

## CONTENIDOS Y FORMAS DE FÓSFORO EN SUELOS DESARROLLADOS SOBRE MATERIALES ALUVIALES DE TUCUMÁN (ARGENTINA)

N C MOLINA<sup>1</sup>, R. BLANCO<sup>2</sup>, A CABRERA<sup>2</sup> Y J ARCIA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cátedra de Edafología, Fac. de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán. CC125. San Miguel de Tucumán. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones de la Caña de Azúcar, Cuba.

### CONTENTS AND FORMS OF PHOSPHORUS IN ALLUVIAL SOILS FROM TUCUMAN (ARGENTINA)

Five soils of alluvial origin of the orders Mollisol and Entisol, cropped with sugar cane were analyzed for total, organic, inorganic mobile and resistant phosphorus. In all profiles calcium phosphates and organic phosphorus were the major forms. Relative calcium phosphate contents increased with depth, while organic phosphorus decreased. Aluminum and iron phosphates were secondary forms in all profiles. Soil pH was the main determining variable in distribution of phosphorus inorganic forms. Relative resistant phosphorus was more or less constant in each profile with low values for three profiles developed on detrital parent material from the Aconquija mountains and high for two profiles developed on alluvial parent material originated by local transport in Chacopampeana aeolian plain. Total phosphorus was low in the last two profiles and relatively high in the first three: this was interpreted as inherent differences of parent material linked to geomorphological and geographic position.

**Key words:** subtropical soils, phosphorus, phosphate forms.

### INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la distribución del contenido de fósforo entre distintas formas químicas en el suelo es útil en los estudios de biogeoquímica, génesis y fertilidad. A nivel internacional estos análisis se generalizaron desde que Dean en 1932 desarrolló el primer procedimiento analítico para tal fin (Olseii, Sommers 1982). A nivel nacional se cuenta con estudios realizados en distintos suelos (por ejemplo Peinemann *et al.* 1987; Vázquez *et al.* 1998). En la provincia de Tucumán el único antecedente publicado es un estudio realizado en Haplustoles y Argiudoles desarrollados sobre materiales loesoides en la llanura Chacomampeana y Hapludoles desarrollados sobre materiales aluviales de las Sierras del Aconquija, referido a contenidos totales y formas inorgánicas (Zuccardi *et al.* 1971), no contándose con estudios de contenidos de fósforo orgánico, a pesar de que en ciertos suelos esta fracción hace una contribución sustancial a la nutrición de las plantas (Bowman *et al.* 1990). Zuccardi *et al.* (1971) encontraron que la forma mineral dominante en todos los suelos que analizaron eran los fosfatos de calcio y que los contenidos de fósforo total eran bajos en Haplustoles y Argiudoles y moderadamente altos en Hapludoles.

Los primeros trabajos sobre fertilización fosfatada en caña de azúcar (Fogliata 1978 a, b) indicaron que el cultivo no responde a la aplicación del nutrimento; en estos trabajos todos los ensayos se ubicaban en el pedemonte de las sierras del Aconquija. Investigaciones más recientes (Pérez Zamora *et al.* 1997) encontraron que suelos ubicados al noreste del área cañera, en los departamentos de Burruyacu y Cruz Alta, responden a la aplicación de fosfatos y tienen niveles muy bajos de fósforo asimilable determinado por la técnica de Bray 2.

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar los contenidos y las formas de fósforo de suelos de origen aluvial de la provincia de Tucumán.

### MATERIALES Y MÉTODOS:

Se trabajó con muestras simples de los tres primeros horizontes de tres perfiles de suelos desarrollados sobre abanicos aluviales del pedemonte de la Sierra del Aconquija (departamento Lules) y dos desarrollados en vaguadas de la llanura Chacomampeana (departamentos Cruz Alta y Leales). Los suelos de las vaguadas son de textura franca o más liviana y los del resto de la llanura Chacomampeana son franco limosos en todo el perfil. Todos los suelos, al momento del muestreo, se encontraban cultivados con caña de azúcar sin fertilización con fósforo, excepto el de Finca

