

Fuentes de fósforo (P) más cachaza con y sin azotofos sobre el tenor de P disponible en el suelo

Phosphorus sources (P) plus filter pie with or without azotofos on the available P in the soil

Maikel Abreu Jiménez¹, Enrique Parets Selva¹, Leónides Castellanos González¹, Leandro Rosatto Moda², Renato de Mello Prado², Aida Margarita Romero Jiménez¹, Rene Cupull Santana³

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Cienfuegos, Cuatro Caminos, Carretera a Rodas Km 4, Cienfuegos, Cuba. CP 59430.

²Facultad de Ciencias Agrarias y Veterinarias, UNESP Campus Jaboticabal.

³Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV), Carretera a Camajuani km 5 ½, Santa Clara, Cuba

E-mail: majimenez@ucf.edu.cu

RESUMEN. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de cuatro fuentes de fósforo más cachaza con o sin el biofertilizante Azotofos sobre el fosforo disponible en el suelo en diferentes momentos después del tratamiento. Fue establecido un experimento en esquema factorial 4(2)+1 con cuatro fuentes de fósforo: roca fosfatada, fosfato natural, superfosfato triple y roca fosfórica cubana; dos fuentes del compuesto orgánico a base de cachaza enriquecida con microorganismos Azotofos, solo cachaza (sin enriquecimiento) y un tratamiento control (sin cachaza, ni abonado), con tres repeticiones. Las evaluaciones del tenor de P disponible (Bray-2) fueron realizadas a los 30, 60, 90, 120 y 150 días después de la instalación del experimento. El tenor de P (Bray-2) estuvo influenciado por las fuentes de P y el enriquecimiento con biofertilizantes (factorial) al aumentar el tenor de P disponible frente al control. El superfosfato triple promovió los mayores tenores de P en el suelo a los 60 y 90 días después de su aplicación, independientemente de la presencia o no del compuesto orgánico enriquecido con microorganismos solubilizadores de P, aunque este efecto no se mantuvo estable en el tiempo.

Palabras clave: Fuentes de fosforo, cachaza, biofertilizantes, fósforo asimilable.

ABSTRACT. The objective of the investigation was to evaluate the effect of four phosphorus sources plus filter pie with or without the biofertilizer Azotofos on the available phosphorus in the soil at different moments after the treatment. An experiment in factorial design 4(2)+1 was established, being the four phosphorus sources: rock phosphate, natural phosphate, triple phosphate and Cuban phosphoric rock; two sources of the organic compound to base filter cake enriched with Azotofos microorganisms, only filter cake (without enrichment) and a control treatment (without filter pie, neither Azotofos), with three repetitions. The evaluations of the tenor of available P (Bray-2) were carried out at the 30, 60, 90, 120 and 150 days after the installation of the experiment. The tenor of P (Bray-2) was influenced by the sources of P and the enrichment with biofertilizantes (factorial) increasing the tenor of available P in front of the control. The triple superphosphate promoted the higher tenors in P in the soil at 60 and 90 days after its application, independently of the presence or not of the organic compound enriched with P solubilizing microorganisms, although this effect didn't stay stable at the time.

Key words: Phosphorus source, filter cake, biofertilizers, assimilable phosphorus.

INTRODUCCIÓN

Debido a la baja movilidad del fósforo en el suelo y su baja concentración en la solución del mismo, los fertilizantes fosfatados aplicados terminan generando una elevada acumulación de ese elemento en la forma inorgánica, cuya disponibilidad depende fuertemente de la actividad microbiana. En este proceso biológico participan microorganismos solubilizadores del fosfato orgánico a través de la

exudación de enzimas como la fosfatasa ácida, la cual hidroliza P orgánico, o directamente, fosfatos inorgánicos por la acción de ácidos orgánicos. (Martínez *et al.*, 2006)

La adsorción de P en el suelo puede estar afectada por el tenor de materia orgánica, pH, tenor de calcio, hierro trivalente y aluminio; así como por el tiempo

de contacto entre el fertilizante y el suelo (Machado et al., 2011; Machado y Souza, 2012), lo que contribuye a que el nutriente sea limitante en la producción agrícola de los suelos tropicales, y se exija, normalmente, elevadas cantidades de fertilizantes fosfatados.

