

Retención y disponibilidad de fósforo asociado a la materia orgánica en un *Typic Melanudands* del departamento del Cauca, Colombia

Retention and availability of phosphorus associated with organic matter in a *Typic Melanudands* of Cauca department, Colombia

Isabel Bravo¹, Juan Carlos Montoya², y Juan Carlos Menjivar³

¹Profesora titular de la Universidad del Cauca, ²Profesor Universidad del Pacífico, ³Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia. Autor para correspondencia: ibravo@unicauca.edu.co

Rec.: 07.11.12 Acept.:28.08.13

Resumen

En el departamento del Cauca, Colombia, en un *Typic Melanudands* cultivado con café (*Coffea arabica*) y guamo (*Inga spuria*) como sombrío, se evaluó el efecto de la materia orgánica (M.O.) sobre la retención y disponibilidad de fósforo (P), mediante isotermas elaboradas a partir de la ecuación de Langmuir linealizada por Scatchard y empleando el método propuesto por Fox y Kamprath (1970). Se utilizó un diseño completamente al azar con 60 tratamientos, generados a partir de cinco dosis de P por seis tiempos de incubación en muestras de suelo con y sin M.O. El análisis de varianza no mostró diferencias significativas en adsorción de P en función del tiempo de incubación ($P > 0.05$), indicando que la adsorción ocurre desde el tiempo cero. La retención de P se ajustó a la isoterma de Scatchard con valores de $L = 0.16 \times 10^6$ (suelo con M.O.) y 3×10^6 (suelo sin M.O.) y demuestra que la retención de P ocurre principalmente en la fracción mineral. El coeficiente de distribución más alto en el suelo sin M.O. (9.72) muestra mayor cantidad de P en sitios de adsorción con respecto al suelo sin ella (4.08). El mayor valor de Q_{max} en el suelo con M.O. muestra sitios de adsorción pero con baja afinidad, reflejada en el menor coeficiente de reparto, y un fácil proceso de desorción hacia la solución del suelo.

Palabras clave: Adsorción, Andisol, fósforo, inmovilización, materia orgánica.

Abstract

The effect of organic matter on retention and Phosphorus (P) availability in a *Typic Melanudands* cultivated coffee (*Coffea arabica*) and guamo (*Inga spuria*), was evaluated by isotherms from the Langmuir equation using linearized by Scatchard and using the method proposed by Fox and Kamprath. A completely randomized design with sixty treatments, generated from five concentrations of P for six times of incubation, in soil samples with and without organic matter was used. The analysis of variance no show differences in adsorption of P as a function of time of incubation, indicating that the adsorption occurs from time zero. P retention was adjusted according to the Scatchard isotherm with values $L = 0.16 \times 10^6$ (soil with organic matter) and 3×10^6 (soil without organic matter), showing that phosphorus adsorption occurs mainly in the mineral fraction. Higher distribution coefficient on soil without organic matter (9.72) shows many adsorption sites with respect to soil with organic matter (4.08). The upper value of Q_{max} on soil with organic matter reveals adsorption sites but with low affinity, reflected in lower partition coefficient, showing easy desorption process to the soil solution.

Key word: Adsorption, Andisol, organic matter, phosphorus.

Introducción

Los suelos derivados de ceniza volcánica se caracterizan por su alta acidez, ricos en alófanos, baja saturación de bases, alta capacidad de intercambio catiónico, valores altos en materia orgánica (M.O.), lo que favorece la formación de complejos Al-humus, con predominio de compuestos de bajo grado de polimerización y abundantes huminas, además, presentan retenciones de fósforo (P) superiores a 80% causando baja fertilidad (Vázquez y Morales 2000; Maguire *et al.*, 2001).