Mesurado que estaba cubierto por un bosque secundario, habiendo estado cultivado previamente con caña de azúcar sin fertilización. La localización y principales características de los mismos se presentan en la Tabla 1. En la caracterización se emplearon los siguientes métodos: pH potenciométrico en H<sub>2</sub>O (relación 1:2,5) y en KCl

(relación 1:2,5); carbono oxidable (Walkley y Black); CIC por saturación con acetato de Na 1N (pH 8,5) y reemplazo con acetato de NH<sub>4</sub> 1N (pH 7); bases intercambiables por desplazamiento con acetato de NH<sub>4</sub> 1N (pH 7); textura por análisis granulométrico por el método de la pipeta, previo tratamiento con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Tabla 1: Principales características de los suelos estudiados

Suelo	Profund. (cm)	pH		Mat. Org. (g kg <sup>-1</sup> )	CIC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	Textura	Bases Intercambiables (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			
		H <sub>2</sub> O	KCl				Ca	Mg	Na	K
Fca Mayo-Cruz Alta - Hapludol éntico										
Ap	0-25	5,7	5,3	1,98	19,74	franca	12,16	3,21	0,23	1,57
AC	25-57	6,4	5,7	0,52	11,39	fr. arenosa	8,26	2,53	0,23	1,02
C	57-95	6,7	5,6	0,34	15,75	franca	12,02	3,90	0,27	1,38
Fca Mesurado-Lules - Hapludol típico										
A1	0-31	7,6	6,7	1,98	35,27	fr. arc. lim.	32,60	,56	0,43	1,14
A2	31-66	8,0	7,0	0,86	22,86	franca	34,75	7,66	0,51	0,52
Bw	66-89	8,0	7,1	0,86	22,72	fr. arcillosa	34,44	7,35	0,49	0,79
Fca Molina-Lules - Hapludol éntico										
Ap	0-27	5,9	5,6	1,55	16,85	franca	12,58	3,00	0,23	0,55
AC	27-60	6,7	6,2	0,43	13,99	franca	11,84	4,42	0,25	0,51
C	60-95	7,0	6,0	0,09	16,87	fr. arenosa	6,58	1,42	0,18	0,35
Fca Toranzo-Lules - Hapludol éntico										
Ap	0-24	5,1	4,7	2,06	16,21	fr. arenosa	8,73	2,15	0,25	0,62
AC	24-54	6,2	5,4	0,95	15,78	franca	12,05	1,21	0,30	0,64
C	54-125	6,3	5,7	0,88	10,73	fr. arenosa	8,51	0,95	0,24	0,36
Fca Cinco Cercos-Leales-Udortentípico										
Ap	0-40	8,0	6,2	0,89	17,84	fr. arenosa	12,23		6,84	0,95
AC	40-65	7,9	7,1	0,34	12,61	fr. arenosa	8,85		4,98	1,24
C	65-90	7,9	7,2	0,17	18,39	fr. arenosa	8,84	3,31	6,03	2,75

Se determinó fósforo total (Pt) por digestión con ácido perclórico, fósforo orgánico (Po) por calcinación (Kuo 1996), y fósforo soluble (Ps), fósforo ligado a calcio (P Ca), fósforo ligado a hierro (P Fe) y fósforo ligado a aluminio (P Al) por una modificación del procedimiento de Chang y Jackson en la que no se incluyó la extracción de fósforo con reductores (fósforo ocluido). También se determinó fósforo resistente a la extracción (Pr) como la diferencia entre Pt y fósforo extraído con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M en muestra calcinada (Bowman et al. 1998). En todos los casos la concentración de P en los extractos se determinó por la técnica de Murphy y Riley (Olseii, Sommers 1982).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

