

## FRACCIONAMIENTO DE FÓSFORO EN SUELOS CULTIVADOS CON ARROZ POR LARGOS PERÍODOS DE TIEMPO. II. RELACIÓN FÓSFORO ORGÁNICO-INORGÁNICO

Neudis Subero<sup>1</sup>, Ricardo Ramírez<sup>2</sup>, Omaira Sequera<sup>3</sup> y Julio C. Parra<sup>2</sup>

### RESUMEN

La producción de arroz en el sistema de riego del Río Guárico en Venezuela data de muchos años, durante los cuales se ha venido aplicando fertilizantes fosfatados en forma continua. Las fracciones residuales de fósforo orgánico fueron estudiadas en 43 muestras de suelos fertilizados entre 5 y 50 años continuos por medio de una extracción secuencial. Los datos de P inorgánico fueron mostrados en una publicación anterior. El fósforo orgánico total (PoT) fue aproximadamente 4,3 veces más bajo que el P inorgánico total (PiT); sin embargo, entre el 50,6 y 84,7 % del P lábil correspondió al P orgánico. Contrariamente, las fracciones orgánicas moderadamente lábil (PiML) y ligeramente lábil (PiLL) fueron menos abundantes que las correspondientes inorgánicas (PoML y PoLL). El contenido de materia orgánica de los suelos mostró una relación lineal significativa y positiva con el PoML, pero esta relación fue más baja con el PoLL y Po ocluido.

**Palabras clave adicionales:** Fósforo estable, fósforo lábil, materia orgánica

### ABSTRACT

#### Fractions of phosphorus in soils cultivated with rice for long periods. II. Organic-inorganic phosphorus relationship

Rice production in the irrigation system of Guarico River in Venezuela dates back more than 50 years, during which phosphate fertilizer has been applied continuously. The residual fractions of organic phosphorus were studied in 43 soil samples, fertilized between 5 and 50 continuous years. A sequential P extraction procedure was carried out in each soil sample. Data of inorganic P were reported in a previous paper. Total organic P (PoT) was approximately 4.3 times lower than total inorganic P (PiT); however, between 50.6 and 84.7 % of P labile corresponded to organic P. On the contrary, moderately and slightly labile organic fractions (PoML and PoLL) were less abundant than the corresponding inorganic fractions (PiML and PiLL). The organic matter content of the soils showed a significant positive linear relationship with the PoML, but a lower relationship with PoLL and occluded Po.

**Additional key words:** Labile phosphorus, occluded phosphorus, organic matter

### INTRODUCCIÓN

La deficiencia de fósforo en las plantas ha sido señalada por años como el segundo problema en importancia después del nitrógeno, en la fertilidad de los suelos, en la América tropical (Sánchez y Salinas, 1981); esta deficiencia es con frecuencia agravada por su fijación en diferentes formas, haciendo que sea menos disponible para las plantas (Fernández y Turrión, 2011).

Los cambios en los métodos de labranza, junto con la incorporación de los residuos de cosecha, alteran los cambios de la materia orgánica en los

suelos y, por consiguiente, la disponibilidad del P. La producción de arroz en los suelos del sistema de riego del Río Guárico se ha caracterizado por ser un monocultivo, con uso de fertilizantes e incorporación de los residuos de cosecha. Es conocido que la mineralización de fósforo orgánico (Po) en el suelo, para proveer de P disponible, es un proceso de alta importancia para la buena nutrición de la planta (Beegle y Durst, 2002). El manejo inapropiado de los fertilizantes fosfatados junto con el mayor uso de sistemas intensivos de producción pueden dar lugar a una disminución del P disponible en el suelo y

Recibido: Febrero 23, 2015

Aceptado: Enero, 2016

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo. e-mail: nsubero23@hotmail.com

<sup>2</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. Maracay. e-mail: abisam28@gmail.com

<sup>3</sup> Decanato de Agronomía, Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Apdo. 400. Barquisimeto. Venezuela.

ocasionar deficiencias de este nutriente en el cultivo.

