

Fracciones de fósforo en suelos del Valle del Cauca con diferentes sistemas de cultivo de café

Phosphorus fractions in soils of the Valle del Cauca under different coffee crop systems

Diana Milena Mejía Umaña*, Diego Iván Ángel Sánchez[†], y Juan Carlos Menjivar Flores[‡]

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, AA. 237. Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

*Autor para correspondencia: dmmejiau@unal.edu.co; †dangels@unal.edu.co; ‡jcmenjivarf@unal.edu.co

Rec.: 24.03.11 Acept.: 29.11.11

Resumen

El trabajo tuvo como objetivo evaluar la influencia de los sistemas de siembra de café: orgánico, convencional y orgánico-mineral, sobre las fracciones de fósforo (P) en suelos del departamento del Valle del Cauca, Colombia. Las mediciones por fraccionamiento secuencial adaptado se hicieron en el Laboratorio de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). El análisis estadístico se ajustó a un modelo de diseño completamente aleatorio en un arreglo en parcelas divididas con tres tratamientos y tres repeticiones. Los resultados mostraron que los contenidos de las fracciones orgánica de P disponible y P moderadamente disponible variaron ($P < 0.05$) entre los sistemas de manejo orgánico y el convencional, este último, presentó los valores más bajos. El sistema orgánico-mineral mostró los mayores contenidos de P orgánico e inorgánico, y el sistema convencional presentó los valores más bajos de ambas fracciones de P. La fracción de P no-disponible fue más alta en los sistemas orgánicos comparado con el sistema convencional, mientras que en el sistema orgánico mineral se encontraron diferencias ($P < 0.05$) con respecto a los restantes sistemas. El P total mostró un comportamiento similar al de las fracciones. Los bajos contenidos de P en el sistema convencional se deben, posiblemente, a prácticas de manejo, como el uso de fertilizantes de síntesis química, la siembra a libre exposición en monocultivo y la ausencia de coberturas entre plantas.

Palabras clave: Cultivo de café, fraccionamiento de fósforo, sistemas de cultivo, suelos con influencia volcánica.

Abstract

This study was conducted to evaluate the response of planting coffee under different cropping systems: organic, conventional and organic-mineral, on soil phosphorus fractions with volcanic influence in the department of Valle del Cauca (Colombia) coffee growing zone. Sequential fractionation methodology adapted by the International Center of Tropical Agriculture was used. The statistical analysis consisted of a Complete Randomized Block Design under a split plot arrangement with three treatments and three replications. The results showed that contents of the organic fraction of available P and the moderately available P showed significant differences among the systems in which organic and conventional management was included, in which the conventional system had the lowest values. The organic-mineral system showed the highest contents of organic and inorganic phosphorus and the conventional system showed the lowest for these fractions of P. For the non available P fraction, it was found that organic systems had higher P content than the conventional system and, the organic-mineral system

showed significant differences with respect to the rest. The total P showed a similar pattern to the fractions described. The low content in the conventional system can be explained by specific aspects of management such as the use of synthetic chemical fertilizers, planting without shade in monoculture and lack of soil coverage between plants.

Key words: Coffee crop, cropping systems, phosphorus fractions, soils with volcanic influence.

Introducción

El fósforo (P) es un elemento químicamente muy reactivo en la naturaleza y se encuentra en más de 170 compuestos minerales que varían ampliamente en su solubilidad, ya que naturalmente evolucionan en el tiempo desde formas químicas moderadamente solubles a formas muy poco solubles. En consecuencia, es el elemento menos móvil y con más problemas de biodisponibilidad de todos los macronutrientes (Holford, 1997).

Los cultivos requieren aplicaciones de P en forma regular, ; no obstante, éste se acumula en el suelo en formas de escasa disponibilidad para las plantas. Esta baja disponibilidad de P está asociada con la alta estabilidad y la baja tasa de mineralización de los compuestos fosfatados (Daza *et al.*, 2006). Una alta proporción de los fertilizantes fosfatados aplicados se almacena en el suelo, situación que se agrava cuando disminuyen los niveles de materia orgánica u ocurren cambios hacia los extremos de la escala de pH (Montesinos, 2002).

El contenido de P en los suelos tropicales es muy variable. Una condición que determina esta variabilidad es el tipo de material parental; por ejemplo, en los Andisoles, que ocupan cerca del 40% del área total de la zona cafetera colombiana, presentan una alta capacidad para inmovilizar el P en la superficie de los minerales amorfos. Esta característica es de particular importancia, ya que estos minerales pueden controlar la capacidad del suelo para adsorber y liberar el P, afectar su disponibilidad y consecuentemente determinar la productividad de estos suelos (Fassbender y Bornemisza, 1994).

Aparentemente, la capacidad de fijación de P de los Andisoles varía con el tipo de arcilla presente, y esto, a su vez, cambia el efecto residual de las aplicaciones de fosfato. Los mecanismos de fijación de P en las arcillas alófanica e imogolita incluyen procesos como

quimiadsorción, desplazamiento de silicio estructural y precipitación (Espinosa, 2007). La mayor parte de este elemento se acumula como complejos macromoleculares de P asociados con la materia orgánica, posiblemente a través de puentes de Al y Fe ; así, se encuentra que entre 71% y 93% del P orgánico (Po) está relacionado con humus (Redel, 2007). El carbono (C) atrapado en estos complejos es inactivo y deja de ser parte del C activo de la fracción orgánica.