P Ca y Po dominan en todos los perfiles, siendo minoritarios P Fe y P Al, y nulo

o despreciable Ps (Figura 1). Este resultado está de acuerdo con lo informado por Zuccardi et al. (1971), respecto a las fracciones inorgánicas, con lo encontrado por Peinemann et al. (1987) para Entisoles y Aridisoles de origen aluvial del Alto Valle de Río Negro, por Gaviola de Heras y Nijensohn (1984) para Haplustoles de Mendoza desarrollados sobre materiales aluviales y con lo indicado por la bibliografía internacional para Entisoles y Molisoles de moderado grado de evolución (Smeck 1973 y Walker, Syers 1976). Po representó en el horizonte superficial entre 21 % y 40 % de Pt (media 31 %) y decreció hasta una media de 12 % en el tercer horizonte, este

decrecimiento no fue muy manifiesto debido posiblemente al contenido orgánico del material aluvial depositado (Walker, Syers 1976). P Ca fue la forma extractable dominante y presentó la particularidad de aumentar sus concentraciones relativas con la profundidad, siendo el promedio del horizonte superficial 45

% y el del tercer horizonte 66 %. P Al y P Fe representaron en promedio, para todos los horizontes, 6 %. Todas estas formas constituirían fuentes de fósforo transicionales o intermedias respecto a la disponibilidad del nutriente (Bowman *et al.* 1998).