Por otra parte, es aceptada la importancia de la materia orgánica de los suelos para el comportamiento de los rendimientos de los cultivos, aunque poca atención se ha puesto a la disponibilidad de P orgánico en el suelo

La determinación cuantitativa de las fracciones de fósforo en el suelo permitiría mejorar los sistemas de diagnóstico y de manejo de los fertilizantes fosfatados. Hedley et al. (1982) propusieron un método de extracción secuencial del P del suelo con el propósito de caracterizar las diferentes fracciones presentes, y posteriormente, Tiessen y Moir (1993) argumentaron que el método de Hedley et al. (1982) no extrae todo el fósforo orgánico (Po) y propusieron mejorar la extracción del Po reagrupando las fracciones de P con base a sus transformaciones.

El objetivo de este trabajo fue determinar las diferentes fracciones de Po en los suelos bajo cultivo de arroz por varios años y comparar el comportamiento de las fracciones orgánicas e inorgánicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización del trabajo se tomaron muestras de suelo, al momento de la cosecha de arroz, en 43 fincas en el sistema de riego del Río Guárico. En las fincas seleccionadas los agricultores aplicaron fertilizantes fosfatados por 5 y hasta 50 años. El muestreo de los suelos se hizo en parcelas de aproximadamente 2 hectáreas tomando 20 submuestras entre 0 y 20 cm de profundidad, con un tubo de muestreo de 7 cm de diámetro, siguiendo el sistema de zig-zag. Las 20 submuestras se mezclaron para obtener una muestra compuesta por finca.

La materia orgánica (MO) se determinó por medio de oxidación con dicromato (Heanes, 1984). Las fracciones de fósforo orgánico se extrajeron, en forma secuencial, por medio del procedimiento propuesto por Tiessen y Moir (1993) según se detalló en un trabajo previo (Subero et al., 2016). La fracción lábil (PoL) y el P microbiano se extrajeron con  $\text{NaHCO}_3$ , el P moderadamente lábil (PoML) con  $\text{NaOH}$  0,1 M, el P ligeramente lábil (PoLL) con  $\text{HCl}$  1 M y la forma de Po estable u ocluido (PoO) con  $\text{HCl}$  concentrado. En cada extracto se determinó el

fósforo mediante el método de Murphy y Riley (1962). El PoT se obtuvo mediante la suma de las fracciones previamente determinadas. Los resultados de las fracciones se presentan en forma gráfica junto a un análisis de regresión entre ellas y el contenido de MO del suelo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La MO de los suelos resultó en un promedio de 2,8 %, mientras que el P orgánico total (PoT) mostró un promedio de  $67,53 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Cuadro 1) que resulta 4,3 veces menor al compararlo con el promedio de PiT de  $296,99 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  reportado por Subero et al. (2016) para los mismos suelos.

A partir de los valores del Cuadro 1 se deduce que la fracción de Po más abundante, en promedio, fue la moderadamente lábil (PoML) con 52,42 % del PoT, seguida por la forma ocluida (PoO) con 22,18 % del PoT. El promedio para la fracción lábil (PoL) fue de 17,05 % del PoT, mientras que la fracción menos abundante fue la ligeramente lábil (PoLL) con sólo 8,33 %. La mayor abundancia de PoML sugiere que esta fracción podría contribuir en forma más eficiente al mantenimiento del P disponible para la planta en los suelos, por medio del proceso de mineralización. Sin embargo, al considerar la suma de las fracciones PoL y PoML, es decir,  $46,92 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de Po obtenidos en este estudio vs.  $59,91 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  de Pi obtenidos por Subero et al. (2016), se destaca que el Po tiene un rol menos importante, como posible fuente de P disponible para la planta, en los suelos bajo cultivo de arroz en el sistema de riego del Río Guárico.

En el trabajo mostrado por Picone y Zamuner (2002) en seis suelos con órdenes diferentes se observa que la fracción PoML fue la más abundante y varió entre un 53,7 y 88,9 % del PoT, destacando la importancia del Po en la nutrición de los cultivos. Sin embargo, aún no se dispone de suficiente información sobre la tasa de mineralización de las fracciones orgánicas de P que permitan evaluar la habilidad de las plantas para usar el P liberado.

