
Efecto del uso de coberturas sobre las fracciones y disponibilidad del fósforo del suelo

Effect of cover crops on the fractions and availability of soil phosphorus

José Luís Juárez¹, Carmen Rivero², Jesús Rodríguez²

¹=FONDAFA, ²=Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV. E-mail: criver@ewinet.com

RESUMEN

El sistema de producción maíz-ganado es de utilización extendida en el estado Guárico, es un sistema altamente mecanizado aplicado en suelos susceptibles a la degradación, ello ha generado un deterioro de los mismos con la consiguiente disminución de la productividad. La instrumentación de sistemas agrícolas conservacionistas conlleva cambios en las principales propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Con el objetivo de determinar el efecto del uso de diferentes coberturas sobre las fracciones y la disponibilidad de P en un suelo (Entisol) bajo un sistema de producción Maíz-Pastos se condujo una experiencia ubicada en la estación experimental La Iguana, Santa María de Ipire del estado Guárico. El uso y evaluación de estas coberturas se realizó por aplicación de los siguientes tratamientos: Vegetación natural sin asociación de cultivos (SV, testigo); Vegetación natural con maíz, *Zea mays*, (VN); *Urochloa dyctioneura* con maíz (UD); *Centrosema macrocarpum* con maíz (CM). El fraccionamiento del P se realizó con el método de Hedley modificado. El efecto de las coberturas, a una misma profundidad, en la fracción disponible, no fue significativo, si lo fue en cambio en el caso del P orgánico e inorgánico moderadamente resistente, P altamente resistente, el P orgánico hidrolizable en ácido y P inorgánico ocluido en óxidos de Fe cristalino, y el P-residual. Los resultados obtenidos indicaron que, en general, el método de fraccionamiento usado permite diferenciar el efecto de los tratamientos evaluados sobre las fracciones de P.

Palabras Clave: Maíz-ganado, coberturas, fósforo, fraccionamiento, Guárico

ABSTRACT

The system of production corn-livestock is used widely in the state Guárico and it is a highly tillage system applied in susceptible soil to the degradation and therefore, it has generated a deterioration of the soil with the result of decrease of the productivity. The instrumentation of agricultural conservation systems produces changes in the main physical, chemical and biological properties of the soil. With the objective of determining the effect of the use of different cover crops on the fractions and the availability of P in a soil (Entisol) under a Corn-grasses system of production, it was carried out an experience located in the experimental station La Iguana, Santa María de Ipire, Guárico state. The following treatments were applied: natural vegetation without crop association (SV, Control); natural Vegetation with corn, *Zea mays*, (VN); *Urochloa dyctioneura* with corn (you); *Centrosema macrocarpum* with corn (CM). The P fractionation was realized with the method of Hedley modified. The effect of the cover crops, at the same depth, in the available fraction, was not significant, but it was in the the case of the organic and inorganic P moderately resistant, highly resistant P, the P organic hydrolyzable in acid and inorganic P ocluded in crystalline iron oxides, and the P-residual one. The results obtained indicated that, in general, the fractionation method used shows the differences between the treatments evaluated.

Key words: corn-livestock, cover crops

INTRODUCCIÓN

El sistema de producción maíz-ganado es de utilización extendida en el estado Guárico. Este sistema, altamente mecanizado, aplicado en suelos susceptibles a la degradación y lluvias con alto poder erosivo, ha generado un deterioro de los suelos que se ha reflejado en la disminución de la productividad del sistema (Bravo *et al.*, 1999). Como alternativa viable de manejo se ha considerado, el establecimiento de asociaciones de maíz (*Zea mays*), con pastos y leguminosas, utilizados como coberturas, en un sistema de siembra directa.

La instrumentación de sistemas agrícolas bajo coberturas, generan un incremento en la adición de residuos orgánicos al suelo, lo cual trae como consecuencia cambios en las principales propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo. Este aporte de residuos orgánicos, conformado principalmente por raíces y restos de biomasa aérea vegetal, constituye una fuente significativa de nutrientes y carbono orgánico que puede modificar sustancialmente las fracciones de los distintos elementos especialmente el fósforo en el suelo así como la velocidad de las transformaciones que ocurren entre dichas fracciones (Salas *et al.*, 2003).