Al considerar que en estos suelos la eficiencia de la fertilización fosfatada es baja, nuevos estudios con fuentes de P y prácticas de manejo que incluyan la influencia de la M.O. en las disponibilidades de P son necesarios, a fin de obtener mayores índices de eficiencia de la fertilización fosfatada. (Matias, 2010)

MATERIALES Y MÉTODOS

Se condujo un experimento de laboratorio donde fue adoptado un diseño experimental en bloques completamente aleatorizados en esquema factorial $4 \times 2 + 1$, con tres repeticiones. Los tratamientos estuvieron constituidos por cuatro fuentes de P: fosfato de rocha (Araxá) (P_2O_5 total= 36 % de P_2O_5 soluble en ácido cítrico al 2 % = 4 %), fosfato natural reactivo (Bayóvar®) (P_2O_5 total= 29 % de P_2O_5 soluble en ácido cítrico al 2 % = 14 %), superfosfato triple (SFT) (P_2O_5 total= 45 % de P_2O_5 soluble en ácido cítrico al 2 % = 41 %) y roca fosfórica cubana (P_2O_5 total= 24 % de P_2O_5 soluble en ácido cítrico al 2 % = 6,5 %); y dos fuentes de compuesto orgánico a base de cachaza enriquecida con microorganismos y cachaza (sin enriquecimiento), más un tratamiento control (sin cachaza y fertilizantes). La unidad experimental estuvo compuesta de recipientes plásticos (200 mL) llenados con muestras de suelo, con los respectivos tratamientos.

Al compuesto orgánico fueron adicionadas todas las fuentes de P a la concentración 60 mg dm^{-3} de P soluble en ácido cítrico al 2 %.

El compuesto orgánico enriquecido fue obtenido a través del compostaje de la cachaza, con adición de biofertilizante que contenía microorganismos. El biofertilizante utilizado fue Azotofos a base de *Pseudomonas fluorescens* y *Azotobacter fluorescens* a 10^8 ufc mL^{-1} , obtenido en el Laboratorio Barajagua, Instituto de Investigaciones de Suelos y Fertilizantes de Cuba. Se utilizaron 10 g de biofertilizante de Azotofos añadido a 1 L de agua destilada e inmediatamente se procedió al

Muchos son los trabajos que comparan el efecto de diferentes fuentes de fósforo sobre el tenor de P en el suelo (Resende et al., 2006; Frandoloso et al., 2010; Silva et al., 2011) pero los resultados son escasos en cuanto a la influencias de estas fuentes combinadas con la cachaza enriquecida con biofertilizantes.

Al tener en consideración lo anteriormente planteado el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de cuatro fuentes de fósforo más cachaza con o sin el biofertilizante Azotofos sobre el fosforo disponible en el suelo, en diferentes momentos después del tratamiento.

enriquecimiento del compuesto orgánico (cachaza), al añadir el biofertilizante a base de 280 mL kg^{-1} de cachaza.

Los nutrientes de la cachaza de acuerdo con la metodología propuesta por Bataglia et al. (1983) eran (g kg^{-1}): N= 18; P= 12,1; K= 4,3; Ca= 96,4; Mg= 10,2; S= 3,4. Después del compostaje, la dosis del compuesto orgánico (cachaza) aplicada en los recipientes fue de $12,5 \text{ g kg}^{-1}$ de suelo, lo que correspondió a 25 t ha^{-1} .

En todos los tratamientos fueron aplicados de forma uniforme, nitrógeno (200 mg dm^{-3}), en forma de urea (45 % de N) y potasio (150 mg dm^{-3}), en forma de cloruro de potasio (60 % de K_2O). La humedad del suelo, durante todo el período del experimento, fue mantenida próxima a la capacidad de campo (80 %), con la adición de agua destilada.