Los suelos de la zona cafetera del departamento del Cauca son fuertemente ácidos, con baja disponibilidad de P (IGAC, 2009), sin embargo con una adecuada fertilización y corrección de acidez son óptimos para el cultivo de café (Arcila *et al.*, 2007). La aplicación de P utilizando fuentes comerciales generalmente se hace previo análisis de la fertilidad del suelo, teniendo en cuenta que la eficiencia de aprovechamiento varía entre 20% y 40%, según los estudios de retención de este elemento en suelos de la región (Bravo *et al.*, 2007). Esta baja eficiencia hace necesario aplicar mayores dosis que las recomendadas, lo que significa un alto riesgo de contaminación ambiental por procesos de lixiviación. De otra parte, la tendencia a la utilización de altas cantidades de abonos orgánicos es un factor adicional de riesgo de contaminación. El efecto 'priming' causado por la incorporación en el suelo de M.O. fresca es ocasionado por su capacidad para estimular la descomposición de la M.O. nativa, generando pérdidas de carbono nativo del suelo en forma de CO₂ y contribuyendo de esta forma al aumento del efecto invernadero (Feike *et al.*, 2006, Fontaine *et al.*, 2011).

Por lo anterior, es importante realizar investigaciones que conduzcan a mejorar la actividad agrícola en forma más sostenible. Maguire *et al.* (2001) consideran que el contenido de P en el suelo y su pérdida por lixiviación son factores determinantes en la eutrofización de aguas superficiales, y relacionan la máxima capacidad de adsorción de P en el suelo con las fracciones de alófanos extraíbles con oxalato para mostrar la importancia de estos minerales en la retención de P en diferentes suelos.

No obstante que se han realizado varios trabajos con el fin de conocer los mecanismos de retención de P en estos suelos (Vázquez y Morales, 2000; Almeida *et al.*, 2003; Qiaoyun *et al.*, 2003; Bravo *et al.*, 2007; Limousin *et al.*, 2007) y generar recomendaciones adecuadas que permitan evitar la contaminación ambiental por la aplicación masiva de fertilizantes, aún no se conoce con exactitud si existe influencia de la M.O. sobre la retención de P proveniente de fertilizantes o de los abonos orgánicos utilizados actualmente. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la retención y la disponibilidad del P asociado a la M.O. del suelo con el fin de desarrollar mecanismos de adsorción que permitan conducir a recomendaciones adecuadas de fertilización para el cultivo de café en la región del estudio, tratando de mejorar la rentabilidad para los productores y un manejo sostenible y adecuado de la M.O. en el suelo.

Materiales y métodos

Localización y suelos. La investigación se realizó en los laboratorios de suelos de la Universidad del Cauca, utilizando muestras de un *Typic Melanudands* (IGAC., 2009) localizado a 2° 37' 32" N y 76° 34' 03" O, en el municipio de Cajibío, Departamento del Cauca (Colombia), a 1740 m.s.n.m., con una precipitación, promedio anual de 1500 mm y 19 °C de temperatura media cultivado con café (*Coffea arabica*) variedad caturra bajo sombra de guamo (*Inga* sp.).

Tratamientos y diseño experimental. Para medir la capacidad de retención de P del suelo y evaluar el efecto de la M.O. en esta retención, fue utilizado un diseño completamente al azar con 60 tratamientos, consistentes en cinco dosis de P aplicado en soluciones de KH₂PO₄ (2, 5, 10, 50 y 100 mg/l), seis tiempos de incubación (0, 2, 5, 10, 15 y 20 h) a 25°C, en suelo con y sin M.O., y tres repeticiones por tratamiento. Las unidades experimentales consistieron en recipientes de Nalgene de 50 ml de capacidad. Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza, pruebas de comparación de medias, correlaciones y regresiones con SPSS 20.

Caracterización de los suelos. La unidad de muestreo (parcela) fue seleccionada en

campo según la metodología propuesta por Pearson *et al.* (2005), delimitada por una cuadrícula de 400 m², donde se tomaron entre 0 y 10 cm de profundidad 25 submuestras de suelo de 1 kg, separadas 5 m entre sí, para formar la correspondiente muestra compuesta. Las muestras fueron secadas y tamizadas en malla No. 10 para determinar las propiedades físicas y químicas, de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC ISO/IEC 17025:2005 y siguiendo la metodología descrita por el IGAC (2006): humedad gravimétrica en porcentaje (%), textura por el método Bouyucos, densidad aparente (DA –g/cm³) por el método de cilindro. Las propiedades químicas evaluados fueron: pH por el método potenciómetro y relación 1:1, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (cmol/kg) por NH₄OAc 1M pH 7 utilizando espectrofotometría de absorción atómica (en Thermo® serie S4SN71203), fósforo disponible (mg/kg suelo) por Bray II en espectrofotómetro Spectronic Genesys 20®, carbono orgánico (%) por Walkley y Black, presencia de alófanos mediante medida de pH del suelo en fluoruro de sodio relación 1:50 confirmando con espectroscopia IR con transformación de Fourier.

