

Efecto de materiales orgánicos e inorgánicos sobre las fracciones de fósforo de un Oxisol de los Llanos Orientales colombianos

Effect of organic and inorganic materials on the phosphorus fractions of an oxisol of the Llanos Orientales (Colombia)

Martha Constanza Daza¹, Javier Giovanni Álvarez² y Leyla Amparo Rojas³

Resumen: Uno de los mayores problemas de la fertilidad de los suelos de los Llanos Orientales, en la Orinoquia colombiana, es la alta fijación del fósforo ocasionada principalmente por los compuestos presentes en su fracción arcilla. El uso de mezclas de materiales orgánicos y minerales puede ayudar a disminuir esta fijación, para lo que se utilizaron dos materiales orgánicos –gallinaza y compost– y dos materiales inorgánicos –cal y superfosfato triple (SPT)– y se estableció un total de 13 tratamientos dispuestos en bloques al azar y compuestos por las diferentes combinaciones entre fertilizantes minerales y orgánicos. La medición del fraccionamiento de P se hizo al momento de la siembra y a las 10 semanas de ésta, utilizando la secuencia propuesta por Hedley. Las variables de respuesta del experimento fueron el P disponible, biológicamente disponible, orgánico fácilmente mineralizable, inorgánico ligado a óxidos de Fe y Al, orgánico ligado a sustancias húmicas, inorgánico ligado al calcio y no disponible. Los valores más altos en todas las fracciones de P correspondieron a los tratamientos que combinan un material orgánico y un fertilizante mineral, mejorando la disponibilidad de P para las plantas. El uso de materiales orgánicos con fuentes minerales hizo disminuir la retención de P por parte de óxidos de Fe y Al, aumentando el P disponible en el suelo y el P total. No se logró modificar la cantidad inicial y la cantidad final de P no disponible, así como tampoco se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en esta fracción.

Palabras claves adicionales: Oxisol, gallinaza, fósforo, compost, Llanos Orientales

Abstract: One of the biggest problems for the fertility of the soils of the Llanos Orientales is the high fixation of phosphorus caused mainly by compounds presented in their clay fraction. The use of mixtures of organic materials and minerals can help to reduce this fixation, for that two organic materials (chicken manure and compost) and two inorganic materials (lime and super phosphate triple) were used. A total of thirteen treatments prepared at random blocks and composed by the different combinations among mineral and organic fertilizers were used. The measure of the fractions of P was made at the moment of the crop establishment and 10 weeks later, using the sequence proposed by Hedley. Response variables in the experiment were the available P, biologically available P, organic P easily mineralizable, inorganic P linked to oxides of Fe y Al, organic P linked to humic substances, inorganic P linked to calcium, and the non-available P. The highest values in all fractions of P corresponded to the treatments that combined an organic material and a mineral fertilizer improving the availability of P for the plants. The use of organic materials with mineral sources diminished the retention of P on the part of iron and aluminum oxides increasing the available P in soil and total phosphorus. It was not possible to modify the initial and final quantity of non-available P, neither found significant differences among treatments in this fraction.

Additional key words: oxisol, chicken manure, phosphorus, compost, Llanos Orientales

Fecha de recepción: 27 de febrero de 2006

Aceptado para publicación: 30 de noviembre de 2006

¹ Profesora, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá. e-mail: conidaza@hotmail.com

² Profesor asistente, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja. e-mail: jgalvarezh@gmail.com

³ Investigadora, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera (Colombia). e-mail: leylaamparorojas@yahoo.com

Introducción

LA DEFICIENCIA DE P EN LOS SUELOS del Trópico y Subtrópico es un problema de reconocida importancia, cuya magnitud constituye una de las limitantes de mayor trascendencia en la producción de los cultivos. Esta baja disponibilidad de P está asociada con el bajo contenido de P total, la alta estabilidad de los compuestos fosfatados del suelo, que implica baja solubilidad y, por tanto, débil liberación de formas disponibles para la planta, y la baja intensidad de la mineralización de los compuestos orgánicos fosfatados (Fassbender *et al.*, 1987).

La mayoría de los suelos presenta bajos contenidos de P total, que varían entre 200 y 2000 ppm. Su presencia tiende a disminuir con la profundidad y la edad del suelo. La diferencia de concentración de P entre un suelo y otro depende de la naturaleza del material parental, las condiciones mineralógicas, el estado de meteorización y de factores de manejo, como la fertilización (Burbano, 1989).

Las principales formas de fosfatos son la inorgánica y la orgánica. La principal fuente mineral es la apatita, que se encuentra en casi todas las rocas que forman los suelos. Este mineral sufre procesos de meteorización, dando lugar a compuestos de aluminio y hierro que se ligan a los iones fosfato (Teuscher, 1965 citado por Melo, 2000).

Los fosfatos inorgánicos en el suelo pueden ser clasificados en cuatro grupos principales: fosfatos de Ca, de Al, de Fe y ocluidos. En los suelos de alta evolución, como los Oxisoles, el P se encuentra unido al Fe y al Al y, por tanto, está menos disponible para las plantas (Fassbender, 1966). Algunos estudios de fraccionamiento de P en estos suelos (Benavides, 1977; Mejía, 1996) han mostrado que alrededor de 75% de este elemento se encuentra unido a óxidos e hidróxidos de Fe y Al, por lo que se han desarrollado varias técnicas para separar las diferentes formas de P del suelo, entre ellas se destaca la secuencia de fraccionamiento de Hedley para suelos altamente meteorizados.