Un esquema alternativo para el fraccionamiento de P fue desarrollado por Hedley *et al.* (1982). El objetivo de esta extracción secuencial fue cuantificar el fósforo orgánico (Po) disponible para la planta, el fósforo inorgánico (Pi) asociado al Ca, el asociado al Fe + Al, así como formas disponibles y más estables de Po con el uso de los siguientes extractantes: Las formas disponibles de Pi las cuales se piensa que consisten en Pi adsorbido en la superficie de compuesto cristalino de P, sesquióxidos o carbonatos (Fernald y Schlesinger, 1995) se extraen con resina y bicarbonato. El Pi asociado con algunos fosfatos cristalinos y amorfos de Fe y Al, el cual es extraíble con hidróxido, este posee menor disponibilidad para la planta (Marks, 1977). Una caracterización más precisa de estas formas de Pi normalmente no es disponible, dada la mezcla de compuestos que contienen Ca, Al, Fe, P y otros iones que predominan en los suelos (Sawhney, 1973). El Po disponible extraído con bicarbonato es fácilmente mineralizable y contribuye al P disponible para la planta (Bowman y Cole, 1978). Formas más estables de Po involucrados en las transformaciones de P en suelos a largo plazo, son extraídas con hidróxido (Batsula y Krivosova, 1973).

Por otra parte, la deficiencia de fósforo se ha convertido en uno de los problemas de mayor importancia en los suelos ácidos de la América Tropical. En Venezuela, particularmente, existe una significativa cantidad de suelos agrícolas con severos problemas de acidez por ello la incorporación anual de residuos orgánicos puede significar un aporte sustancial de P para el suelo. Se ha señalado cantidades incorporadas que alcanzan hasta 40 kg. P ha⁻¹ año⁻¹ en sistemas con rotación de cultivos bajo formas principalmente de carácter orgánicos, que luego son redistribuidas en fracciones o compartimientos de diversa reactividad química y biológica en el suelo (Vanlauwe *et al.*, 1988). El objetivo de este trabajo fue determinar las fracciones de P en un suelo bajo el uso de diferentes coberturas así como la disponibilidad de P en un sistema de producción Maíz-Pastos en un Entisol del sur del Estado Guárico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación forma parte del proyecto multidisciplinario intitulado "Alternativas para el mejoramiento de la productividad del sistema maíz-ganado en suelos del estado Guárico"; que desarrollan la Universidad Simón Rodríguez y la Universidad Central de Venezuela con el apoyo financiero del FONACIT. El ensayo está ubicado en la estación experimental La Iguana, en las sabanas del sur-oriental del Guárico, Santa María de Ipire del estado Guárico. La zona se encuentra a una altura entre 80 - 120 msnm, con una precipitación anual promedio de 1369 mm y una temperatura de 27,3°C, fertilidad moderada y relieve suavemente ondulado con pendientes de 2% (Matheus, 1987). El suelo corresponde a un Entisol representativo de la zona. Algunas propiedades físicas y químicas se observan en el Cuadro 1.

Las coberturas introducidas en la zona desde el año de 1999 fueron: *Urochloa dictyoneura* y *Centrosema macrocarpum*. El uso y evaluación de estas coberturas se realizó gracias al establecimiento de los siguientes tratamientos:

SV: Vegetación natural sin asociación de cultivos (testigo)

VN: Vegetación natural con maíz (*Zea mays*)

UD: *Urochloa dictyoneura* con maíz

CM: *Centrosema macrocarpum* con maíz

Cuadro 1. Principales características químicas iniciales en el suelo La Iguana

Características	Profundidad	
	0 – 5 cm	5 - 15 cm
pH (1:1)	5,17	5,04
C E ¹ (μs. cm-1)	22,42	13,20
C O ² (g.Kg-1)	7.1	4.6
P (mg.kg-1)	4,0	3,2
N-NH ₄ ⁺ (mg. Nkg-1)	22,1	14,3
N-NO ₃ ⁻ (mg.Nkg-1)	8,9	7,3
N total (%)	0,321	0,255
Clasificación Textural	a	a