El efecto de los años de cultivo sobre los cambios de las fracciones de Po en los suelos mostró poca importancia. El PoL, considerado como disponible, mostró poca variación en el tiempo, entre  $10,9$  y  $14,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (Figura 1). En promedio, estos valores son 1,4 veces más altos

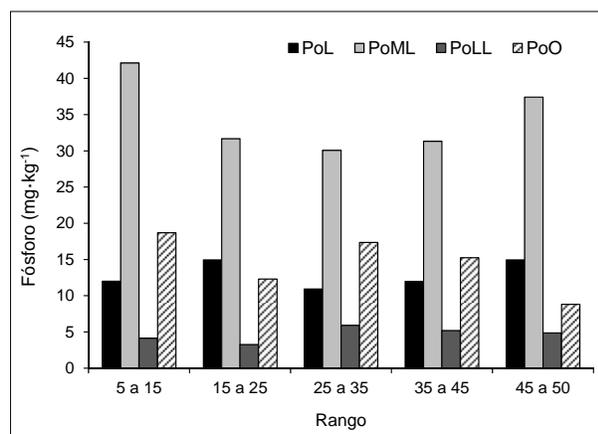
## Subero et al. Fraccionamiento del fósforo en suelos. II. Relación P orgánico-inorgánico

que los de PiL reportados por Subero et al. (2016), comportamiento que sugiere que aparentemente el PoL pudiera ser tanto o más importante que la fracción inorgánica como fuente de contribución de P disponible a la solución del suelo.

**Cuadro 1.** Resumen de las fracciones de fósforo orgánico (Po) en  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  en los suelos cultivados con arroz en el sistema de riego del Río Guárico

	PoL	PoML	PoLL	PoO	PoT
Promedio	11,52	35,40	5,63	14,98	67,53
Máximo	30,66	87,83	46,69	29,05	118,86
Mínimo	0,58	14,42	0,59	0,32	42,23

L=Lábil ( $\text{NaHCO}_3$ ), ML=Moderadamente lábil ( $\text{NaOH}$ ), LL=Ligeramente lábil ( $\text{HCl}$  1M), O=ocluido ( $\text{HCl}$  concentrado)



**Figura 1.** Años de fertilización y fracciones de fósforo orgánico en el suelo cultivado con arroz en el sistema de riego del Río Guárico

La fracción PoML fue la más abundante, 2,1 a 3,5 veces mayor que PoL, y entre 5,0 a 10,2 veces mayor que PoLL (Figura 1). Esta última fue la menos abundante de todas, menor a  $7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Las formas orgánicas lábiles en conjunto, PoML + PoLL, (PoLT) variaron entre 35,0 y  $46,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . En términos de distribución porcentual el PoLT representó entre el 56,2 y 64,1 % del PoT, lo que significa que las fracciones lábiles de Po sumadas constituyen, aparentemente, un reservorio de P disponible potencial considerable en los suelos estudiados.

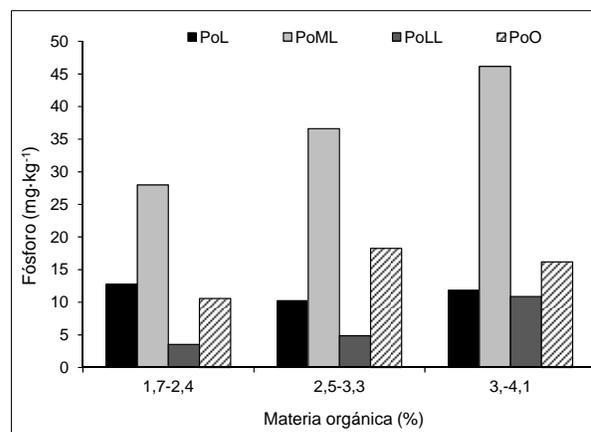
La fracción PoO fue menos abundante que PoL y PoML, pero más abundante que PoLL. El nivel más bajo de PoO,  $8,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , se encontró en el

intervalo de 45 a 50 años, esto es aproximadamente 2,1 veces más bajo que en los suelos con 15 o menos años de fertilización continua. Aparentemente el PoO tiende a ser menor con el tiempo de exposición en el suelo, posiblemente en beneficio de las fracciones lábiles.

El contenido de MO del suelo mostró una alta influencia sobre el comportamiento del PoML, el cual se incrementó en forma lineal con el aumento de la MO (Figura 2); los incrementos encontrados para PoLL fueron de menor magnitud que los correspondientes a PoML. Los datos sumados de las fracciones orgánicas moderadamente lábil y ligeramente lábil se ajustaron a una función lineal significativa ( $P \leq 0,05$ ) con la materia orgánica del suelo, resultando en la siguiente ecuación:

$$\text{PoLT} = 17,77 \text{ MO} + 17,19 ; R^2 = 0,957$$

El alto coeficiente de determinación obtenido (0,957) indica que los cambios en PoLT en el suelo se pueden explicar estrechamente con base al comportamiento de la MO. Una clara indicación de la importancia del manejo de los residuos de la cosecha para el mantenimiento de las formas de P orgánico lábiles.