El manejo racional y sostenible de la fertilidad del suelos exige aumentar la disponibilidad de P, lo cual no depende de mayores tasas de aplicaciones de fertilizantes sino del uso de prácticas agronómicas que contribuyan al proceso de reciclado y solubilización de P en el suelo (Montesinos, 2002).

El presente estudio tuvo como objetivo establecer el efecto de la siembra de café en suelos con influencia volcánica de la zona cafetera del Valle del Cauca, manejados con sistemas de cultivo: orgánico, convencional y orgánico-mineral, sobre los contenidos de las fracciones de fósforo: P disponible, 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 calcio y P no disponible u ocluido. Igualmente contribuir al conocimiento, en el ámbito nacional, sobre los efectos positivos de los sistemas que incluyen manejo orgánico en la disponibilidad de las fracciones de fósforo en suelos con influencia volcánica.

Materiales y métodos

Localización

El estudio se realizó en tres tipos de suelos localizados en el municipio de Sevilla (4° 16'N, 75° 55'O) departamento del Valle del Cauca (Colombia), a 1612 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 20 °C, y 2121 mm de precipitación anual.

Sistemas de cultivo

El sistema 1 (cultivo orgánico) consistía en café variedad Suprema bajo semisombra de leucaena (*Leucaena leucocephala*) y algunos cultivos asociados como maíz, frijol, cebolla, cítricos y plantas medicinales, con cobertura de arvenses y residuos de cultivos, en un Andisol (Typic Melanudand), fertilizado dos veces al año, con 200 g/planta de compost de pulpa de café, gallinaza y estiércol.

El sistema 2 (cultivo convencional) consistía en café variedad Colombia a libre exposición en monocultivo en un Inceptisol (Typic Dystrudept) fertilizado tres veces por año con 120 g/planta de una mezcla de partes iguales de 1 kg de urea, sulfato de magnesio (Kieserita) y Agrocafé (N 25%, K₂O 24%, P₂O₅ 4%).

El sistema 3 (cultivo orgánico-mineral) estaba sembrado con café variedad Caturra con poco sombrío de aguacate y naranja en un Andisol (Typic Melanudand) fertilizado con 4 bultos de abono orgánico compostado de pulpa de café, raquis de banano y estiércol de bovino y 1 saco de 50 kg de fertilizante cafetero (N, P, K, Mg) a razón de 100 g/planta cada 3 meses.

Toma de muestras en campo

Para realizar el fraccionamiento de P, en cada sistema de cultivo se escogieron tres lotes a una distancia aproximada de 30 m y se tomaron muestras de 500 g de suelo a profundidades de 10 cm, 20 cm y 30 cm en cada sitio. Para el análisis químico de caracterización de los suelos se tomaron al azar dentro de los lotes en cada sistema de cultivo, tres muestras compuestas de 1 kg obtenidas de 10 - 12 lugares distintos, a una profundidad de 20 cm.

Análisis

Para cada una de las tres muestras de suelo, en los Laboratorios de Química de Suelos del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se realizaron análisis químicos de fertilidad que incluyeron determinaciones de pH, materia orgánica (M.O.), capacidad de intercambio catiónico (CIC) total, fósforo (Bray II), calcio, magnesio, azufre, sodio, aluminio, hierro, manganeso, zinc, cobre, boro y elementos menores. También se realizaron análisis físicos en los laboratorios de la Uni-

versidad Nacional de Colombia Sede Palmira, en los que se determinaron textura (método de Bouyucos), densidad aparente (método del núcleo), densidad real (picnómetro), estabilidad de agregados (método de Yoder), porosidad y humedad (secado en estufa).

El fraccionamiento de P se realizó en las 27 muestras del ensayo tomando 0.5 g de cada ua, para determinar los contenidos de las fracciones de P disponible, moderadamente disponible y no disponible u ocluido. La determinación de las diferentes fracciones de P se hizo en el Laboratorio de Química de Suelos del CIAT, para lo cual se utilizó el método de fraccionamiento secuencial reducido de P a partir de la técnica modificada por Hedley *et al.* (1982); Tiessen y Moir (1993) y Oberson *et al.* (1995). Este procedimiento se llevó a cabo usando 0.5 g de las muestras de suelo y aplicando soluciones extractoras que incrementan secuencialmente su poder para subdividir el P total del suelo (P inorgánico y orgánico disponible, moderadamente disponible y no disponible). La secuencia de las soluciones en orden de menor a mayor poder extractante fueron agua (Po-H₂O) y resinas de intercambio iónico (Resin Pi), soluciones de NaHCO₃ 0.5 M (Bic Pi-Po-Pt), NaOH 0.1 M (NaOH Pi-Po-Pt), HCl 0.1 M y HCl concentrado (Resid Pt).