Eliminación de la M.O. en el suelo. Para evaluar el efecto de la materia orgánica sobre la retención de P, propiedades físicas y químicas del suelo, ésta fue eliminada por oxidación de una muestra de suelo con una solución de peróxido de hidrógeno en relación 1:8 en baño maría a 40 °C durante 10 h, agitando a intervalos regulares de tiempo. Después de un reposo de 14 h se aumentó la temperatura a 60 °C para continuar la reacción durante 4 h hasta obtener suelo sin materia orgánica.

Evaluación de la adsorción de fósforo. Con el objeto de medir la adsorción de P en el suelo con y sin materia orgánica y su máxima capacidad de adsorción, se determinaron las isotermas de adsorción de acuerdo con el método de Fox y Kamprath (1970), equilibrando 5 g de muestra de cada suelo en 50 ml de CaCl₂ 0.01M que contiene 2, 5, 10, 50 y 100 mg/l de solución de KH₂PO₄, durante 0, 2, 5, 10, 15 y 20 h de incubación a 25 °C, utilizando el método en paralelo (Bravo *et al.*, 2007). En

cada suspensión se adicionaron tres gotas de tolueno para inhibir el crecimiento de microorganismos. Previo a la incubación, las suspensiones fueron agitadas a 160 r.p.m. en forma continua durante 6 h. Las dosis equivalentes de P aplicadas fueron seleccionadas teniendo en cuenta las recomendaciones de Quintero *et al.* (1996) y considerando la capacidad de amortiguación de estos suelos, la cantidad de P disponible y los requerimientos de este nutriente por el cultivo (Arcila *et al.*, 2007; Bravo *et al.*, 2007).

El P fue determinado por colorimetría mediante formación de un complejo con ácido molíbdico y posterior reducción con ácido ascórbico a 660 nm en un espectrofotómetro Vis-Spectronic 20 Génesis. La diferencia entre las concentraciones de P suministrado y remanente en la solución de equilibrio fue considerada como P adsorbido. Los datos de P adsorbido se ajustaron con la ecuación de Langmuir linealizada (linealización de Scatchard) de acuerdo con Limousin *et al.* (2007), según la ecuación:

$$\frac{Q}{c} = Q_{max}L - LQ,$$

donde, Q es la cantidad de P retenido por el suelo (kg/kg), Q_{max} es la capacidad de adsorción de P por el suelo, $Q_{max}.L$ es el coeficiente de distribución, L es la afinidad del P por el suelo, C es la concentración de P remanente en la solución (kg/lt).

Resultados y discusión

Caracterización del suelo. El suelo es franco, de baja DA (0.90 g/cm³), fuertemente ácido (pH 4.8), con alto contenido de materia orgánica (14.89%), bajos contenidos (cmol/kg) de Ca (0.22) y Mg (0.09), bajo contenido de P (4.15 mg/kg), alta CIC (37.3 cmol/kg), con presencia de alófanos, características propias de Andisoles. El 77.2% de la M.O. fue eliminada con el peróxido de hidrógeno, el cual induce una despolimerización de arcillas y aumenta el grupo de silicatos (SiO₄⁴⁻) libre deducible por espectroscopia IR; mientras que el 22% restante permanece fuertemente ligada a alófanos y/o arcillas, tal como lo sugieren Fassbender y Bornemisza (1987).