Hedley *et al.* (1982) estudiaron los cambios en la fracción tanto orgánica como inorgánica del P en un suelo cultivado durante 65 años con trigo-trigo-barbecho, utilizando una técnica secuencial de P, de acuerdo con su disponibilidad y con la ventaja de separar el P orgánico del inorgánico. Esta técnica consiste en extraer el P inmediatamente disponible con una resina de intercambio aniónico, que representa las formas de P en la solución del

suelo y las que están adsorbidas por los coloides del suelo. Se utiliza además: NaHCO_3 0,5M para extraer el P orgánico e inorgánico biológicamente disponible; NaOH 0,1M para el P orgánico e inorgánico moderadamente disponible, es decir, aquél que está asociado con sustancias húmicas y compuestos de Fe y Al, respectivamente; HCl 1M para el P inorgánico asociado con minerales de Ca primarios y secundarios y, por último, H_2SO_4 concentrado para el P no disponible, en formas químicamente estables, ya sean orgánicas e inorgánicas.

La resina se comporta como una raíz, extrayendo el P inmediatamente disponible. Su gran ventaja es que el reactivo utilizado para la extracción no altera la naturaleza del suelo. La adsorción de P por la resina de intercambio es afectada directamente por las condiciones de humedad del suelo (Pampolino y Hatano, 2000).

Autores como Bowman y Cole (1978) estudiaron el fraccionamiento del P orgánico al adicionar tres enmiendas orgánicas y dos inorgánicas y encontraron que los abonos orgánicos incrementaron tanto las fracciones de P biológicamente disponible como las de P fácilmente mineralizable y las de P quimisorbido en todos los suelos estudiados. De acuerdo con Guggenberger *et al.* (1999), el P orgánico disponible es importante para su suministro en sistemas de cultivos en Oxisoles de pastos tropicales mejorados, particularmente el P asociado con los ácidos húmicos, que responde a cambios en el uso de la tierra en escalas relativamente cortas de tiempo.

Agbenin (1995) encontró que el P total se incrementa con la disminución del tamaño de partícula, siendo mayor en suelos arcillosos que en suelos francos y arenosos. Linqvist y Singleton (1997), con el método de Hedley en un Ultisol, encontraron que 37% del P que se adicionó en una primera aplicación evolucionó en 3 meses hacia P residual o resistente. Así mismo, el P inorgánico residual sirve para diferenciar Ultisoles de Oxisoles (López *et al.*, 2001).

Melo (2000) encontró que, al aplicar P en forma inorgánica a un Oxisol de los Llanos Orientales, su retención ocurría principalmente en los compuestos de Fe y Al y que los residuos vegetales y animales –como gallinaza– modificaban las fracciones de P en el suelo con respecto a su estado inicial, de tal forma que aumentaban en mayor proporción las formas disponibles.

Benavides (1963), citado por Mejía (1996), analizó las formas en que se encuentra el P en varios Oxisoles de

Carimagua (Meta) y halló que el P orgánico representaba la mayor parte de P total (54-75%), seguido en orden descendente por el fosfato de Fe soluble en medio reducido (11-34%), ligado a Fe (7-11%), el fosfato ligado a Al (0,9-1%) y finalmente el fosfato ligado al Ca, siendo esta fracción muy insignificante (0,6-0,8%).

Por esta razón, se debe conocer muy bien la forma en que se encuentran distribuidas las diferentes fracciones de P en el suelo para poder determinar acciones correctivas, destacándose entre éstas la aplicación de enmiendas compuestas por mezclas órgano-minerales (Melo, 2000), que pueden ayudar a disminuir la fijación de P por parte de la fracción arcilla de los Oxisoles e incrementar la disponibilidad de P en el suelo.

En este estudio se aplicaron diferentes combinaciones de compuestos orgánicos e inorgánicos, con el fin de determinar los cambios en las diferentes fracciones de P y así observar qué tratamientos favorecen la obtención de la mayor cantidad de P disponible para las plantas.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en los invernaderos del Centro de Investigación Tibaitatá de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), en Mosquera (Cundinamarca), situado a 2.543 msnm, con temperatura máxima entre 34 y 39 °C, mínima entre 10 y 15 °C y humedad relativa de 70%.

El suelo utilizado está clasificado como Inceptic Hapludox y se obtuvo en el piedemonte Llanero, en el Centro de Investigación La Libertad, Villavicencio (Meta), a 320 msnm, con temperatura promedio de 27

°C y humedad relativa entre 70% y 90%. Las muestras se tomaron a una profundidad de 20 cm; en la tabla 1 se presentan las principales propiedades físicas y químicas del suelo estudiado.