Diseño del ensayo y análisis de la información

El análisis de las fracciones de P se ajustó a un modelo de diseño completamente aleatorio en un arreglo en parcelas divididas, donde las parcelas principales fueron los tratamientos (sistemas de cultivo) y las subparcelas fueron los sitios o localidades. Los resultados de las fracciones de P fueron sometidos a análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Duncan ($P < 0.05$). Para el análisis estadístico se utilizó el programa SAS 9.1 (SAS Institute, Carolina del Norte, USA).

Resultados y discusión

Las propiedades químicas y físicas de los suelos estudiados aparecen en el Cuadro 1. El suelo en el **sistema de cultivo orgánico** presentó un pH fuertemente ácido y bajos contenidos de K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu y Zn. La sumatoria Ca + Mg + K (1.74 cmol/kg), la

Cuadro 1. Propiedades químicas y físicas de los suelos en el estudio.

Propiedad	Unidades	Sistema de cultivo		
		Orgánico	Convencional	Orgánico-mineral
pH	-	5.28	5.91	6.08
MO	g/kg	117.45	29.54	71.82
P-Bray II)	mg/kg	2.81	8.02	1.16
K	cmol/kg	0.13	0.74	0.26
Ca	cmol/kg	1.21	14.98	6.05
Mg	cmol/kg	0.40	9.20	1.13
Al	cmol/kg	0.95		
Na	cmol/kg		0.06	0.02
CIC	cmol/kg	29.05	34.50	32.30
S	mg/kg	67.65	24.32	47.01
B	mg/kg	0.65	0.85	0.49
Fe	mg/kg	2.13	11.80	0.90
Mn	mg/kg	3.56	43.10	17.18
Cu	mg/kg	0.14	1.54	0.17
Zn	mg/kg	1.37	3.29	5.56
Textura	-	Franco arenosa	Franco arcillosa	Franco limosa
Densidad aparente	-	0.76 g/cm ³	1.26 g/cm ³	0.79 g/cm ³
Porosidad	-	65.9%	42.2%	64.8%

relación Mg/K (3.08 cmol/kg) y el porcentaje de saturación de bases también mostraron valores bajos, lo que confirma la fuerte acidez de este suelo. Su alto contenido de M.O. posiblemente es consecuencia del sistema de cultivo utilizado. Este suelo presentó un nivel muy alto de aluminio (35.3% con relación a la CICE), y el P disponible (Bray II) mostró un valor muy bajo, lo cual indica que este elemento puede estar retenido por óxidos e hidróxidos de Fe y por Al o por complejos humus-aluminio, lo cual es propio de suelos pertenecientes al orden de los Andisoles (Espinoza, 2007). Su CIC alta puede ser debido a su alto contenido de M.O., la cual no está completamente mineralizada debido a que sus condiciones de clima (temperatura promedio de 20°C) no facilitan la descomposición (Picone y Zamuner, 2002). En relación con las propiedades físicas, como es de esperar en un Andisol, se encontró una clase textural franco arenosa, baja densidad aparente (0.76 g/cm³) y alta porosidad (65.9%).

El suelo en el **sistema de cultivo convencional** presentó un pH moderadamente ácido. Los contenidos de K, Mg, Ca, B, Mn y Zn fueron altos, ya que provienen de un sistema de cultivo fertilizado con abonos minerales. La sumatoria Ca + Mg + K (24.92 cmol/kg) fue alta, y las relaciones Mg/K

(12.43 cmol/kg), (Ca + Mg)/K (32.7 cmol/kg) y Ca/K (20.24 cmol/kg) fueron adecuadas. La suma de bases fue alta, lo que indica que este suelo estaba saturado. Los contenidos de Na y Fe fueron bajos. Los contenidos de M.O. y P fueron bajos y su CIC fue alta. La textura de este suelo es franco arcillosa, y la densidad aparente (1.26 g/cm³) y porosidad (42.2%) mostraron valores intermedios.

El suelo en el **sistema de cultivo orgánico-mineral** presentó pH ligeramente ácido. Los niveles de P, Fe y Cu fueron bajos, y los contenidos de Mg, S, B, Zn, así como la CIC, fueron altos. Las relaciones Ca, Mg y K fueron adecuadas. Presentó un alto contenido de M.O. como consecuencia del empleo de materiales tanto orgánicos como minerales en la fertilización. La clase textural es franco limosa, la densidad aparente fue baja (0.79 g/cm³), y la porosidad, alta (64.8%).

Fraciones de P en los sistemas de cultivo

El análisis de varianza para los contenidos de P en los tres sistemas de cultivo (Cuadro 2) no presentó diferencias ($P > 0.05$) en las fracciones de Po extraído con agua, con resina y el Pi extraído con bicarbonato por efecto de los sistemas de cultivo. Contrariamente, las fracciones de P moderadamente disponibles,

Cuadro 2. Nivel de significancia ($P > 0.05$) en las fracciones de P para los tres sistemas de cultivo ($n=27$).

F.V. ¹	P-disponible ²			P-moderadamente disponible			P-ocluído		Totales			
	Po-H ₂ O	Resin-Pi	Bicarbonato			NaOH			PiT	PoT	PT	
			Pi	Po	Pt	Pi	Po	Pt				
S.C	0.1480	0.1621	0.138	0.031	0.0726	0.0254	0.0002	0.003	0.0008	0.0029	0.000	0.0013
	0		7	2				0			2	

¹ F.V. = Fuente de variación.