Caracterización de los suelos. En la Figura 1 se observan los espectros IR de suelos con M.O. (SCMO) y sin materia orgánica (SSMO). En el SCMO un ‘hombro’ a 3533 corresponde a estiramientos C-H de metilos o metilenos y confirman la presencia de sustancias orgánicas adsorbidas por alófono, y bandas a 560 y 1640/cm son típicas de proto-imogolita alófono (Parfitt y Henmi, 1982]. La presencia de alófono en suelos es confirmada por la existencia de las bandas centradas alrededor de 3500 y 1640/cm que corresponden a tensión y doblamiento de vibraciones del hidróxilo en alófono. Las bandas adicionales a 474, 1032 y 1094/cm son características de haloisita y posiblemente capas octaédricas de silicatos (Russel *et al.*, 1992), la banda a 1640/cm corresponde a vibraciones y deformaciones de moléculas de agua en minerales arcillosos y sustancias amorfas (IGAC, 1995). La banda a 749/cm es característica de materiales amorfos y correspondería a vibraciones y deformaciones de grupos Si-O de silicio amorfo de caolinita. Las bandas típicas de SiO_4^{4-} se observan a 635 y 794/cm confirmando su presencia.

Para el SSMO se nota, igualmente, la presencia de las bandas características para proto-imogolita alófono, además, se encuen-

tran las mismas bandas características de materiales amorfos y complejos orgánicos al igual que las bandas presentes en la región de 3533, que ratifican la presencia de sustancias orgánicas fuertemente adsorbidas sobre los alófanos. Para este suelo sin materia orgánica se nota una nueva banda a 1296/cm y un aumento en definición de la banda a 808/cm que indica mayor presencia de SiO_4^{4-} , muy posiblemente debido a que el tratamiento con H_2O_2 indujo una despolimerización de sílice, resultando un número mayor de SiO_4^{4-} libre.

La materia orgánica ejerce efecto en las propiedades del suelo (Cuadro 1), así, el color cambia drásticamente y la humedad disminuye en 81% mostrando el efecto benéfico en la retención de agua en el suelo. Además, ocurre una reducción de 2% en el valor de pH, lo que confirma que la mayor parte de la acidez proviene de la fracción mineral o de acidez no intercambiable como $\text{Al}(\text{OH})_2^+$.

Se observó una alta reducción de P disponible (92.05%) en el SSMO, lo que demuestra el importante papel de la materia orgánica en la disponibilidad de este elemento; otras propiedades como alta acidez, presencia de alófanos y deficiencia de bases intercambiables influyen igualmente en la adsorción de P. Con la alta CIC de estos suelos, atribuible