Fuente: Bravo *et al.*, (2001)¹ = Conductividad eléctrica; ² = Carbono orgánico

Para la instalación del ensayo se realizó un estudio de variabilidad espacial, lo que permitió definir el diseño de parcelas grandes sin repeticiones (Machado, 2000); así como el número de muestras a estudiar, orientación y tamaño de las parcelas (Bravo *et al.*, 2001). Los muestreos se realizaron en tres épocas: Antes del corte de las coberturas, Durante la época de floración y Después del corte.

Las coberturas se cortan anualmente y mediante rotativa se distribuyen homogéneamente los residuos sobre el suelo, posteriormente se siembra el maíz (*Zea mays*). Ejecutada la siembra se aplica Paraquat, herbicida de contacto, y se fertiliza manualmente en bandas una semana después de haber germinado la semilla. Se aplica una mezcla de urea perlada mas fosfato diamónico y cloruro de potasio a razón de 120 Kg. N / ha - 90 Kg. P₂O₅ - 90 Kg. K₂O.

Para las evaluaciones del fósforo del suelo se tomaron 12 muestras al azar, por cada parcelas en julio de 2003, a las siguientes profundidades: De 0 - 5 cm y de 5 - 15 cm, y se conservaron bajo condiciones de refrigeración. Las muestras sin tamizar, húmedas (refrigeradas); fueron sometidas al método de fraccionamiento desarrollado por Hedley *et al.* (1982), modificado por Tiessen y Moir (1993) y ajustado por Salas *et al.* (2001). La determinación del P extraído se realizó según Murphy y Riley (1962). La información fue procesada estadísticamente con el programa Statistic (2003), se aplicaron mediante análisis de varianza y la comparación de medias, utilizando la prueba de Tukey para $P < 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fósforo disponible

Esta fracción fue evaluada a través de la adsorción de fósforo en membranas de intercambio aniónico, P-MIA, y la extracción con bicarbonato de sodio, P-NaHCO₃, (figura 1).

Las concentraciones promedio de fósforo (μg.g⁻¹) para las coberturas, a una misma profundidad, en la fracciones P-MIA y P-NaHCO₃ no fueron significativamente diferentes. Si se detectaron, en cambio diferencias altamente significativas con la modificación de la profundidad (figura 1). Las pruebas de medias según Tukey ($p < 0.05$), indicaron que las mayores concentraciones de P se observan en el horizonte superficial, 0 – 5, y las menores de 5 - 15 cm (figura 1).

Esto sería consecuencia, posiblemente, del tipo de manejo utilizado en este sistema durante cuatro años consecutivos, donde se cortan e incorporan las coberturas al suelo y se fertiliza posteriormente; esto trae como consecuencia una acumulación de P en los primeros centímetros del perfil del suelo en forma disponible.

En tal sentido, Selles *et al.* (1999) encontraron que el fósforo orgánico (Po) y el fósforo inorgánico (Pi) se distribuyen uniformemente en los primeros 6 cm del perfil y decrece significativamente ($p < 0.05$) a partir de dicha profundidad. Resultados similares señalan Zibilske, *et al.* (2002) al considerar los efectos de la

no labranza. Esto ha sido atribuido a que el P suministrado al suelo permanece prácticamente inmóvil, aseveración que algunos objetan en los últimos tiempos. Sin embargo es muy frecuente que se recomiende enterrar los abonos profundamente en la capa del suelo sometida a labores profundas y, eventualmente localizarlo próximo a la semilla. No obstante los resultados evidencian que luego de 4 años, no hubo un efecto importante reflejado de los pastos introducidos (UD y CM) sobre las fracciones de fósforo disponible en el suelo.