² Po = Fósforo orgánico, Pi = fósforo inorgánico, Pt = fósforo total.

P ocluido y P totales presentaron diferencias ($P < 0.05$), lo que indica que por lo menos uno de los sistemas tuvo un efecto importante en los contenidos de P de estas fracciones.

Fracciones de fósforo en los sistemas de cultivo

Fósforo disponible. Los contenidos de las diferentes fracciones de P disponible para los tres sistemas de cultivo se observan en la Figura 1. El sistema orgánico-mineral (3) presentó los contenidos más altos de esta fracción, seguido del sistema orgánico (1), mientras que los contenidos más bajos se presentaron en el sistema convencional (2). Individualmente las fracciones Bic-Pi y Bic-Po tuvieron un comportamiento similar; ambas fracciones presentaron diferencias ($P < 0.05$) con respecto al sistema 2. El contenido de P

en el sistema 1 fue más del doble del contenido en el sistema 2. Igualmente en el sistema 3 el contenido de P fue tres veces más alto que en el sistema 2. Una situación similar se observó para las fracciones Bic-Po y Bic-Pt ($P < 0.05$). Las fracciones H₂O-Po, Resin-Pi y Bic-Pi no presentaron diferencias ($P > 0.05$) en los contenidos de P como resultado de los diferentes sistemas de cultivo (ver Cuadro 1 y Figura 1).

Fósforo moderadamente disponible.

Los contenidos de la fracción P-moderadamente disponible indicaron que los mayores valores se presentaron en el sistema orgánico-mineral, y los menores, en el sistema convencional (Figura 2), lo cual fue consistente con los contenidos de Pi y Po de esta fracción. El fraccionamiento mostró mayor contenido para

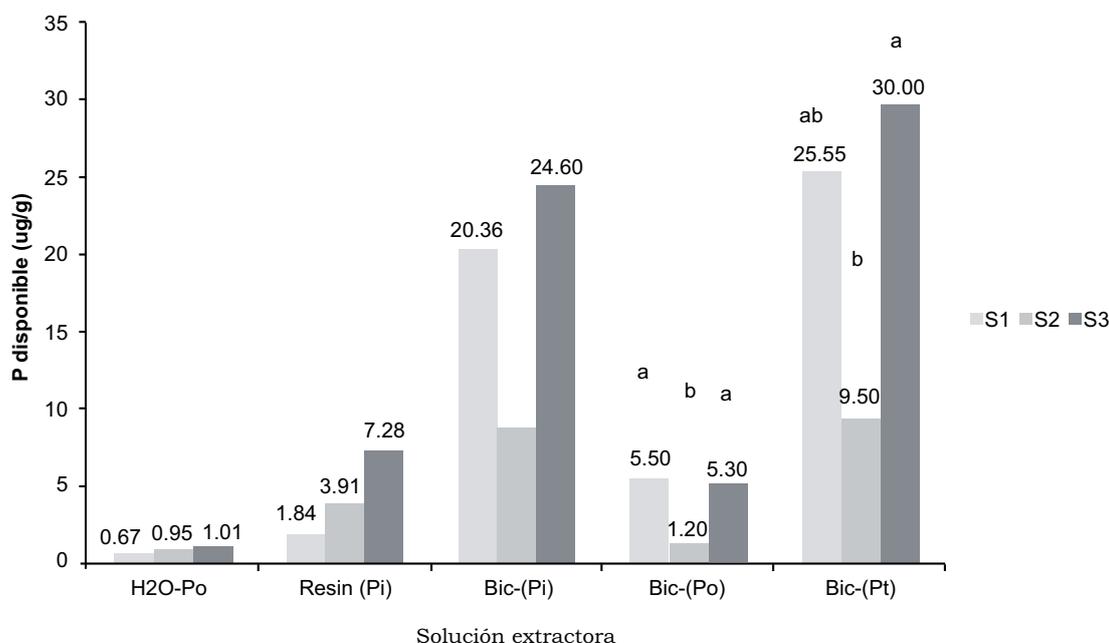


Figura 1. Fracciones de P disponible en tres sistemas de cultivo (S). S1: orgánico, S2: convencional y S3: orgánico-mineral). Valores con letras diferentes en una misma forma de fósforo son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