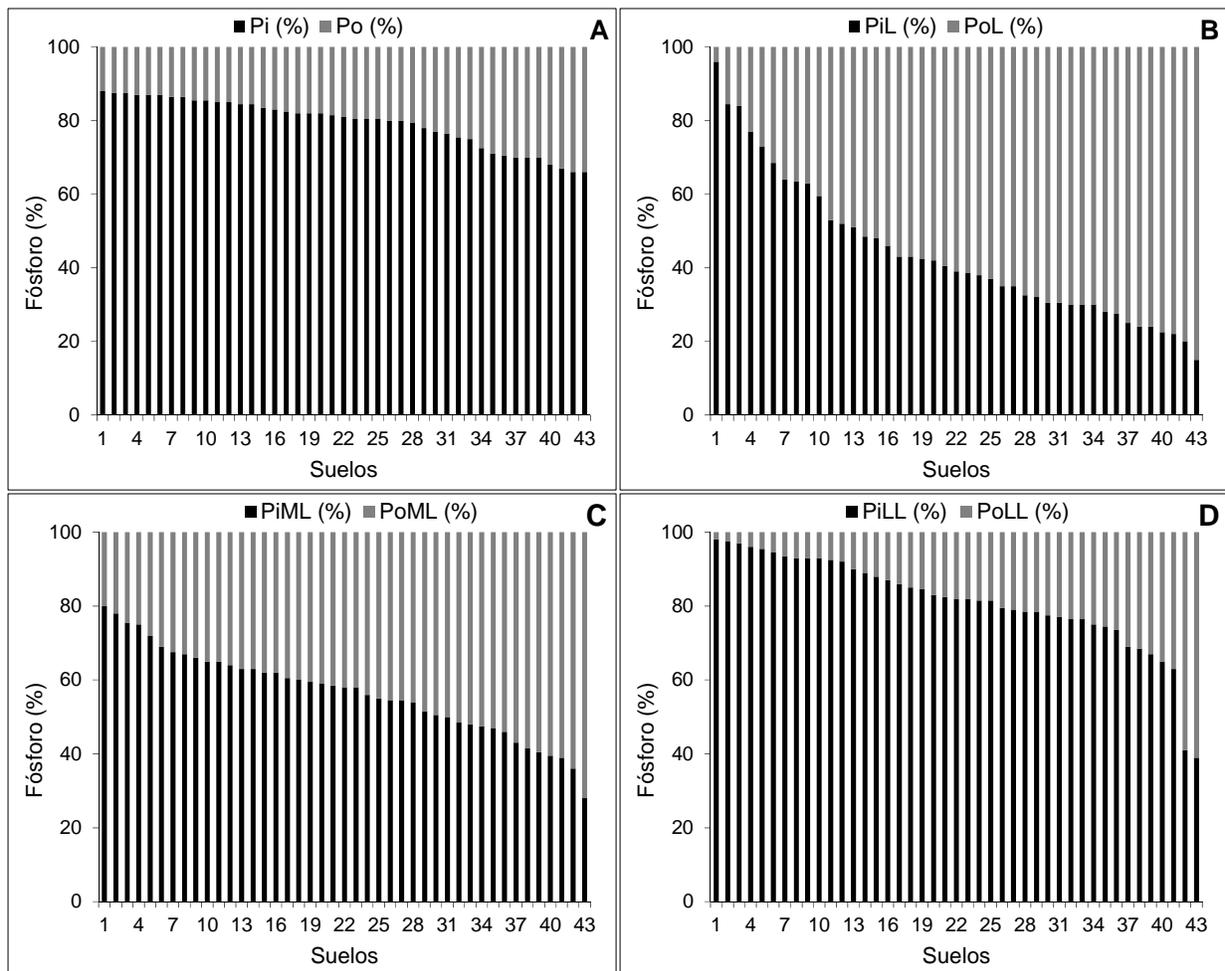
**Figura 2.** Fracciones de fósforo orgánico y materia orgánica en el suelo cultivado con arroz en el sistema de riego del Río Guárico

**Relación P orgánico y P inorgánico.** La variabilidad encontrada en las formas de Po en los suelos analizados podría atribuirse al distinto origen de los mismos, a las diferentes dosis de fertilizante aplicado en el tiempo y, sobre todo, al manejo de dicho fertilizante y de los residuos de la cosecha. Fernández y Turrión (2011) trabajando en un experimento de incubación con un Alfisol y

uno Ultisol señalaron que las fracciones de P variaban de acuerdo al suelo, fertilizante y enmienda aplicados.