En el experimento se utilizaron dos abonos orgánicos: uno de origen animal, gallinaza secada al aire y proveniente de los galpones de Tibaitatá, con 15 semanas de compostaje y el otro de origen vegetal, compost de partes no comerciales –tallos, raíces– de flores, con incubación de 10 semanas; ambos abonos son productos residuales de la industria agropecuaria. Las principales características de los materiales orgánicos utilizados se presentan en la tabla 2.

Así mismo se utilizó un abono químico con 0,0089 g de P_2O_5 por cada 100 g de suelo (0,019 g de superfosfato triple por cada 100 g de suelo), con el fin de incrementar la cantidad de P total en el suelo y poder estimar las diferentes fracciones de P y la eficiencia del uso de los dos tipos de fertilizante. Debido a la acidez de este tipo de suelos, además de los anteriores fertilizantes se utilizó cal como enmienda con el fin de elevar el pH del suelo y favorecer el aumento de la concentración de iones en la solución del suelo y aumentar su disponibilidad para las plantas.

El suelo para estudio se secó al aire, se tamizó por malla de 4 mm y se colocó en bolsas negras de polietileno luego de su mezcla, tanto con los abonos orgánicos como con el abono químico y la cal (tabla 3), dando lugar a 13 tratamientos con 3 repeticiones cada uno. El total de 39 unidades experimentales se dispuso en el invernadero en bloques completamente al azar.

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del suelo utilizado, proveniente de los Llanos Orientales colombianos.

Textura	%	pH	mg · kg ⁻¹		cmol · kg ⁻¹							mg · kg ⁻¹					
	mo		P disponible	P total	Al + H	Al	Ca	Mg	K	Na	cic	S	B	Zn	Mn	Cu	Fe
FArA	2,96	4,7	0,69	65	2,2	2,0	0,12	0,07	0,05	0,07	4,51	6	0	0,5	2,4	1,1	140

FArA, franco arcillo-arenosa; mo, materia orgánica; cic, capacidad de intercambio iónico.

Tabla 2. Caracterización de los materiales orgánicos.

	pH	%											mg · kg ⁻¹					
		θw	mo	C	N	CaCO ₃	P	K	Mg	Ca	Na	S	B	Fe	Cu	Zn	Mn	C/N
c	7,0	34	62	12,7	34	32	0,7	2,6	0,8	11	0,5	1,0	72	6.680	63	254	642	12,7
g	8,7	35	63	12,3	35	34	6,0	4,6	2,2	10	0,4	0,5	54	6.560	180	2148	752	12,3

c, compost; g, gallinaza; θw, contenido de humedad; mo, materia orgánica.

Tabla 3. Tratamientos aplicados al suelo.

N°	Tratamiento	Cantidad de material (g por 100 g de suelo)				Aportes (g por 100 g de suelo)		
		Gallinaza	Compost	Cal	SPT	MO	CaCO ₃	P ₂ O ₅
1	Testigo	0	0	0	0	0	0	0
2	G	1,28	0	0	0	0,8	0,44	0,16
3	C	0	1,28	0	0	0,8	0,40	0,021
4	C + cal*	0	1,28	0,07	0	0,8	0,44	0,021
5	C + cal**	0	1,28	0,16	0	0,8	0,48	0,021
6	FQ	0	0	0	0,019	0	0	0,0089
7	FQ + cal*	0	0	0,81	0,019		0,44	0,0089
8	FQ + cal**	0	0	0,16	0,019	0	0,084	0,0089
9	Cal*	0	0	0,81	0	0	0,44	0
10	Cal**	0	0	0,16	0	0	0,084	0
11	G + FQ	0,64	0	0	0,019	0,4	0,22	0,17
12	C + FQ	0	0,64	0	0,019	0,4	0,20	0,03
13	C + FQ + cal***	0	0,64	0,07	0,019	0,8	0,24	0,03

G, gallinaza; C, compost; FQ, fertilizante químico; SPT, superfosfato triple; MO, materia orgánica.

* 12,3 t·ha⁻¹.

** 2,0 t·ha⁻¹.

*** 0,9 t·ha⁻¹.

Las variables de respuesta del experimento son las diferentes fracciones encontradas de P del suelo: P disponible –incluye el P absorbido por las plantas–, P biológicamente disponible, P orgánico fácilmente mineralizable, P inorgánico ligado a óxidos de Fe y Al, P orgánico ligado a sustancias húmicas, P inorgánico ligado a Ca y P no disponible u oculto; al momento de la siembra y 10 semanas después de ésta, utilizando la técnica de extracción de P desarrollada por Hedley (Hedley *et al.*, 1982). El análisis estadístico se realizó por medio de un análisis de varianza con una confiabilidad de 95%, utilizando la prueba de comparación de medias de Tukey.

Resultados y discusión

El suelo utilizado posee un horizonte superficial óxico, con características químicas que se resumen en un pH fuertemente ácido, bajos contenidos de materia orgánica, nitrógeno y bases intercambiables; todo esto debido a procesos de alta meteorización por efecto de intensas lluvias y altas temperaturas. La textura encontrada por el método de Bouyoucos fue franco arcillo-arenosa. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) con acetato de amonio a pH 7,0 mostró un valor sobreestimado al compararla con la CIC real –suma de bases más la acidez intercambiable–. Esta sobreestimación fue 83%, diferencia que indica la presencia de

minerales de arcilla de carga variable dependiente del pH, como la caolinita, típica de los Oxisoles.