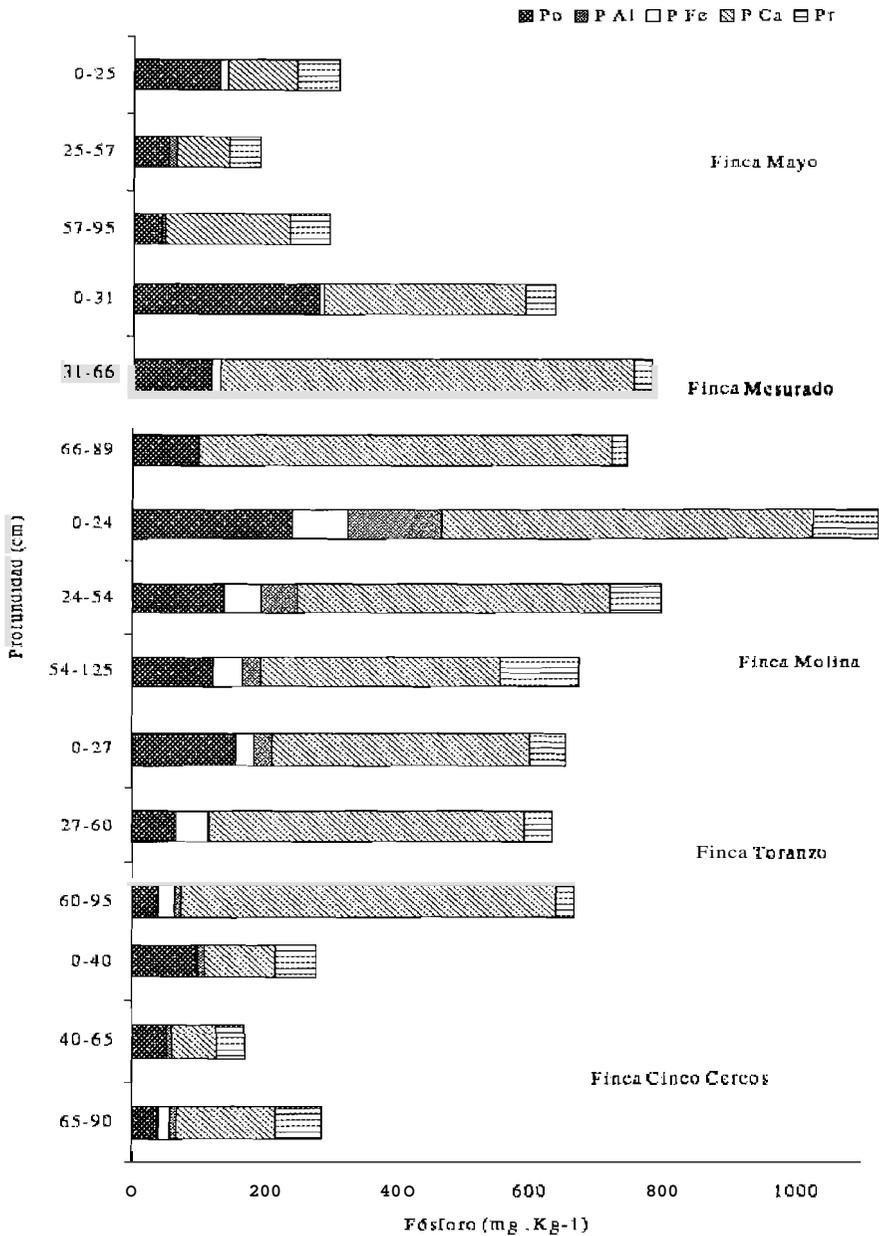


Figura 1: Contenido de Po, P Al, P Fe, P Ca y Pr en los suelos analizados

La relación  $P_{Ca}/P_{Al} + P_{Fe}$  se correlacionó positivamente con el pH,  $r = 0,54$  ( $p < 5\%$ ), lo que es esperable ya que el descenso del pH es uno de los factores que inducen la alteración de los fosfatos de Ca y a la formación de fosfatos secundarios de Fe y Al (Smeck 1973, Tiessen *et al.* 1984). Es de interés notar que el suelo sódico, de Finca Cincos Cercos, Leales, presentó un comportamiento anormal, con altos pH y relativamente altos valores de P extractable con extractantes alcalinos (P-Al y P-Fe), razón por la cual el coeficiente de correlación  $P_{Ca}/P_{Al}+P_{Fe} - pH$  fue 0,85 ( $p < 0,1\%$ ) cuando se excluyeron del análisis los horizontes de este perfil sódico. Este comportamiento se explicaría por que en condiciones de alta saturación con sodio del complejo de cambio, altos pH y presencia de suficiente carbonato, se produce desorción y solubilización de fosfatos de Ca (Gupta *et al.* 1990). Así en las primeras extracciones de la secuencia de Ciang y Jackson, que corresponden a P Al y P Fe, se extraería parte de P Ca.

Los contenidos relativos de Pr se correlacionaron significativamente, y en forma positiva, con la diferencia entre Pt y Po inas fósforo extractado por la secuencia de Chang y Jackson, ( $r = 0,84$ ,  $p < 0,1\%$ ), lo que está de acuerdo con lo informado por Bowman *et al.* (1998). Este fósforo comprendería fosfatos primarios incluidos en otros minerales resistentes (Cescas *et al.* 1970) y/o minerales secundarios esencialmente no disponibles para las plantas (Bowman *et al.* 1998). El Pr relativo, calculado con el método de Bowman *et al.* (1998) o en base a la diferencia entre fósforo total y la suma de fósforo orgánico y fracciones extraídas por Ciang y Jackson, fue constante dentro de cada perfil, lo que coincide con el bajo grado de evolución de los suelos analizados. Este valor de fósforo residual porcentual es más alto en los perfiles de Cruz Alta y Leales que en los de Lules, debido posiblemente a la presencia de materiales de origen volcánico en los dos primeros.

Los contenidos de Pt fueron bajos para los suelos de Finca Mayo (Cruz Alta) y Finca Cinco Cercos (Leales, media  $265 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y moderadamente altos en los perfiles de Fincas Mesurado, Molina y Toranzo (Lules, media  $740 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Esto indica materiales originales de distinta riqueza en fósforo, ya

que el contenido total de fósforo, en suelos no fertilizados, es esencialmente una propiedad primaria de un suelo y, por lo tanto, no depende de ninguna otra variable (Tiessen *et al.* 1984). Los materiales detríticos provenientes de las Sierras del Aconquija, que constituyen los materiales originales de los suelos de Lules, son relativamente ricos en fósforo total y extractable y los originados por fenómenos locales de retransporte de material loesoso de la llanura Chacopampeana, de los suelos de Cruz Alta y Leales, son pobres en fósforo total y fósforo extractable. Esto concuerda con lo informado por Zuccardi *et al.* (1971), respecto a Hapludoles desarrollados sobre materiales aluviales provenientes de las Sierras del Aconquija y Haplustoles y Argiudoles desarrollados sobre material loesoso en la llanura Chacopampeana. Respecto al patrón de distribución del Pt dentro de los perfiles, los citados autores encontraron que para Hapludoles desarrollados sobre los materiales detríticos de las sierras, decrece con la profundidad mientras que en el presente estudio no se encontró un patrón definido, debido posiblemente a diferencias de posición dentro del medio de acumulación. En el caso de los Haplustoles y Argiudoles de la llanura Chacopampeana, Zuccardi *et al.* (1971) encontraron un decrecimiento desde el horizonte superficial al subsuperficial con un nuevo incremento hacia los horizontes subyacentes, que atribuyeron a la existencia de una capa subsuperficial de material con alta carga de vidrios volcánicos pobres en fósforo. La evidencia encontrada en el presente trabajo indica que este patrón se conserva en los perfiles de Finca Mayo y Finca Cinco Cercos a pesar del retransporte del material.