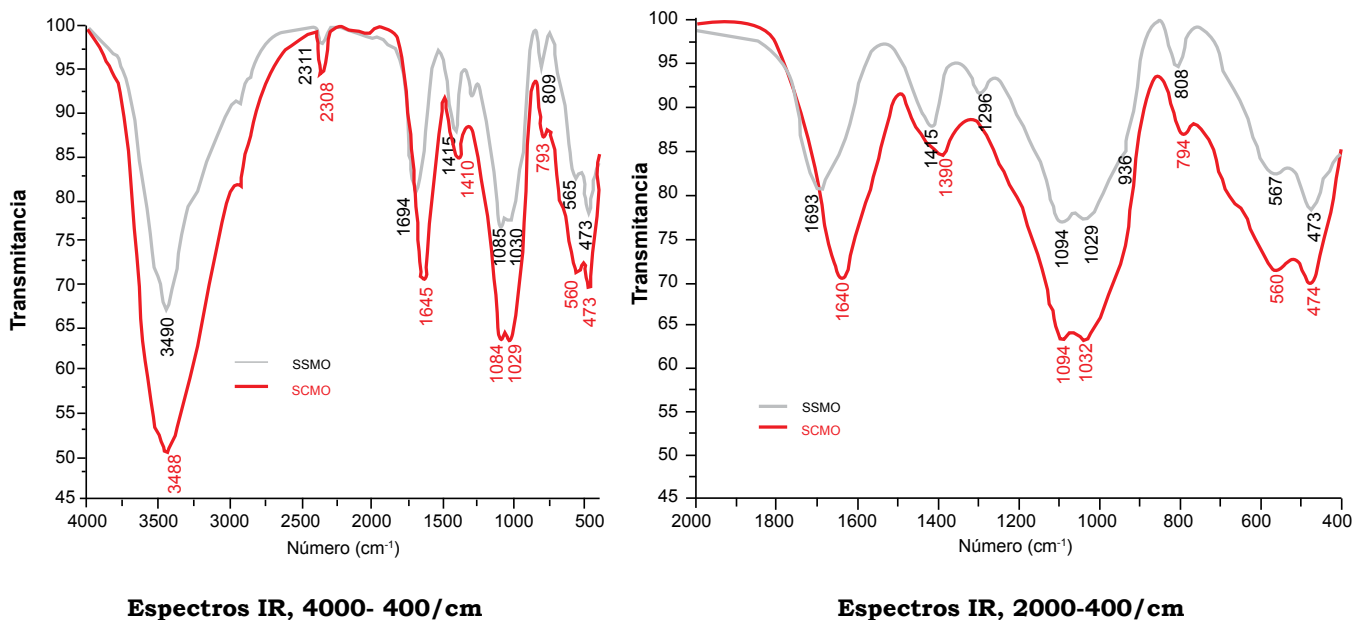


Figura 1. Espectros IR para suelos con materia orgánica (SCMO) y sin materia orgánica (SSMO)

Cuadro 1. Cambios en algunas propiedades del suelo después de eliminar la materia orgánica

Característica	SCMO	SSMO	Reducción (%)
Humedad (%)	16.7	3.165	81.05
Color	negro (10YR)	Amarillo rojizo (5YR6)	–
MO (%)	14.89	3.39	77.23
pH	4.80	4.70	1.98%
P disponible (mg/kg)	4.15	0.33	92.05

SCMO. Suelo con materia orgánica. SSMO: suelo sin materia orgánica.

principalmente al alto contenido de MO., es posible la ocurrencia de una alta retención de P por intercambio aniónico pero principalmente en los alófanos.

En ambos suelos se encontraron diferencias ($P < 0.01$) en el porcentaje de P adsorbido en función del P aplicado (Cuadro 2), resultados similares hallaron Borggaard *et al.* (1990) e Iyamuremye y Dick (1996); por el contrario, no se presentan diferencias en función del tiempo de incubación, lo que indica que la retención ocurre desde el tiempo cero. En este caso se seleccionó 20 h de incubación como tiempo de equilibrio. Las correlaciones de Pearson, positivas y altamente significativas para SCMO ($r = 0.998$) y SSMO ($r = 0.997$) muestran la relación directamente proporcional entre la cantidad de P adsorbido y la dosis aplicada, con presencia de alto número de sitios de adsorción. Se puede deducir que

esta condición en este suelo se atribuye principalmente a su fracción mineral, en especial a los alófanos que tienen la propiedad de adsorber aniones (Penn *et al.*, 2002). Esta condición causa serios problemas de deficiencia de P para el cultivo de café como se aprecia en campo. Igualmente se puede inferir que el pH influye en la adsorción de P ya que en el SSMO se presentaron menores valores de pH que en el SCMO.

La regresión lineal mostró que el incremento en el nivel de P produce incrementos proporcionales en el porcentaje de adsorción tanto en el SCMO como en el SSMO, igualmente dosis pequeñas producen una adsorción en su mayoría no reversible por enlaces binucleares de alta energía, seguidos por enlaces mononucleares reversibles (Quintero *et al.*, 1996). Las concentraciones de 50 y 100 mg/l provocaron porcentajes de adsorción de P si-

Cuadro 2. Adsorción de fósforo en suelo con (SCMO) y sin (SSMO) materia orgánica en tiempo de equilibrio.

	P suministro ($\mu\text{g/ml}$)	P adsorbido ($\mu\text{g/g}$)	P adsorbido (%)
SCMO	2	17.26 e*	85.00 d
	5	53.39 d	90.65 c
	10	110.20 c	94.48 b
	50	576.38 b	99.37 a
	100	1177.00 a	99.09 a
SSMO	2	16.93 e	83.36 c
	5	47.84 d	94.53 b
	10	96.05 c	94.08 b
	50	497.00 b	99.24 a
	100	995.43 a	99.66 a

* Valores en una misma columna con letras iguales no difieren en forma significativa ($P > 0.05$), según la prueba de Tukey.

Cuadro 3. Comparación de isotermas para suelo con (SCMO) y sin (SSMO).