Por otro lado, el P disponible por Bray II presentó un valor muy bajo, lo que indica que el suelo es pobre en este elemento por sus características pedogenéticas o, simplemente, porque es retenido por los minerales caoliniticos y/o por los óxidos e hidróxidos de Fe y Al.

En la tabla 2 se observa que tanto la gallinaza como el compostaje tienen características muy similares. El aporte de materia orgánica humificada por parte de los estiércoles y de los compost es bajo; por esta razón, estas enmiendas no pueden considerarse como una única fuente de materia orgánica y de N para los suelos, por su bajo aporte de sustancias húmicas. Por otro lado, la mineralización de estos abonos es muy rápida, a causa de su baja relación C/N, por lo que se ha sugerido que pueden aumentar o potenciar el efecto del fertilizante mineral y favorecer condiciones de sinergia (Burbano, 1998).

La magnitud del residuo fijo está relacionada con la materia prima utilizada, con el tiempo y las condiciones del compostaje. Los residuos fijos hallados fueron 37,3% para la gallinaza y 37,7% para el compost, valores cercanos a los encontrados por Narváez (1998) y Melo (2000), entre 35,5% y 36,7%. Es de destacar la va-

riación en la cantidad de P que presentan los materiales orgánicos, ya que es ocho veces mayor en la gallinaza que en el compost, por ser aquélla un derivado de origen animal con mayor proporción de este elemento.

Por el contrario, el contenido de Al es más bajo en la gallinaza que en el compost, condición que pudo intervenir en la disponibilidad de P. Cabe destacar que ambos materiales poseen contenidos altos de CaCO_3 , lo que puede enmascarar el efecto de acomplejamiento de Al que realiza la materia orgánica en la reducción de

fijación de P, por parte de óxidos e hidróxidos de Fe y Al presentes en suelos ácidos, ya que al incorporarse puede incrementar el pH más allá del punto isoeléctrico, cambiando la carga de los coloides de positiva a negativa.

En las figuras 1 y 2 se presentan las diferentes fracciones de P para todos los tratamientos en el momento de la siembra y 10 semanas después de ésta. Se puede observar para ambos momentos que los tratamientos que no llevan P, como el testigo, y aquéllos que llevan sólo cal o combinan el compost con la cal tienen mayor proporción de P no disponible, en tanto que en aquéllos con P inorgánico prevalece la fracción de P ligada a los óxidos e hidróxidos de Fe y Al. Los tratamientos que combinaron materiales orgánicos e inorgánicos mantuvieron en proporciones similares las fracciones de P disponible, de P inorgánico ligado a óxidos e hidróxidos de Fe y Al y de P asociado a sustancias húmicas.

Con respecto al P disponible a través del tiempo, en la figura 3 se observa que los tratamientos que no llevaban P obtuvieron los valores más bajos (< 20 ppm). Estos resultados permiten prever un muy bajo contenido de P en el suelo en estudio y que el suministro a las plantas no se garantiza con la adición de una enmienda que disminuya la fijación, sino que también es necesaria la aplicación de una fuente de P. Los tratamientos que llevaban P de forma inorgánica obtuvieron valores intermedios (200-400 ppm), sin diferencias significativas con el tratamiento que sólo llevaba gallinaza. Los tratamientos que combinaron materiales orgánicos y fertilizante mineral obtuvieron las más altas proporciones, sin diferencias significativas entre gallinaza y compost.

Los resultados destacan el papel importante que desempeña la materia orgánica en el desplazamiento de los fosfatos por los iones humatos, en el revestimiento de sesquióxidos por humus y en el suministro de P, que hace que no se alcance a fijar todo el P suministrado y quede en solución y fácilmente disponible para las plantas (Tisdale y Nelson, 1999).

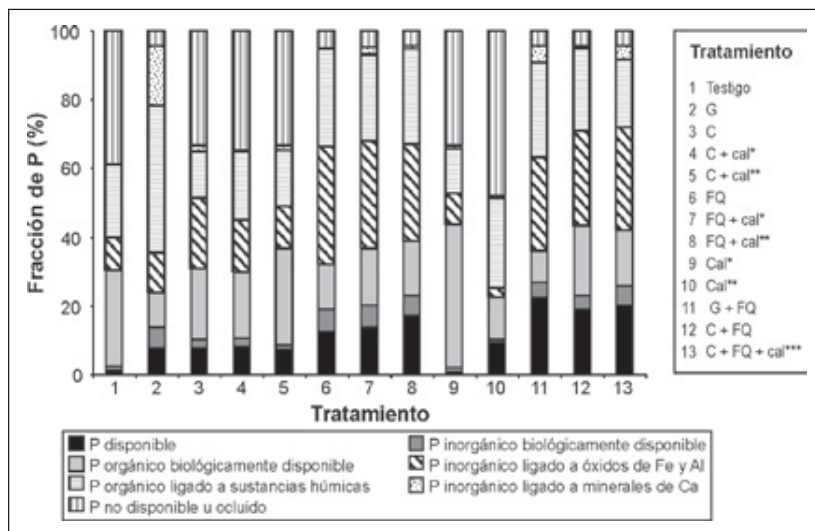


Figura 1. Efecto de la aplicación de materiales orgánicos e inorgánicos sobre las fracciones de P, expresadas en porcentaje, en un Inceptic Hapludox de los Llanos Orientales, al momento de la siembra. G, gallinaza; C, compost y FQ, fertilizante químico.