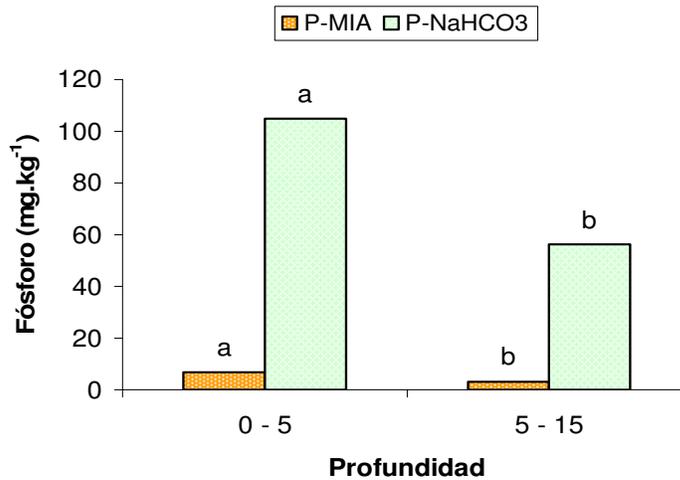


Figura 1. Efecto de la profundidad sobre el P disponible (barras con letras distintas indican medias estadísticamente diferentes para la misma variable a $p < 0,05$).

Fósforo orgánico e inorgánico moderadamente resistente ($P_0 - NaOH$ y $P_i - NaOH$)

Las concentraciones promedio de P ($\mu\text{g.g}^{-1}$) obtenidas en esta fracción para las distintas coberturas (figura 2), y para las diferentes profundidades (Figura 3) son estadísticamente significativas.

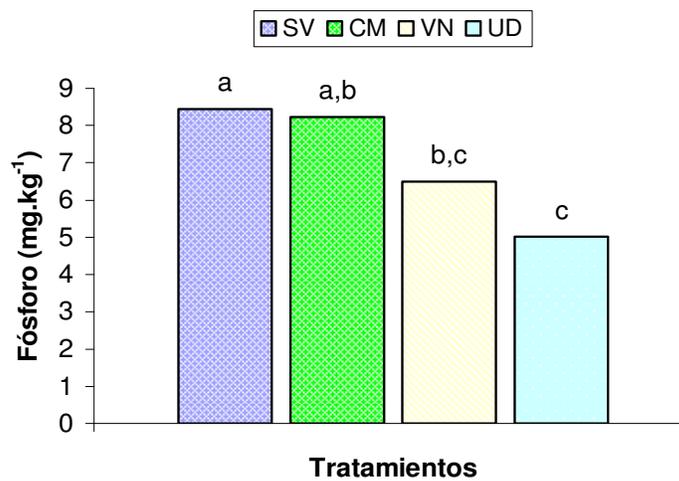


Figura 2. Efecto de los tratamientos sobre el P moderadamente resistente (barras con letras distintas indican medias estadísticamente diferentes a $p < 0,05$).

Las pruebas de medias, ($p < 0,05$), mostraron que la mayor concentración de P la presenta el tratamiento (SV), mientras la menor concentración se refleja en la cobertura (UD); de igual forma podemos apreciar que a la profundidad de 0 – 5cm se encuentra la mayor concentración de P y de 5 – 15 cm se ubica

la menor concentración de P (figura 3). Esto indica que se está produciendo una modificación de esta fracción por efecto de las coberturas. Sin embargo, llama la atención que la mayor concentración de P en esta fracción corresponde al tratamiento testigo (SV), esto parece vinculado a una modificación positiva de la sabana. Autores como Salas *et al.* (2003) sostienen que el aporte de residuos orgánicos al suelo, principalmente por raíces y restos de biomasa aérea vegetal, constituye una fuente significativa de nutrientes y carbono orgánico que puede modificar sustancialmente las fracciones de fósforo en el suelo y la velocidad de las transformaciones que ocurren entre dichas fracciones.