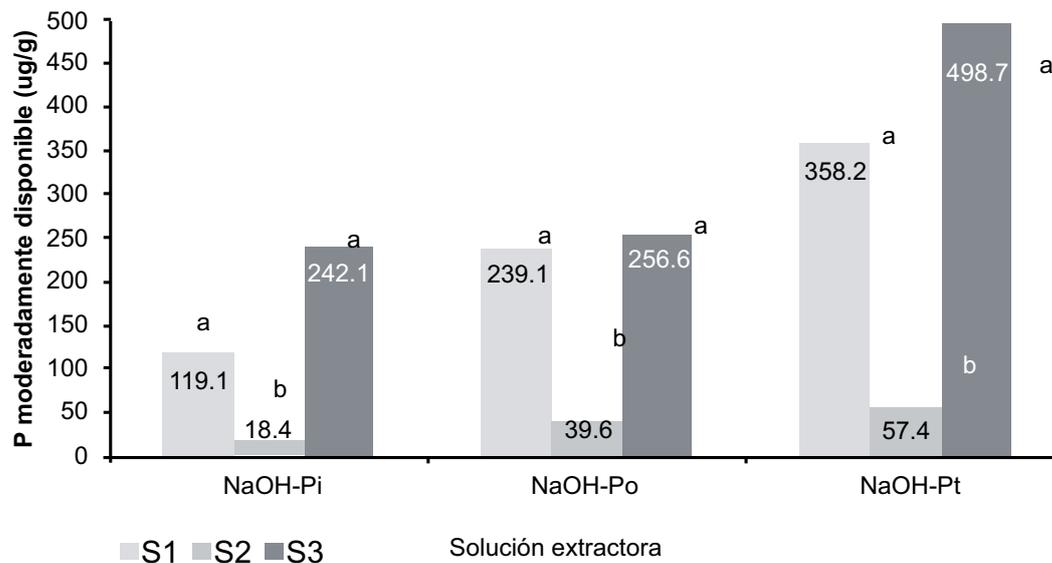


Figura 2. Fracciones de P moderadamente disponible en tres sistemas de cultivo (S). S1: orgánico, S2: convencional y S3: orgánico-mineral.

Po que para Pi. Entre sistemas de cultivo se encontraron diferencias ($P < 0.05$) en los contenidos de las fracciones NaOH-Pi y NaOH-Po del sistema orgánico-mineral con respecto al sistema convencional, pero no con relación al sistema orgánico.

El P orgánico presentó los contenidos más altos en los sistemas 3 y 1, aunque no fueron diferentes ($P > 0.005$) entre ellos, pero

sí con respecto al sistema 2 ($P < 0.005$), cuyo contenido fue hasta siete veces menor. El P inorgánico del sistema 3 presentó el contenido más alto, y aunque no difirió significativamente del sistema 1 ($P > 0.005$), sí fue dos veces más alto.

Fósforo no disponible. En la Figura 3 se observan los contenidos de P no disponible para los tres sistemas de cultivo. En general

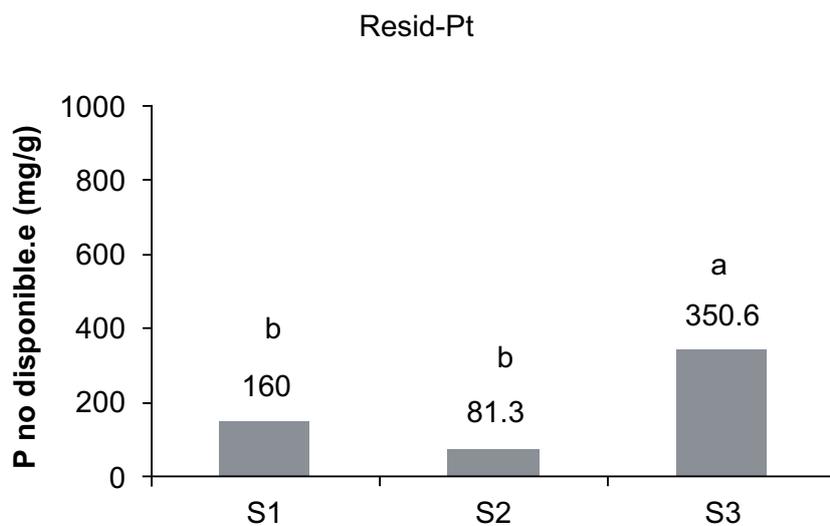


Figura 3. Fracciones de P no disponible en tres sistemas de cultivo (S). S1: orgánico, S2: convencional y S3: orgánico-mineral. Valores con letras diferentes en una misma forma de fósforo son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

se observa que el sistema orgánico-mineral presentó el mayor contenido de P ocluido (P inorgánico y orgánico químicamente muy estable e insoluble). El sistema convencional, que sólo incluye fertilizante mineral, presentó el menor contenido de esta fracción. No se encontraron diferencias ($P > 0.05$) entre los sistemas orgánico y convencional, pero sí entre ellos y el sistema orgánico-mineral. El P ocluido en los sistemas orgánico-mineral y orgánico superó cuatro y dos veces, respectivamente, al encontrado en el sistema convencional.

Valores con letras diferentes en una misma forma de fósforo son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

El P total presentó contenidos muy variables en los suelos estudiados ($P < 0.05$); el valor más bajo se encontró en el sistema convencional (153.2 mg/g), y el valor más alto, en el sistema orgánico-mineral (887.5 mg/g) (Figura 4). Según Fassbender y Bornemisza (1994), el P total en los suelos está relacionado con la cantidad de M.O. Esto corrobora lo encontrado en los sistemas orgánicos (S1 y S3), los cuales presentaron contenidos altos de M.O., así como de P total, lo que confirma la importante relación entre este compuesto y el P edáfico.