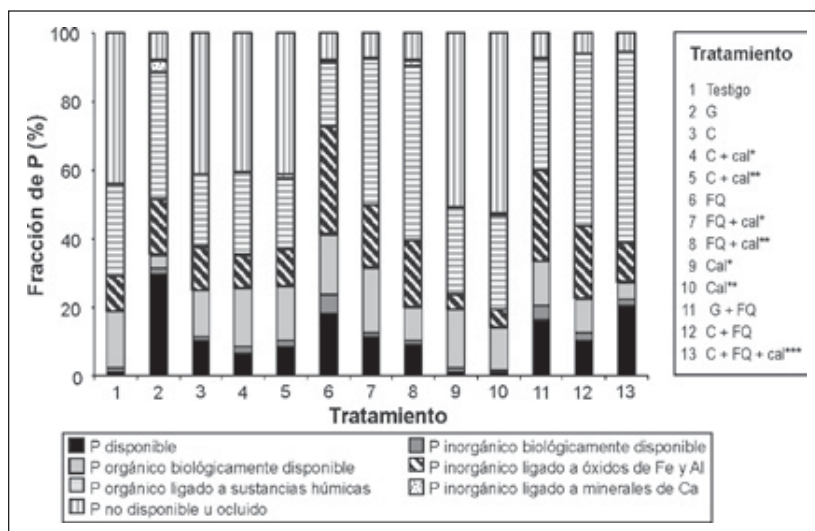


Figura 2. Efecto de la aplicación de materiales orgánicos e inorgánicos sobre las fracciones de P, expresadas en porcentaje, en un Inceptic Hapludox de los Llanos Orientales, 10 semanas después de la siembra, en la cosecha. G, gallinaza; C, compost y FQ, fertilizante químico.

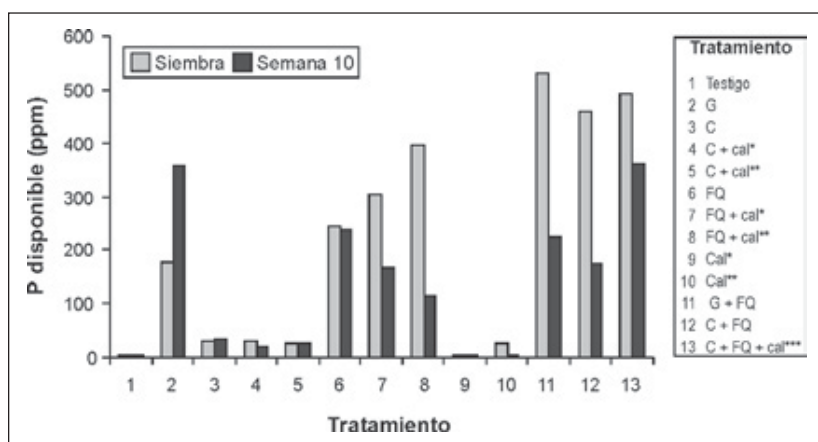


Figura 3. Fracción de P disponible extractada con resina en un Inceptic Hapludox bajo la aplicación de materiales orgánicos e inorgánicos en los Llanos Orientales, al momento de la siembra y 10 semanas después, en la cosecha. G, gallinaza; C, compost y FQ, fertilizante químico.

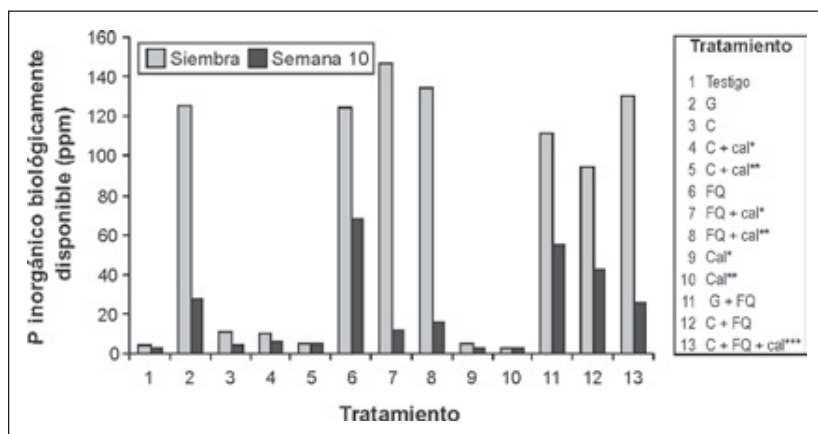


Figura 4. Fracción de P inorgánico biológicamente disponible en un Inceptic Hapludox bajo la aplicación de materiales orgánicos e inorgánicos en los Llanos Orientales, al momento de la siembra y 10 semanas después, en la cosecha. G, gallinaza; C, compost y FQ, fertilizante químico.