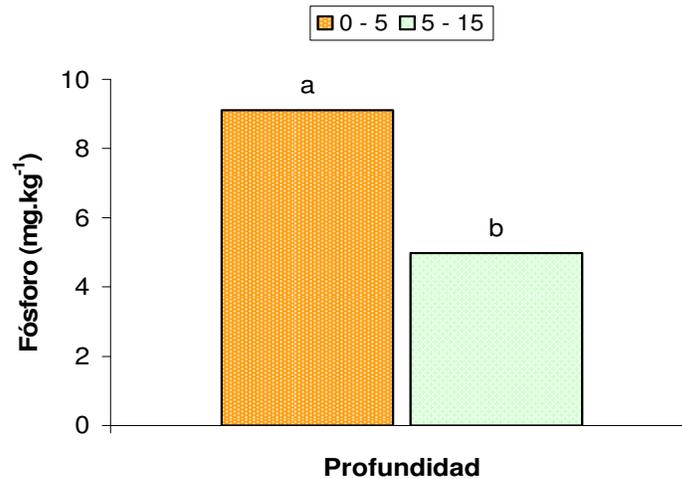


Figura 3. Efecto de la profundidad sobre el P moderadamente resistente (barras con letras distintas indican medias estadísticamente diferentes a $p < 0,05$)

Fósforo altamente resistente

P – HCl 1M

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las concentraciones de P ($\mu\text{g.g}^{-1}$) para ambos factores evaluados: Coberturas (figura 4) y profundidad (figura 5).

La mayor concentración de P se observa en el tratamiento (VN), mientras la menor concentración de P la presenta la cobertura (UD); para el caso de las profundidades, la mayor concentración de P se encuentra de 0 – 5 cm y la menor concentración de 5 – 15 cm en el perfil (figura 4 y 5).

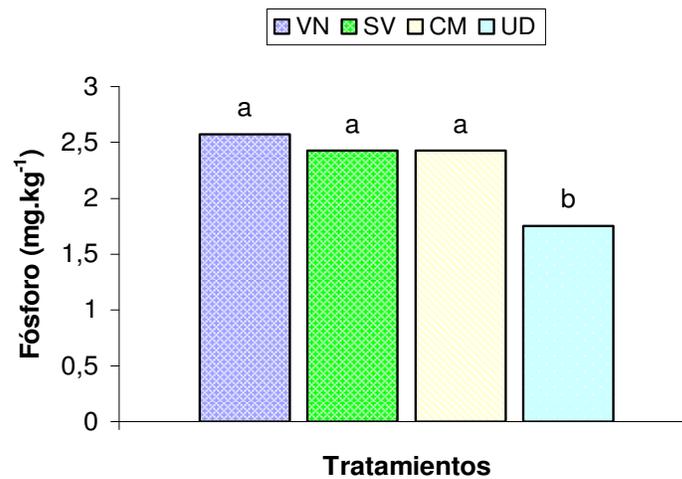


Figura 4. Efecto de los tratamientos sobre el P altamente resistente (HCl 1M) (barras con letras distintas indican medias estadísticamente diferentes a $p < 0,05$).

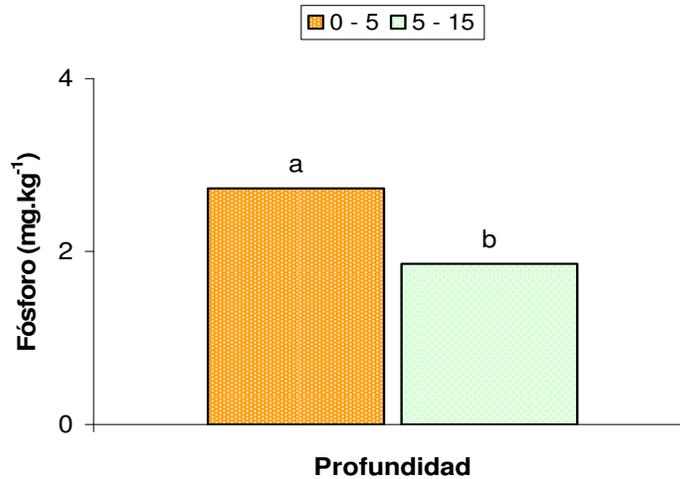


Figura 5. Efecto de la profundidad sobre el P altamente resistente (HCl 1M) (barras con letras distintas indican medias estadísticamente diferentes a $p < 0,05$).