Se puede concluir que los suelos formados sobre materiales aluviales de Aconquija poseen mayores contenidos de fósforo total que los desarrollados en vaguadas de la llanura Chacopampeana, pero ambos tipos de suelos poseen similares proporciones de las distintas fracciones del elemento.

#### REFERENCIAS

- Bowman RA, Reeder JD, Lower RW. 1990. Changes in soil properties in a Central Plain grassland soil after 3, 20, and 60 years of cultivation. *Soil Sci. Soc. Am.* 50:851-857.

- Bowman RA, Rodríguez JB, Self JR. 1998. Estimating occluded and resistant soil phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:338-342.
- Cescas MP, Tyner EH, Syers JK. 1970. Distribution of apatite and other mineral inclusions in a rhyolitic pumice ash and beach sand from New Zealand: an electron microprobe study. *J. Soil Sci.* 21:78-84.
- Fogliata FA. 1978 a. Experiencias de fertilización con caña de azúcar. 1ra Parte: En caña planta. *La Industria Azucarera* N° 983: 342-349.
- Fogliata FA. 1978 b. Experiencias de fertilización con caña de azúcar. 2da Parte: En caña soca. *La Industria Azucarera* N° 984: 105-158.
- Gaviola de Heras S, Nijensohn L. 1984. Fósforo en Molisoles de altura en las altiplanicies del noroeste de la provincia de Mendoza. I. Caracterizaciones de laboratorio. *Ciencia del Suelo* 2: 23-29.
- Gupta RK, Sing RR, Tanji KK. 1990. Phosphorus release in sodium ion dominated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:1254-1260.
- Kuo S. 1996. Phosphorus. p. 833-867. In DL Sparks et al. (ed). *Methods of soil analysis - Part 3 - Chemical Methods*. Soil Sci. Soc. of Am. Book Series N°5. Mad. Wis.
- Olsen SR, Sommers LE. 1982. Phosphorus. p.403-430. In AL Page et al (ed). *Methods of soil analysis Part 2. Chemical and microbiological properties*. Agronomy N°5, Mad. Wis.
- Peinemann N, Andreoli CY, Sánchez EE. 1987. Fracciones y dinámica del fósforo y potasio en suelos del Alto Valle de Río Negro. *Ciencia del Suelo* 5:9-18.
- Pérez Zamora F, Villegas R, Scandaliaris J, Menéndez A. 1997. Consideraciones sobre fertilizantes para la caña de azúcar. EEAOC Publicación Especial N°13. p13.
- Smeck NE. 1973. Phosphorus: an indicator of pedogenic weathering processes. *Soil Sci.* 115:199-206.
- Tiessen H, Steward WB, Cole CV. 1984. Pathways of phosphorus transformations in soils of differing pedogenesis. *Soil Sci Soc. Am. J.* 48:853-858.
- Vázquez S, Dalurzo H, Lifschitz AP de, Morales LA. 1998. Fósforo total, orgánico e inorgánico en Ultisoles, Alfisoles y Oxisoles del sur de Misiones (Argentina). *Ciencia del Suelo* 16:47-49.
- Walker TW, Syers JK. 1976. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma* 15:1-19.
- Zuccardi RB, Fadda GS, Cáceres MR, Lobo AMP de. 1971. Estado del fósforo inorgánico en suelos de Tucumán. *Actas VI Reun. Argent. de la Ciencia del Suelo*: 110-118. Córdoba.