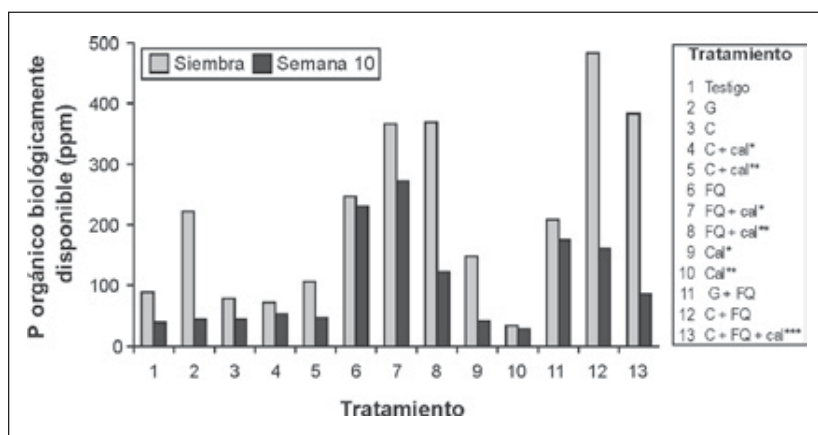


Figura 5. Fracción de P orgánico biológicamente disponible en un Inceptic Hapludox bajo la aplicación de materiales orgánicos e inorgánicos en los Llanos Orientales, al momento de la siembra y 10 semanas después, en la cosecha. G, gallinaza; C, compost y FQ, fertilizante químico.

En cuanto al P, tanto orgánico como inorgánico, extraído con NaHCO_3 e identificado como P biológicamente disponible (figuras 4 y 5), los tratamientos que no llevaban P mostraron los valores más bajos y no evidenciaron diferencias significativas entre sí, mientras que los tratamientos que mezclaron enmiendas orgánicas y fertilizantes químicos fueron los que presentaron valores más altos (entre 19% y 22% del P total).

Estos valores bajos se deben a que, además de que los tratamientos no suministraron P, el suelo posee muy poca cantidad en forma disponible que pueda ser extraída con NaHCO_3 , ya que la mayor parte del elemento se ha removido con la resina Dowex; del mismo modo se puede decir que, a causa de las condiciones naturales que permitieron la génesis de estos suelos, la cantidad de materia orgánica y de acumulación y recirculación de ésta no favorecieron una actividad microbiana lo suficientemente amplia para que hubiera cantidades importantes de P en el suelo (Zibilske *et al.*, 2003).

Por otro lado, los valores más altos los obtuvieron los tratamientos que combinaron materiales orgánicos e inorgánicos, sin mostrar ninguna diferencia significativa con los tratamientos que sólo utilizaron la fuente mineral. La tendencia de los tratamientos se conserva en el tiempo, aunque sus valores numéricos se ven disminuidos por la extracción que realiza el cultivo (figuras 1 y 2).

En cuanto al P ligado a sesquióxidos de Fe y Al (figura 6), se encontraron proporciones bajas para los tratamientos que no aportaron P. Sin embargo, los tratamientos que llevaban fertilizante mineral, así como los que combinaron orgánico más mineral, obtuvieron los valores más altos (600 ppm) sin diferencia significativa entre ellos. En el tiempo las proporciones se man-

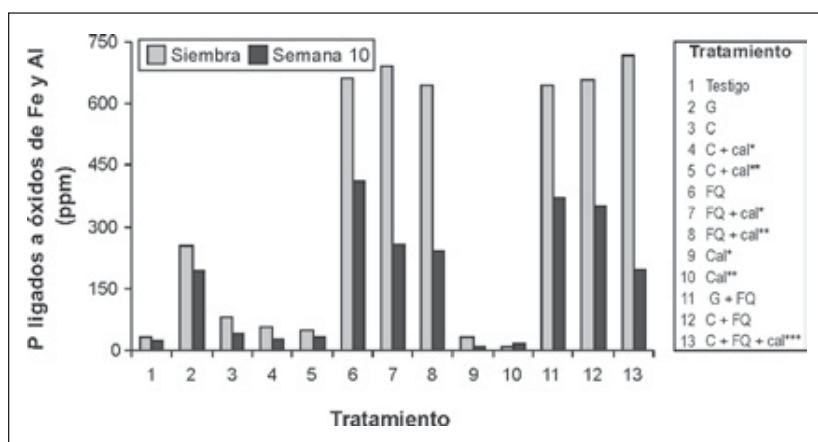


Figura 6. Fracción de P ligado a óxidos de Fe y Al en un Inceptic Hapludox bajo la aplicación de materiales orgánicos e inorgánicos en los Llanos Orientales, al momento de la siembra y 10 semanas después, en la cosecha. G, gallinaza; C, compost y FQ, fertilizante químico.