Según, Lilienfein *et al.* (2000) en esta fracción se extrae el P asociado con compuestos de Ca y óxidos de Fe, y formas de Po y P ácido. Esto indicaría, o bien lo antes dicho, una respuesta positiva de la sabana ante el cambio de manejo, o que el tiempo durante el cual se han aplicado estos tratamientos no ha sido suficiente como para mostrar una modificación importante de esta fracción.

P - HCl Concentrado a 80 °C

Los resultados obtenidos son mostrados en las Figura 6 y 7. En esta fracción se extrae el Po hidrolizable en ácido y algún Pi ocluido en óxidos de Fe cristalino (Lilienfein *et al.*, 2000).

Según las pruebas de medias realizadas a coberturas y profundidades, arrojaron diferencias significativas ($p < 0.05$). La mayor concentración de P se observa en el tratamiento (VN), mientras la menor concentración se presenta en la cobertura (UD). En las profundidades encontramos, la mayor concentración de P de 0 – 5 cm y de 5 – 15 cm la menor concentración (figuras 6 y 7).

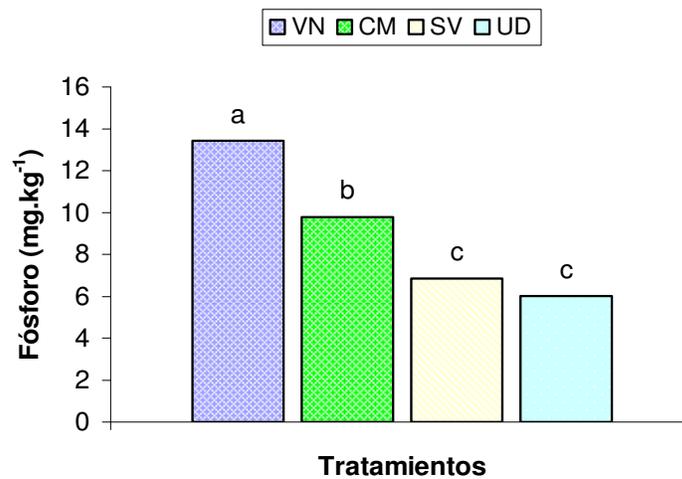


Figura 6. Efecto de los tratamientos sobre el P altamente resistente (HCl Concentrado) (barras con letras distintas indican medias estadísticamente diferentes a $p < 0,05$).

Esta fracción de P en el suelo incluye formas recalcitrantes, que parecen no ser afectadas rápidamente por el manejo, ni siquiera por el fertilizante (Ball-Coelho *et al.*, 1993); Pi estable ocluido disuelto en la solución de sesquióxidos. Po estable y Po de la materia orgánica particulada que no puede ser extraída en medio alcalino, pero que puede ser biodisponible, como consecuencia de procesos de carácter bioquímico básicamente (Tiessen y Moir, 1993). Parece hacerse consistente el hecho de que esto estaría vinculado al manejo que se ha introducido en la sabana natural e indica la transformación del P que proviene de la aplicación de fertilizantes; en fracciones poco disponibles para la planta (Friessen *et al.*, 1997; Zhang y Mackenzie., 1997).