Se realizaron muestreos a los 30, 60, 90, 120 y 150 días después de la instalación del experimento para determinar el tenor de P según Bray-2, conforme a la metodología de extracción propuesta por Bray y Kurtz (1945). Esta metodología es empleada en Cuba, en suelos con predominio de Ca, principalmente por su practicidad y bajo costo. (Broggi et al., 2010)

En este método se utilizó una solución extractora: de HCl $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ y NH_4F $0,03 \text{ mol L}^{-1}$, según los siguientes procedimientos de análisis: pesar 1 g de suelo para tubo de centrífuga con tapa de rosca; adicionar 7 mL de solución extractora; poner por 40 segundos en agitador horizontal; dejar en reposo

por 16 h; centrifugar a 2500 rpm durante 5 min. Posteriormente, conforme metodología descrita por Murphy y Riley (1962) fue determinado el tenor de P de suelo.

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza. Las medias fueron comparadas mediante el test de Tukey ($p < 0,05$) para lo cual se utilizó el programa estadístico ASISTAT. (Silva y Azevedo, 2009)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A los 30 días el tenor de P en el suelo, evaluado por el método Bray-Kurt, fue influenciado solamente por los tratamientos (factorial) comparados con el control (sin P y cachaza) (Tabla 1). A los 60 días fue verificado el efecto de los tratamientos (factorial) contra el control, pero se evidenció que los

tratamientos con diferentes fuentes de P, promovieron efectos distintos en cuanto al tenor de P en el suelo, con mayores valores referentes a los tratamientos con superfosfato triple (SFT) igual a $34,6 \text{ mg de } P_2O_5 \text{ } 100 \text{ g}^{-1}$ de suelo.

Tabla 1. Tenor de P disponible en suelo tratado con fuentes de P en presencia y en ausencia de compuesto orgánico enriquecido con biofertilizante en los diferentes momentos de evaluación después de instalado el ensayo

	30 días	60 días	90 días	120 días	150 días
Fuentes de P	-----mg P_2O_5 100 g ⁻¹ suelo-----				
Fosfato de Araxá	27,8	24,2 b	20,2 b	20,14	22,72 b
Fosfato Bayóvar®	27,3	25,4 b	20,2 b	20,34	23,01 b
Superfosfato Triple	29,0	34,6 a	28,3 a	27,51	36,62 a
Fosfato de Cuba	28,5	25,0 b	21,7 b	22,50	24,59 b
Compuesto orgánico					
Con enriquecimiento	28,5	28,1	23,2	22,72	23,59 b
Sin enriquecimiento	27,9	26,5	23,0	22,52	29,88 a
	Valores de F				
Fuentes de P(P)	0,46 ns	5,12 **	7,39 **	2,49 ns	15,74 **
Compuesto orgánico(C)	0,30 ns	0,52 ns	0,04 ns	0,00 ns	14,15 **
P x C	2,15 ns	0,60 ns	0,33 ns	1,03 ns	11,69 **
Factorial x control	109,80 **	25,25 **	48,54 **	15,22 **	45,05 **
Media del control	11,0 b	10,9 b	9,4 b	9,91 b	9,89 b
Media del factorial	28,2 a	27,4 a	21,8 a	22,62 a	23,53 a
CV (%)	10,2	20,8	14,9	25,07	16,48

ns= no significativo; * significativo al 5% de probabilidad; ** significativo al 1% de probabilidad. Medias seguidas por la misma letra en la columna no difieren entre sí para la prueba de Tuckey a 5%

90 días después de instalado el ensayo hubo diferencia entre los tratamientos (factorial) y el control, en cuanto al contenido de P. En este momento el tenor de P en el suelo fue afectado por el tipo de fertilizante fosfatado empleado, independientemente de que el compuesto orgánico fuera enriquecido o no con Azotofos. La mayor concentración de P fue obtenida al emplear el superfosfato triple con valor igual a $28,3 \text{ mg } P_2O_5 \text{ } 100 \text{ g}^{-1}$ de suelo, hecho que se asemeja a lo ocurrido a los 60 días.

ocurrieron donde se aplicó fosfato natural de Arad, de acuerdo con la menor solubilización de este fosfato natural.

