 2006. The phosphorus composition of contrasting soils in pastoral, native and forest management in Otago, New Zealand: sequential extraction and ³¹P NMR. *Geoderma* 130(1-2): 176-189.

- Medina, E & E Cuevas. 1989. Patterns of nutrient accumulation and release in Amazonian forest of the upper Rio Negro Basin. p. 217-240. *In: J Proctor (ed.) Mineral nutrients in tropical forest and savanna ecosystems.* Blackwell Scientific Publ., Boston.
- Olsen, SR & LE Sommers. 1982. Phosphorus. p. 403-430. *In: AL Page et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2.* 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI., USA.
- Reddy, DD; AS Rao & TR Rupa. 2000. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic phosphorus in a Vertisol. *Bioresoruce Technol.* 75(2): 113-118.
- Saleque, MA; UA Naher; A Islam; ABMBU Pathan; ATMS Hossain & CA Meisner. 2004. Inorganic and Organic Phosphorus Fertilizer Effects on the Phosphorus Fractionation in Wetland Rice Soils. *Soil Sci Soc Am J.* 68(5): 1635-1644.
- Sattell, R & R Morris. 1992. Phosphorus Fractions and Availability in Sri Lankan Alfisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56(5): 1510-1515.
- Scalenghe, R; AC Edwards; F Ajmone Marsan & E Barberis. 2002. The effect of reducing conditions on the solubility of phosphorus in a diverse range of European agricultural soils. *European J. Soil. Sci.* 53(3): 439-448.
- Schlesinger, WH; LA Bruijnzeel; MB Bush; EM Klein; KA Mace 1; JA Raikes & RJ Whittaker. 1998. The biogeochemistry of phosphorus after the first century of soil development on Rakata Island, Krakatau, Indonesia. *Biogeochemistry* 40(1): 37-55.
- Smeck, NE. 1985. Phosphorus dynamics in soils and landscape. *Geoderma* 36(3-4): 185-199.
- Tiessen, H (*ed.*). 1995. Phosphorus in the Global Environment: Transfers, Cycles, and Management. John Wiley & Sons, New York. 462 pp.
- Tiessen, H; B Stewart & C Cole. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 48(4): 853-858.
- Vidal, C. 2000. Producción de *Setaria sphacelata* cv Narok bajo corte, fertilizadas con distintas dosis de N, P y K en el noreste santafesino. XVII CACS Acta Resúmenes Comisión III- Panel N° 71.
- Wagar, BI; JWB Stewart & JO Moir. 1986. Changes with in the form and availability of residual fertilizer phosphorus on Chernozemic soils. *Can. J. Soil Sci.* 66(1): 105-119.
- Walker, TW & JK Syres. 1976. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma* 15(1): 1-19.
- Yanai, RD. 1992. Phosphorus budget of a 70-year-old northern hardwood forest. *Biogeochemistry* 17(1): 1-22.
- Zhang, M; AK Alva; YC Li & DV Calvert. 1997. Fractionation of Iron, Manganese, Aluminium, and phosphorus in selected sandy soils under citrus production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61: 794-801.
- Zhang, H; JL Schroder; JK Fuhrman; NT Basta; DE Storm & ME Payton. 2005. Path and Multiple Regression Analyses of Phosphorus Sorption Capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69(1): 96-106.
- Zheng, Z; JA Macleod; JB Sanderson & J Lafond. 2004. Soil phosphorus dynamics after ten annual applications of mineral fertilizers and liquid dairy manure: fractionation and path analyses. *Soil Sci.* 169(6): 449-456.