Los resultados correspondientes a P total (Figura 4) son consistentes con lo encontrado en las fracciones disponible, moderadamente

disponible y no disponible. El sistema orgánico-mineral incluyó en la fertilización materiales orgánicos y fertilizantes de síntesis, lo que contribuye a aumentar el P disponible en la mayoría de las fracciones. Esto concuerda con Boschetti *et al.* (2003), quienes encontraron una alta correlación entre el carbono orgánico y el P disponible en suelos de la Mesopotamia Argentina.

Las fracciones inorgánicas de P presentaron mayores contenidos que las orgánicas, lo cual coincide con los altos niveles para ambas fracciones en el sistema orgánico-mineral, que puede deberse a que éste combina materiales orgánicos e inorgánicos. El alto contenido de P_i se explica ya que el uso de enmiendas orgánicas aumenta la actividad microbiana y por tanto favorece la mineralización, contribuyendo de esta manera a mantener un nivel adecuado de fósforo en el suelo (Tejada *et al.*, 2006). La actividad microbiana está influenciada, además, por la temperatura, el pH, la humedad y el contenido de M.O. (Fassbender y Bornemisza, 1994), factores que se ven favorecidos en el sistema orgánico-mineral (ver Cuadro 1).

Por otra parte, el agente extractante utilizado, NaOH, tiene la capacidad de solubilizar P inorgánico asociado con fosfatos de Fe (Bowman y Cole, 1987). Buechler *et al.* (2002) utilizaron fraccionamiento secuencial de P para determinar el efecto de diferentes

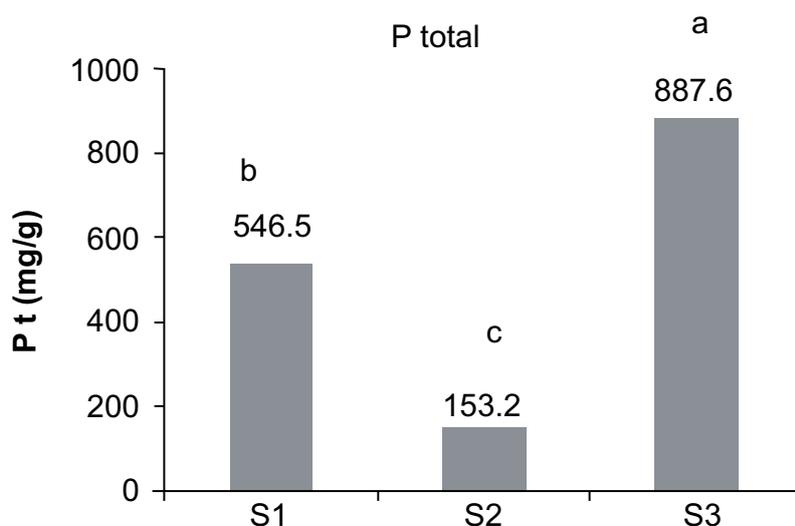


Figura 4. Fracciones de P total en tres sistemas de cultivo (S). S1: orgánico, S2: convencional y S3: orgánico-mineral. Valores con letras diferentes en una misma forma de fósforo son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

sistemas de uso de un Oxisol con adición de fertilizante fosfórico sobre el contenido de las fracciones de P y encontraron que en los tratamientos con fertilización de síntesis química el P inorgánico fue almacenado en las fracciones Pi-NaOH.

Los contenidos de P en el sistema convencional fueron bajos, lo que se relaciona con el bajo contenido (4%) de este nutriente agregado con el fertilizante (Agrocafé); además, los procesos de mineralización son afectados por el bajo porcentaje de M.O. que presenta el suelo en este sistema de cultivo. Palm (1995) destaca el importante papel que cumplen los materiales orgánicos como fuente de P y otros nutrientes, y como proveedores de un sustrato energético para la actividad microbiana, donde se pueden generar patrones de mineralización-inmovilización y reducir la absorción del P en el suelo.

La coincidencia de que el P ocluido y las fracciones disponibles y moderadamente disponibles hayan alcanzado los mayores contenidos en los sistemas orgánico-mineral y orgánico se explica, según Burbano (1989), por el hecho de que para los suelos tropicales las fracciones muy lábiles (inmediatamente disponibles) se encuentran en equilibrio con las fracciones lábiles (disponibles), con las moderadamente disponibles y con las de baja o ninguna labilidad.

Los buenos contenidos de P ocluido presentados en los sistemas orgánicos son también resultado del tiempo (diez años) durante el cual al café se le ha dado este tipo de manejo. Lo anterior es ratificado por Lehmann *et al.* (2001), quienes mencionan que el contenido de esta fracción de P aumenta únicamente a largo plazo con aplicaciones de fertilizantes químicos y/o la incorporación de materiales orgánicos.

El P orgánico por lo general alcanza porcentajes que varían entre el 25% y 75% del P total (Fassbender y Bornemisza, 1994). Los contenidos de P orgánico promedio encontrados en los suelos en estudio están dentro de estos rangos (36%), y se observan diferencias significativas entre el sistema orgánico con los mayores contenidos y los otros dos sistemas (Figura 5). Esto se explica por la aplicación de abonamiento orgánico a este sistema y coincide con lo reportado en estudios realizados por Zheng *et al.* (2002), quienes mostraron que en sistemas fertilizados durante ocho años con abono orgánico el P agregado con dicho abono tiene su destino en las fracciones orgánicas disponibles y moderadamente disponibles.