Si se comparan los valores de las fracciones de Po con los valores de Pi obtenidos en estos mismos suelos (Subero et al., 2016) se obtiene que el Po fue de 2 a 7 veces menor que el Pi, y en 26 de los suelos estudiados el Po constituyó no más del 20 % del P total (Figura 3A). El bajo contenido de Po respecto al Pi coincide con lo reportado por Turner (2006) en suelos tropicales

de Madagascar donde el Po varió entre 7 y 29 %. La aplicación continua de fertilizante fosfatado puede ser una posible explicación para el predominio del Pi sobre el Po (Suñer et al., 2000; Carneiro et al., 2011). Takahashi y Anwar (2007) demostraron que la aplicación de fertilizantes fosfatados por 23 años, a un Andosol, resultó en una alta acumulación de Pi en el horizonte superficial, de 0-15 cm. Cross y Schlesinger (1995) en un suelo más pesado encontraron que el Pi alcanzó el 86 % del P total.



**Figura 3.** Relación entre P orgánico e inorgánico en un suelo cultivado con arroz en el sistema de riego del Río Guárico. A: total, B: fracción lábil, C: fracción moderadamente lábil, D: fracción ligeramente lábil. Las líneas horizontales señalan los promedios (continua: Po; intermitente: Pi). Los datos del P inorgánico provienen de Subero et al. (2016)

Otros autores, en el país, han publicado resultados comparables. Fernández y Turrión (2011) encontraron que el 35 % del fósforo en un suelo Ultisol correspondió al Po y 17 % en un Alfisol. Hernández y Bautis (2005) mostraron que

el 26 % del P total estaba bajo la forma orgánica en suelos de sabana, en cambio, en los suelos sembrados con pino el 32 % correspondió a Po.

La fracción de PoL fue más abundante en los suelos analizados que la de PiL (Figura 3B). En 30

de los 43 suelos, el PoL representó entre el 45 y 85 % del PLT, solo en 5 suelos el PoL fue menor al 30 % del PLT.

La fracción PiML fue más abundante que la fracción PoML (Figura 3C). En 40 de los 43 suelos analizados el PiML constituyó entre el 50 y 80 % del fósforo moderadamente lábil total. El predominio del PiLL sobre el PoLL fue más marcado que en el caso del PiML sobre el PoML, sólo en dos de los 43 suelos se encontró que el PoLL fue mayor al 50 % del fósforo ligeramente lábil total (Figura 3D). Según Bowman y Cole (1978) la mineralización del PoL es lenta y moderada; este comportamiento también es posiblemente válido para el PoML, por consiguiente, la liberación de P disponible de esta fracción sería más lenta que la que tiene lugar con el PiL. Sattell y Morris (1992) sugirieron que las fracciones de PoML y PiL contribuyeron significativamente a la absorción del P por *Setaria itálica* en un suelo Alfisol.

El efecto de diferentes coberturas vegetales sobre la distribución de las formas de P en el suelo fue estudiado por Turrión et al. (2007). Las fracciones orgánicas fueron menos afectadas por las coberturas que las inorgánicas, por lo que se sugiere que las fracciones PiR y PiL, reconocidas como disponibles por Hedley et al. (1982) y Tiessen y Moir (1993), podrían servir como indicadoras de la disponibilidad del P en el suelo debido a su sensibilidad a la cubierta vegetal y a su fácil determinación. Se conoce que las formas orgánicas de P en los suelos contribuyen significativamente al P disponible para la absorción por los cultivos (Ayodele y Agboola, 1983; Sharpley, 1985).

La información obtenida en el trabajo permite indicar que en los suelos bajo cultivo de arroz por varios años el porcentaje de la fracción PoL es más abundante que la PiL. Por el contrario, las fracciones PiML y PiLL fueron más frecuentes que las correspondientes PoML PoLL.