Estos resultados están relacionados con una elevada solubilidad del superfosfato triple que es acidulado y favorece las respuestas inmediatas como ha señalado Matias (2010). Ernani *et al.* (2001) verificaron que los menores valores de P en el suelo

Otro factor que puede haber contribuido en los bajos tenores de P promovidos por los fosfatos naturales es el alto pH (6,9) del suelo en estudio. El comportamiento de los fosfatos naturales es diferente porque dependen primeramente de la solubilización, la cual es favorecida por el contacto con el suelo y por la presencia H^+ (He *et al.*, 1996). Según estos autores, el pH del suelo, especialmente de las microrregiones alrededor de los gránulos de fertilizantes, es uno de los parámetros con gran influencia en la disponibilidad de P para los vegetales, por su influencia sobre la disponibilidad de los fosfatos naturales.

En este sentido Ernani *et al.* (2001) verificó el efecto positivo del fosfato natural de Arad para aumentar el rendimiento de la materia seca del maíz en suelo no calcáreo (pH en H₂O = 4,7) con relación al suelo calcáreo (pH en H₂O = 5,7) debido probablemente a la mayor disolución del fosfato natural en condiciones de bajo pH.

A los 120 días los resultados fueron similares al de los momentos anteriores. El tenor de P en el suelo fue influenciado solo por los tratamientos (factorial) comparados con el control pero no hubo influencia del factor compuesto orgánico, fuentes de P y la interacción de ambos. 150 días posteriores al montaje del experimento se observa que nuevamente el tenor de P fue influenciado por los tratamientos comparado con el control pero los tratamientos con diferentes fuentes de P promovieron efectos distintos en cuanto al tenor, con mayores valores en los tratamientos con superfosfato triple (SFT), con diferencias respecto al resto de las fuentes. Además, existieron diferencias significativas para el compuesto

orgánico a favor de los tratamientos que no fueron enriquecidos con microorganismos y a la interacción de la cachaza con las fuentes de P.

En todos los momentos hubo superioridad del tenor de P en los tratamientos factoriales con respecto al control. Resultados semejantes fueron observados por Resende *et al.* (2006) que verificaron diferencia del tenor de P en el suelo entre la media del factorial y el control (sin P)

Al analizar la interacción entre las fuentes de P en presencia y ausencia de la cachaza enriquecida para las diferentes combinaciones, a los 150 días de instalado el ensayo (Tabla 2) se demuestra que hubo diferencias significativas entre el superfosfato triple sin enriquecimiento con respecto a los fosfatos de Araxá, Bayóvar y de Cuba que mantuvieron niveles de estabilidad durante el período. De igual forma, hubo superioridad de la combinación superfosfato triple no enriquecida con respecto a la enriquecida, pero no entre las combinaciones del resto de las fuentes.

Tabla 2. Tenor de P disponible por el método de Bray Kurt en suelo tratado para las combinaciones fuentes de P en presencia y en ausencia de compuesto orgánico enriquecido con biofertilizante a los 150 días después de instalado el ensayo

Fuentes de P	Con enriquecimiento mg P ₂ O ₅ 100 g ⁻¹ suelo	Sin enriquecimiento mg P ₂ O ₅ 100 g ⁻¹ suelo
Fosfato de Araxá	21,06 aA	24,38 bA
Fosfato Bayóvar [®]	20,42 aA	25,61 bA
Superfosfato Triple	25,41 aB	47,64 aA
Fosfato de Cuba	27,216aA	21,22bA

*Letras minúsculas desiguales indican diferencia estadística entre las columnas y letras mayúsculas desiguales indican diferencia estadística entre las filas

La poca efectividad manifiesta de los microorganismos en la liberación de P disponible del suelo en las variantes con cachaza enriquecida ocurre debido al hecho de que la cantidad de P solubilizado es suficiente para suplir las necesidades de esos organismos, pero insuficiente para promover aumentos significativos en la cantidad del elemento disponible para las plantas. (Richardson, 1994; Richardson, 2001)

El mayor tenor de P disponible en el suelo con el uso de superfosfato triple, en relación a los fosfatos naturales, se informa en la literatura en trabajos desarrollados con fosfato de Gafsa (Frandonoso *et al.*, 2010) y con fosfato de Arad. (Ernani *et al.*, 2001)

A pesar de los efectos beneficiosos de varios microorganismos capaces de mineralizar y/o solubilizar el P en el suelo, generalmente, sus números no son lo suficientemente altos para competir con otros organismos presentes en la rizósfera; por ello, el P liberado por esos microorganismos no es suficiente para la promoción del incremento de los tenores de P en el suelo. (Rodríguez y Fraga, 1999). Hay que seguir profundizando en la contradicción presentada a los 150 días cuando la mayor cantidad el P disponible fue en la combinación superfosfato triple con cachaza no enriquecida, lo cual pudo deberse al consumo de P por los microorganismos adicionados.