Según Redel (2007), la mayoría del P se acumula como complejos macromoleculares de P asociados a la materia orgánica, posiblemente a través de puentes de Al y Fe; se

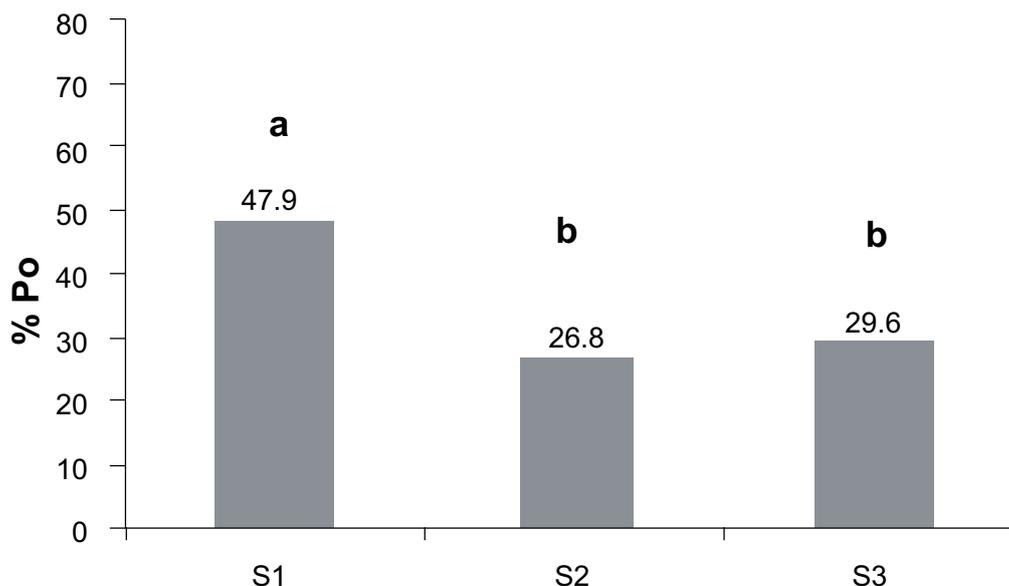


Figura 5. Porcentaje de fósforo orgánico en tres sistemas de cultivo (S1: orgánico, S2: convencional y S3: orgánico-mineral). Diferentes letras indican diferencias significativas.

ha encontrado que un 71-93% del P_o está relacionado con el humus.

El P inorgánico del suelo presentó valores altos tanto en términos absolutos como en porcentaje (64%) del P total. El sistema orgánico presentó diferencia significativa en el porcentaje de P inorgánico respecto al convencional y orgánico-mineral (Figura 6),

y se obtuvieron mayores valores en estos últimos, lo cual es acorde con lo mostrado por las diferentes fracciones de P_i y se relaciona con los aportes y procesos que en el suelo se dan por la adición de fertilizantes de síntesis química como parte de las prácticas agronómicas utilizadas en estos sistemas de cultivo.

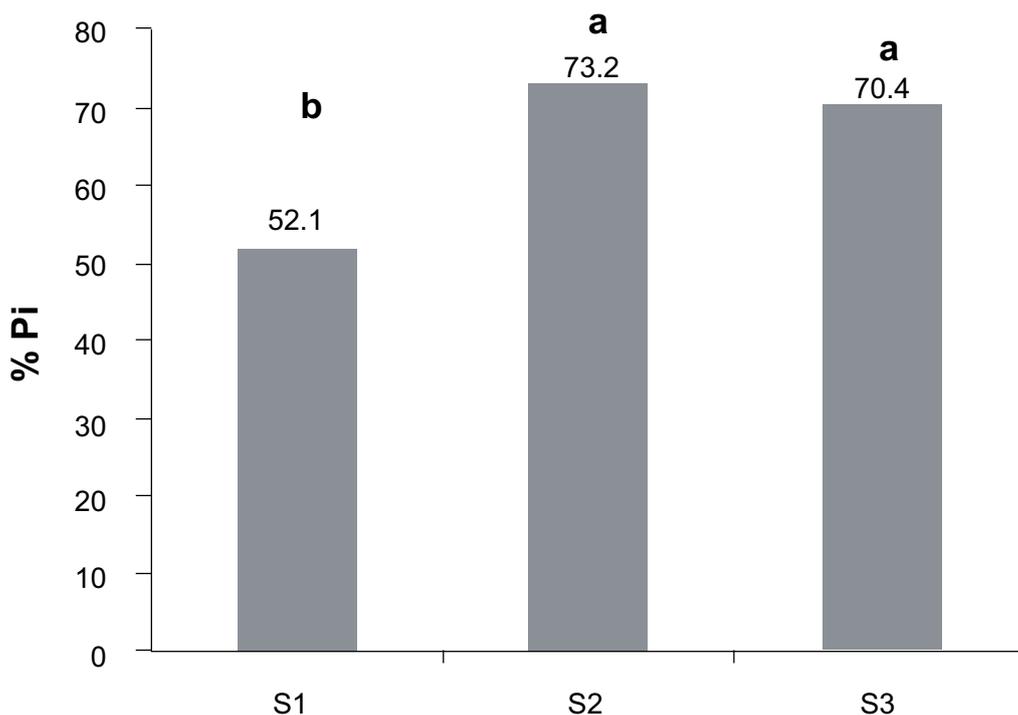


Figura 6. Porcentaje de fósforo inorgánico en tres sistemas de cultivo (S1: orgánico, S2: convencional y S3: orgánico-mineral). Diferentes letras indican diferencias significativas.