## CONCLUSIÓN

Se encontró que el PoL tiene un alto potencial como fuente de P disponible para la planta, mayor que el PiL. Ambas fracciones de P lábiles, junto con las moderadamente y ligeramente lábiles constituyen el reservorio de P que sería liberado a la solución del suelo en forma disponible a medida

que se va agotando por la absorción de la planta.

## AGRADECIMIENTO

Al FONACIT por el otorgar el financiamiento, al CDCH-UC, a la Asociación de Productores de Arroz del Estado Guárico por la ayuda durante el proceso de muestreo y a la Fundación Ciepe.

## LITERATURA CITADA

1. Ayodele, O. y A. Agboola. 1983. Evaluation of phosphorus in Savannah soils of Western Nigeria under bush fallow systems. *J. Agric. Sci.* 101: 283-289.
2. Beegle, D. y P. Durst. 2002. Managing phosphorus for crop production. Pennsylvania State University. University Park, PA. *Agronomy Facts* 13. 6 p.
3. Bowman, R. y C. Cole. 1978. Transformations of organic phosphorus substrate in soils evaluated by NaHCO<sub>3</sub> extraction. *Soil Sci.* 125: 49-54.
4. Carneiro, L., De R. Vilela, A. Furtini, J. Lopes, N. Curi, T. Pereira y R. L. do Valle. 2011. Fracoés de fósforo no solo em resposta á adubacao fosfatada em um latossolo com diferentes históricos de uso. *Rev. Bras. Ci. Solo* 35: 483-491.
5. Cross, A. y W. Schlesinger. 1995. A literature review and evaluation of the Hedley fractionation: applications to the biogeochemical cycle of soil phosphorus in natural ecosystems. *Geoderma* 64: 197-214.
6. Fernández, S. y M. Turrión. 2011. Fraccionamiento secuencial de fósforo en el suelo. Comparación de métodos. *Venesuelos* 19: 5-14.
7. Heanes, D. 1984. Determination of total organic C in soil by and improved chromic acid digestion and spectrophotometric procedure. *Soil Science Plant Analysis* 15: 1179-1213.
8. Hedley, M., J. Stewart y B. Chauhan. 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.
9. Hernández, I. y M. Bautis. 2005. Cambios en

- el contenido de fósforo en el suelo superficial por la conversión de sabanas en pinares. *Bioagro* 17(1): 69-78.
10. Murphy, J. y J. Riley. 1962. A modified single method for determination of phosphates in natural waters. *Anal. Chem. Act.* 27: 31-36.
  11. Picone, L. y E. Zamuner. 2002. Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 16: 11-15.
  12. Sánchez, P. y J. Salinas. 1981. Low-input technology for managing oxisols and ultisol in tropical America. *Adv. Agron.* 34: 279-406.
  13. Sattal, R. y R. Morris. 1992. Phosphorus fractions and availability in Sri Lankan Alfisols. *SSSAJ* 56: 1510-1515.
  14. Sharpley, A. 1985. Phosphorus cycling in unfertilized and fertilized agricultural soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 905-911.
  15. Subero, N., R. Ramírez, O. Sequera y J. Parra. 2016. Fraccionamiento de fósforo en suelos cultivados con arroz por largos períodos de tiempo. I Fósforo inorgánico. *Bioagro* 28(1): 13-20.
  16. Suñer, L., J. Galanti, R. Rosell y M. Chamodoira. 2000. 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: 113-119.
  17. Takahashi, S. y M. Anwar. 2007. Wheat grain yield, phosphorus uptake and soil phosphorus fraction after years of annual fertilizer application to an Andosol. *Field Crops Research* 101: 160-171.
  18. Tiessen, H. y J. Moir. 1993. Characterization of available P by sequential extraction *In: M. Carter (ed.). Soil Sampling and Methods of Analysis.* Canadian Society of Soil Science. Lewis Pub. Boca Raton, FL. pp. 75-86.
  19. Turner, B. 2006. Organic phosphorus in Madagascar rice soils. *Geoderma* 136: 279-288.
  20. Turrión, M., O. López, F. Lafuente, R. Mulas, C. Ruipérez y A. Puyo. 2007. Soil phosphorus forms as quality indicators of soils under different vegetation covers. *Science of the Total Environment* 378: 195-198.