CONCLUSIONES

1. En todos los momentos de evaluación el tenor de P (Bray-2) estuvo influenciado por las fuentes de P y el enriquecimiento con biofertilizantes (factorial) al aumentar el tenor de P disponible frente al control.
2. El superfosfato triple promovió los mayores tenores de P en el suelo a los 60 y 90 días después de su aplicación, independientemente de la presencia o no del compuesto orgánico enriquecido con microorganismos solubilizadores de P, aunque este efecto no se mantuvo estable en el tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bataglia, O. C.; A. M. Furlani; J.P Teixeira; P.R. Furlani.; J.R. Gallo.: Métodos de análise química de plantas. Campinas: Instituto Agronômico, (Boletim Técnico, 78), 1983. 49 p.
2. Bray, R.H.; L.T. Kurtz.: Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59: 39-45, 1945.
3. Broggi, F.; F.J. Freire; M.B. Freire; C.W.A. Nascimento; A.C. Oliveira.: Avaliação da disponibilidade, adsorção e níveis críticos de fósforo em diferentes solos. *Revista Ceres* 57 (2): 247-252, 2010.
4. Ernani, P.R.; C. Steckling; C. Bayer.: Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25: 939-946, 2001.
5. Frandoloso, J.F.; M.C. Lana; S. Fontaniva; R. Czyzca.: Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. *Revista Ceres* 57, (5) 2010.
6. He, Z.L.; V. C Baligar; D.C. Martens; K.D. Ritchey; W.D. Kemper.: Factors affecting phosphate rock dissolution in acid soil amended with liming materials and cellulose. *Soil Science* 60: 1596-1601, 1996.
7. Machado, V.J.; C.H.E. Souza; B.B. Andrade; R.M.Q. Lana; G.H. Korndorfer.: Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. *Bioscience Journal* 27 (1): 70-76, 2011.
8. Machado, V.J.; C.H.C. Souza.: Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. *Bioscience Journal* 28 (1): 1-7, 2012.
9. Martínez, V.R.; M. Lopez; F.M. Brossard; G.G. Tejada; A.H. Pereira; Z.C. Parra; S.J. Rodríguez; A. Alba.: Procedimientos para el estudio y fabricación de Biofertilizantes Bacterianos. Maracay. Venezuela. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. (Serie B nº 11). 2006, 88p.
10. Matias, G.C.S.: Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010. 147p.
11. Murphy, J.; J.A. Riley.: A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 27 31-36, 1962.
12. Resende, A.V.; A. E. Furtini; V.M.C. Alves; J.A. Muniz; N. Curi; V. Faquin; D.I. Kimpara; J.Z.L. Santos; L.F. Carneiro.: Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30: 453-466, 2006.
13. Richardson, A.E.: Soil microorganisms and phosphorus availability. In: Pankhurst, C.E.; B.M. Doube; V.V.S.R. Gupta; P. R. Grace, P.R. (Ed.). Soil biota management in sustainable farming systems. Melbourne: CSIRO, 1994. p.50-62.
14. Richardson, A.E.: Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Australian Journal of Plant Physiology* 28: 897-906, 2001.
15. Rodriguez, H.; R. Fraga.: Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances* 17 (04/05): 319-339, 1999.

16. Silva, M.O.; N.P. Stamford.; L.B. Amorim; A.B. Almeida Junior; M.O. Silva.: Diferentes fontes de P no desenvolvimento do meloeiro e disponibilidade de fósforo no solo. *Revista Ciência Agronômica* 42 (32): 268-277, 2011.

17. Silva, F. A. S.; C.A.V. Azevedo.: Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. 7p.

Recibido: 15/11/2013

Aceptado: 16/01/2014