Conclusiones

- Los sistemas que incluyeron en su manejo fertilización orgánica contribuyeron a que en el suelo se presentaran los más altos contenidos de las fracciones de P disponible y moderadamente disponible.
- Los menores contenidos de las diferentes fracciones de P se encontraron en el sistema de cultivo convencional.
- La adición conjunta de abonos orgánicos y abonos de síntesis química, así como prácticas complementarias de manejo agronómico, generan las condiciones de

suelo adecuadas para garantizar la disponibilidad adecuada de P para el cultivo de café.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia y al Centro Internacional de Agricultura Tropical, por permitirnos realizar la parte experimental de este trabajo en los laboratorios de física y química de suelos. Al Grupo de Investigación en Uso y Manejo de Suelos y Aguas con énfasis en degradación de suelos de la UNAL, por la financiación del proyecto.

Referencias

- Boschetti, N.; Quintero, C.; Benavidez, R.; y Giuffre, L. 2003. Cuantificación de las fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo en suelos de la Mesopotamia Argentina. *Ciencia del suelo* 21: 1 - 7.
- Bowman, R. y Cole, C. 1987. Transformations of organic phosphorus substrates in soils as evaluated by NaHCO₃ extraction. *Soil Sci.* 125: 49 - 54.
- Buechler, S.; Oberson, A.; Rao, I. M.; Friesen, D. K.; y Frossard, E. 2002. Sequential phosphorus extraction of a P-33-labeled Oxisol under contrasting agricultural systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 868 - 877.
- Burbano, H. 1989. El suelo. Una visión sobre sus componentes bioorgánicos. Pasto: Serie Investigaciones No. 1 Universidad de Nariño. Pasto. Colombia. 447p.
- Daza, M.; Álvarez, J.; y Rojas, A. 2006. Efecto de materiales orgánicos e inorgánicos sobre las fracciones de fósforo de un Oxisol de los Llanos Orientales colombianos. *Agronomía Colombiana* 24 (2): 326 - 333.
- Espinosa, J. 2007. Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica. Quito: INPOFOS.
- Fassbender, H. y Bornemisza, E. 1994. Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina. Costa Rica: IICA. 420p.
- Hedley, H.; Steward, J.; y Chauhuan, B. 1982. Changes in organic and inorganic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 970 - 976.
- Holford, I. C. R. 1997. Soil phosphorus: Its measurement, and its uptake by plant. *Aust. J. Soil Res.* 35: 227 - 239.
- Lehmann, J.; Günther, D.; Socorro da Mota, M.; Pereira de Almeida, M.; Zech, W.; y Kaiser, K. 2001. Inorganic and organic soil phosphorus and sulphur pools in an Amazonian multistrata agroforestry system. *Agroforestry Systems* 53: 113 - 124.
- Montesinos, C. 2002. Manejo biológico del fósforo en el suelo. *Revista de Agroecología y Desarrollo* 8: 31 - 34.
- Oberson, A.; Besson, J. M; Maire, N.; y Sticher, H. 1995. Microbiological processes in soil organic phosphorus transformations in conventional and biological cropping systems. *Biology and Fertility of Soils* 21: 138 - 148.
- Palm, C. A. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. *Agrofor. Syst.* 30: 105 - 124.
- Picone, L. y Zamuner, E. 2002. Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. XVIII Congreso de la Ciencia del Suelo. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* N° 16, pp.11.
- Redel, Y. 2007. Fraccionamiento de fósforo en suelos volcánicos provenientes de ecosistemas agrícolas y forestales del Centro Sur de Chile. Tesis para optar al grado académico de Doctor en Ciencias de Recursos Naturales. Universidad de la Frontera, Temuco, Chile. 126p.
- SAS version 9.1.3. 2010 Copyright © 2011 SAS Institute Inc., SAS Campus Drive, Cary, North Carolina 27513, USA.
- Tejada, M.; García, C.; González, J. L.; y Hernández, M. T. 2006. Organic amendment based on fresh and composted beet vinasse: influence on soil properties and wheat yield. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 900 - 908.
- Tiessen, H. y Moir, J. O. 1993. Characterization of available P by sequential extraction, pp. 75-86. En: Soil sampling and methods of analysis. Center MR (Ed.). CSSS Lewis Publishers, Boca Ratón, Fl.
- Zheng, Z; Simard, R. R.; Lafond, J.; y Parent, L. E. 2002. Pathways of soil phosphorus transformations after 8 years of cultivation under contrasting cropping practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 999 - 1007.