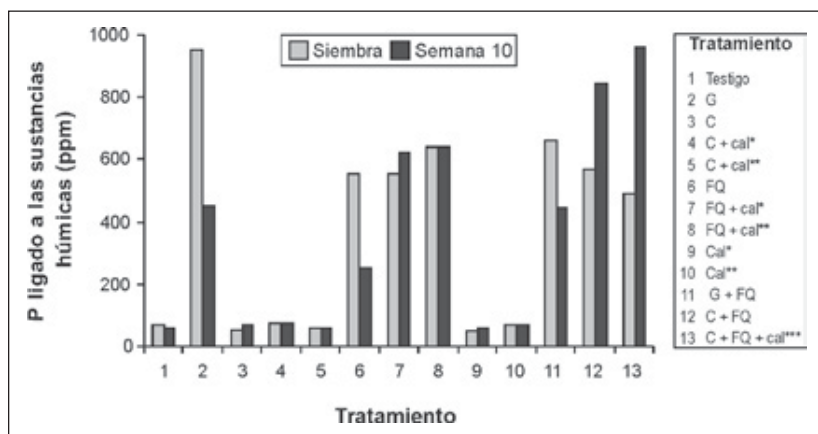


Figura 7. Fracción de P ligado a las sustancias húmicas en un Inceptic Hapludox bajo la aplicación de materiales orgánicos e inorgánicos en los Llanos Orientales, al momento de la siembra y 10 semanas después, en la cosecha. G, gallinaza; C, compost y FQ, fertilizante químico.

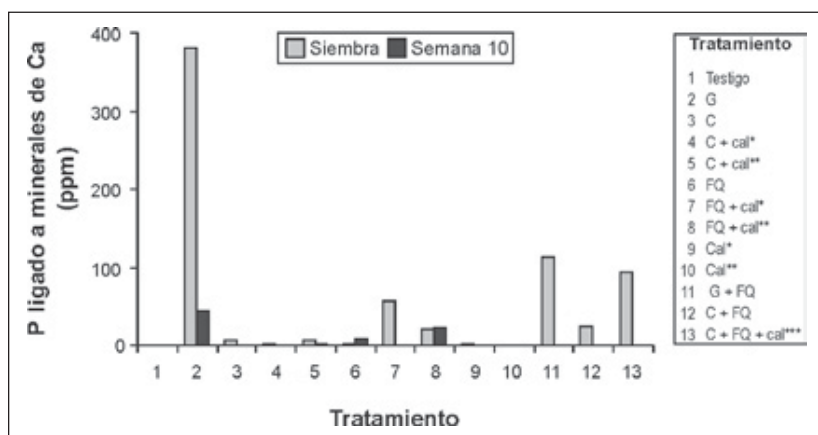


Figura 8. Fracción de P ligado a minerales de Ca en un Inceptic Hapludox bajo la aplicación de materiales orgánicos e inorgánicos en los Llanos Orientales, al momento de la siembra y 10 semanas después, en la cosecha. G, gallinaza; C, compost y FQ, fertilizante químico.

tuvieron, aunque los valores numéricos disminuyeron en promedio 300 ppm.

Además, los tratamientos en los que se presentó una mayor cantidad de P ligado a los óxidos de Fe y Al llevaban fertilizante químico (tratamientos 6-8 y 11-13), por lo que puede decirse que al aplicar el fertilizante químico sin mezclarlo con un abono orgánico la eficiencia del P disponible se ve reducida, debido a que gran parte del P aplicado queda ligado a los sesquióxidos presentes en el suelo, lo que concuerda con lo encontrado por Melo (2000).

Es de resaltar que la fracción de P ligado a las sustancias húmicas (figura 7) fue mayor para el tratamiento que llevaba gallinaza (T2) y significativamente diferente con los demás tratamientos. La cal disminuyó el P orgánico, con respecto al testigo; esta disminución también fue encontrada por Melo (2000), quien estudió el efecto de la cal en un Oxisol y encontró un aumento en la disponibilidad de P, debido a la mineralización de P orgánico del suelo.

Al pasar las 10 semanas de estudio, los tratamientos que contenían materiales orgánicos fueron incrementando con el tiempo la fracción de P orgánico del suelo, por lo que se puede decir que ocurrió una liberación lenta de P por parte de los materiales orgánicos adicionados.

El P ligado a los minerales primarios y secundarios de Ca (figura 8) fue la fracción más baja en todos los tratamientos debido a la ausencia del elemento en el suelo por causas pedogenéticas. A los 70 d de iniciado el experimento, las proporciones mostraron la misma tendencia, pero con valores mucho menores que al momento de la siembra a causa de la extracción de Ca realizada por el cultivo.