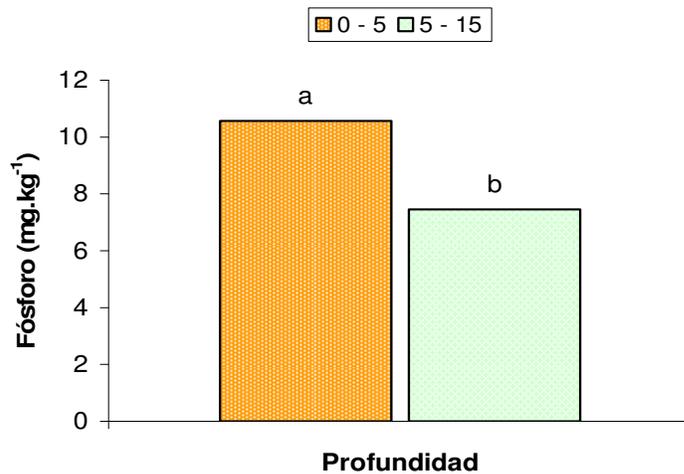


Figura 7. Efecto de la profundidad sobre el P altamente resistente (HCl Concentrado) (barras con letras distintas indican medias estadísticamente diferentes a $p < 0,05$).

Fósforo residual ($P - HClO_4 / HNO_3$)

Las pruebas de comparación de medias, aplicadas a datos normalizados, indicaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para los tratamientos, la cobertura (UD) presentó la mayor concentración y el tratamiento (VN) la menor concentración (figura 8).

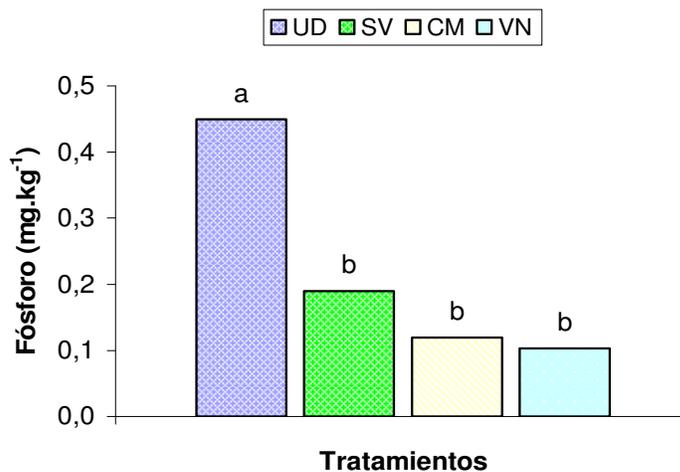


Figura 8. Efecto de los tratamientos sobre el P residual (barras con letras distintas indican medias estadísticamente diferentes a $p < 0,05$).

Estos resultados pudieran guardar relación con el alto nivel de extracción que se produce durante el proceso de digestión con reactivos altamente concentrados, aplicado a las muestras; ya que en esta fracción residual contiene el P más al recalcitrante del suelo, el ligado a ácidos húmicos por ejemplo (Stewart *et al.*, 1980). Según Lilienfein *et al.* (2000), esto puede ser explicado como el resultado de una merma en esta fracción y la subsiguiente transformación de P recalcitrante en otras formas de P en el suelo.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos indicaron que el método de fraccionamiento usado permitió diferenciar las distintas fracciones de fósforo en los tratamientos evaluados. La evaluación de fósforo disponible por el uso de MIA, indica que los tratamientos aplicados al suelo no han sido capaces, en el tiempo evaluado, de modificar dicha fracción. Por el contrario si fue posible detectar un efecto de tratamiento sobre otras fracciones componentes del fósforo total en este suelo.

Agradecimiento: Los autores desean expresar su agradecimiento a los miembros del proyecto multidisciplinario titulado "Alternativas para el mejoramiento de la productividad del sistema maíz --ganado en suelos del estado Guárico", llevado adelante con apoyo financiero del FONACIT, por el soporte brindado.