Al analizar el P no disponible u ocluido (figura 9), no se encontraron diferencias

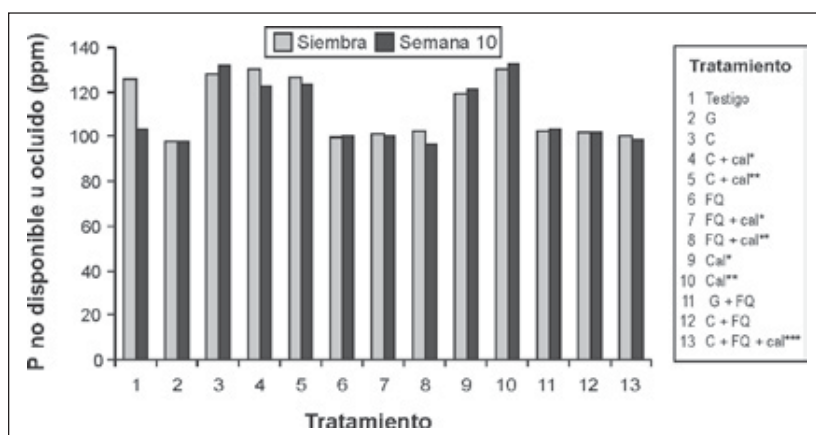


Figura 9. Fracción de P no disponible u ocluido en un Inceptic Hapludox bajo la aplicación de materiales orgánicos e inorgánicos en los Llanos Orientales, al momento de la siembra y 10 semanas después, en la cosecha. G, gallinaza; C, compost y FQ, fertilizante químico.

significativas ni entre tratamientos ni en el tiempo, lo que indica que es muy difícil cambiar la proporción en este tipo de suelos y que el suministro de P por esta fracción es pobre. Así mismo, al ser esta fracción no disponible, la extracción del P por parte de las plantas se dificulta y, por ello, las cantidades medidas no cambian en el tiempo.

En general, se puede decir que la aplicación de la mezcla de materiales orgánicos junto con fertilizantes químicos aumentó las fracciones de P en el suelo, incrementó la presencia de carbonatos de Ca, que ayudan a elevar el pH y precipitan el Al, al mismo tiempo que aumentó la actividad de los microorganismos, importantes en los procesos de mineralización e inmovilización del P.

Conclusiones

- La aplicación de materiales orgánicos, como gallinaza y compost, junto a fertilizantes químicos aumentó significativamente la cantidad de P disponible, y este incremento permaneció hasta el momento de la cosecha.
- La mezcla de gallinaza, compost, fertilizante químico y cal aumentó la proporción orgánica, explicada por un aumento de la mineralización de la materia orgánica, aporte de P orgánico al suelo e incremento de la actividad microbiana.
- La aplicación de mezclas de materiales orgánicos junto con fertilizantes químicos aumentó significativamente las fracciones de P en el suelo.
- La aplicación de fertilizantes químicos u orgánicos, o su mezcla, no afectó la cantidad de P ocluido.

Literatura citada

- Agbenin, H. 1995. Phosphorus forms in particle size fractions of a toposequence from Northeast Brazil. *Soil Sci. Soc. Am.* 59, 1687-1693.
- Benavides, G. 1977. Fraccionamiento de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas del departamento de Nariño. *Suelos Ecuatoriales* 8, 247-259.
- Bowman, R.A. y Cole, C.V. 1978. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Sci.* 125 (2), 95-101.
- Burbano, H. 1989. El suelo: una visión sobre sus componentes bioorgánicos. Universidad de Nariño, Pasto. pp. 335-361.
- Burbano, H. 1998. Las enmiendas orgánicas. En: Guerrero R. (ed.). *Fertilización de cultivos en clima frío. Monómeros Colombo-Venezolanos*, Bogotá. pp. 363-403.
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica]. sf. Procedimiento analítico del laboratorio de suelos. Tomos I y II. Centro de Investigación Tibaitatá, Mosquera (Colombia).
- Fassbender, H. 1966. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. *Fito-tecnia Latinoamericana* 3(1-2), 203-216.
- Guggenberger, G., L. Haumaier, R. Thomas y W. Zech. 1999. Assessing the organic phosphorus status of an oxisol under tropical pastures following Savanna, using ^{31}P NMR spectroscopy. En: Thomas, R. y M. Ayarza (ed.). *Sustainable land management for the oxisols of the Latin American savannas*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali (Colombia).
- Hedley, M., W. 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.* 46, 970-976.
- Linquist, B. y P. Singleton. 1997. Inorganic and organic phosphorus dynamics during a build-up and decline of available phosphorus in Ultisol. *Soil Sci.* 162(4), 254-263.
- López, F., C. Vásquez, S. Dalurzo y C. Humberto. 2001. Fracciones de fósforo y sus relaciones taxonómicas con suelos subtropicales. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes (Argentina).
- Mejía, L. 1996. Génesis y características de los Oxisoles y suelos óxicos de los Llanos Orientales de Colombia y su relación con la fertilidad. *Suelos Ecuatoriales* 26(1), 7-32.
- Melo, J.G. 2000. Efecto de la aplicación de materiales orgánicos sobre la dinámica del fósforo en un Oxisol. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 97 p.
- Narváez, C. y L. Rojas. 1998. Retención de aluminio por materiales orgánicos y efecto de estos sobre un cultivo de maíz. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Pampolino, M. y R. Hatano. 2000. Comparison between conventional soil tests and the use of resin capsules for measuring P, K, and N in two soils under two moisture conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46(2), 461-471.
- Tisdale, S. y W. Nelson. 1999. *Soil fertility and fertilizers*. 6th edition. Prentice Hall Inc.
- Zibilske, L.M. y J.M. Bradford. 2003. Tillage effects on phosphorus mineralization and microbial activity. *Soil Science* 168(10), 677-685.