LITERATURA CITADA

- Ball – Coelho, B., I. H. Salcedo, H. Tiessen y J. W. B. Stewart.** 1993. Short – and long – term phosphorus dynamics in a fertilized Ultisol under sugarcane, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1027 – 1034.
- Batsula, A. A. y G. M. Krivosonova.** 1973. Phosphorus in the humic and fulvic acids of some Ukranian soils. *Soviet Soil Sci.*5:347-350
- Bowman, R.A. y C.V. Cole.** 1978. Transformations of organic Phosphorus substances in soils as evaluated by NaHCO₃ extraction. *Soil Sci.* 125: 49-54.
- Bravo C., R.M. Hernández, Z. Lozano, B. Moreno y L. Piñango.** 1999. Alternativas para el mejoramiento de la productividad del sistema Maíz-Ganado en los suelos del estado Guárico, Venezuela. 1er. Informe de Avance. 120 p.
- Bravo C., R.M. Hernández, Z. Lozano, B. Moreno y L. Piñango.** 2001. Alternativas para el mejoramiento de la productividad del sistema Maíz-Ganado en los suelos del estado Guárico, Venezuela. 2do. Informe de Avance. 206 p.
- Fernald, A y W. H. 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.
- Friesen, D. K., I. M. Rao, R. J. Thomas y A. Oberson.** 1997. Phosphorus acquisition and cyclin in crop and pasture systems in low fertility tropical soils. 196,289 – 294.
- Hedley, M. J., Stewart, J. W. B., Y Chauhan, B. S.,** 1982. Changes in inorganic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 970 - 976
- Lilienfein, J., W. Wilcke, M. Ayarza, L. Vilela, S. Lima, W. Zech.** 2000. Chemical fractionation of phosphorus, Sulphur, and molybdenum in Brazilian savannah Oxisol under different land use. *Geoderma* 96 (2000) 31 – 46.
- Machado, W.** 2000. Planificación y análisis de experimentos de campo en grandes parcelas sin repetición. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Revista de la Facultad de Agronomía. Alcance 59-73 p.
- Marks, G.** 1977. Beitrag zur präzisierten Charakterisierung Von pflanzen-verfügbarem Phosphat in Ackerböden. *Arch. Acker Pflanzenbau Bodenkd.* 21: 447-456.
- Matheus, R.** 1987. Los suelos de la estación experimental La Iguana. Tesis de Maestría, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela.199 p.
- Murphy, J. y J. P. Riley,** 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27:31-36.

- Salas A. M., E. T. Elliot, D. G. Westfall, V. C. Cole y J. Six.** 2003. The role of particulate organic matter in phosphorus cycling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 181-189 (2003).
- Salas A. M.** 2001. Phosphorus Cycling During Decomposition Of Plant Residues In Weathered Soils From The Tropics: Influence Of Plant Factors. Ph. D. Diss. Colorado State University, Fort Collins, Co. 250 p.
- Sawhney, B. L.** 1973. Electron microprobe analysis of phosphates in soils and sediments. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 37: 658-660.
- Selles, F., B. G. McConkey y C. A. Campbell.** 1999. Distribution and forms of P under cultivator- and zero-tillage for continuous- and fallow-wheat cropping systems in the semi-arid Canadian prairies. *Soil and Till. Res.* 51(1-2):47-59
- Statistis Program.** 2003. Versión 7.0 para Windows.
- Stewart, J.W.B., M.J. Hedley, y B.S. Chauhan.** 1980. The immobilization, mineralization and redistribution of phosphorus in soils.. *In* J.T. Harapiak (ed.) *Proc. Western Canada phosphorus symposium.* Alberta Soil Science Society, Edmonton, Canada. p. 276–306.
- Tiessen, H. y J. O. Moir.** 1993. Characterization of available P by sequential extraction in soil sampling and Methods of Analysis. Ed. M.R. Carter. P 75-86. Lewis Publ., Boca Raton, FL, USA.
- Vanlauwe, B., N. Sanginga y R. Merckx.** 1988. Recovery of leucaena and dactiladenia residue nitrogen -15 in alley cropping systems. *Soil Sci. Am. J.* 62: 454-460.
- Zhang, T.Q., y A.F. Mackenzie.** 1997. Changes of phosphorus fractions under continuous corn production in a temperate clay soil. *Plant Soil* 192:133–139.
- Zibilske, L. M., J. M. Bradford y J. R. Smart.** 2002. Conservation tillage induced changes in organic carbon, total nitrogen and available phosphorus in a semi-arid alkaline subtropical soil. *Soil and Till. Res.* 66(2):153-163.