Suelo	<i>L</i>	<i>Q_{max}</i>	Coefficiente de distribución (<i>Q_{max} L</i>)	P disponible (mg/kg)
SCMO	0.16 x 10 ⁶	2.5 x 10 ⁻⁵	40.817	4.15
SSMO	3 x 10 ⁶	0.32 x 10 ⁻⁵	97.174	0.33

milares ($p > 0.05$). Los resultados de adsorción de P en el SCMO y SSMO no se ajustaron a los modelos tradicionales de Langmuir o Freundlich, pero sí a la linealizada Scatchard con una alta correlación lineal ($r = 0.99$).

Las isotermas de los datos obtenidos aparecen en el Cuadro 3; las pendientes equivalentes a la afinidad de P por los suelos fueron $L = 0.16 \times 10^6$ y $L = 3 \times 10^6$ para el SCMO y SSMO, respectivamente, siendo mayor en este último. Aun cuando los resultados del porcentaje de adsorción de P no muestran diferencias en ambos suelos, los resultados de las isotermas linealizadas permiten deducir que el porcentaje de adsorción es significativamente superior en el SSMO y revela que la M.O. protege el suelo de la retención de P, tal como lo demostraron Borggaard *et al.* (2005), y muestran también el efecto protector de la materia orgánica. humificada en la retención de P en Histosoles, Podzoles y Umbrisoles; no obstante, Borggaard *et al.* (1990, 2005) encontraron que la capacidad del suelo para adsorber P es independiente de la presencia de la M.O. y atribuyen esta diferencia a condiciones experimentales como el tiempo de equilibrio. El orden de adición de la M.O., el P y las concentraciones de éste aparentemente influyen en el comportamiento de la adsorción (Grimal *et al.*, 2001), sin embargo, en esta investigación la adición se hizo en forma simultánea, tanto en el SCMO como en el SSMO.

El P en SCMO fue 13 veces superior al del SSMO. El valor de *L* en el SSMO es aproximadamente 19 veces superior que en el SCMO, lo que demuestra una mayor afinidad en la adsorción de P y una reducción notoria en la disponibilidad de este nutriente (Cuadro 2). Igualmente se observó un mayor coeficiente de distribución en el SSMO indicando nuevamente una mayor cantidad de P en los sitios de adsorción que en la solución del suelo. El

hecho de que *Q_{max}* sea mayor en el SCMO se debe a que en la materia orgánica también hay sitios de adsorción de P, pero con baja afinidad, demostrado por el menor coeficiente de reparto en este suelo y la existencia de un proceso de desorción de este nutriente hacia la solución del suelo. Estos resultados confirman nuevamente el efecto protector de la materia orgánica sobre la retención de P.

De estos resultados se puede deducir que la materia orgánica reduce la retención de P, y si este nutriente lixivía hacia horizontes más profundos, en los que predominan arcillas y óxidos fijadores, evitarían la lixiviación y contaminación por P en cuerpos de agua (Sims *et al.*, 2000; Penn *et al.*, 2002; Maguire *et al.*, 2001).

Conclusión

- El suelo *Typic Melanudands* del departamento del Cauca, Colombia, presenta gran retención de fósforo, principalmente en la fracción mineral de alófanos, con alta afinidad lo que evita la pérdida de este nutriente hacia horizontes más profundos e impide la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, mientras que la materia orgánica presenta alto número de sitios de adsorción de P pero con baja afinidad, demostrando su efecto protector de la retención fosfórica, que le permiten contribuir al incremento en la disponibilidad de fósforo en forma paulatina para el cultivo de café con sombra de guamo.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad del Cauca, a DIPAL de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira y a Colciencias por el apoyo financiero en el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- Almeira, J. A., Torrent, J.; y Barrón, V. 2003. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfatos em Latossolos desenvolvidos de basalto do extremo-Sul do Brasil. *Ci. Solo*. 27:985 - 1002.
- Arcila P. J.; Perafán, V. F.; Moreno, A.; Salazar, L. e Hincapié, E. 2007. Sistemas de producción de café en Colombia. Centro de Investigaciones del Café (Cenicafé). ISBN 9789589819302.
- Borggaard, O. K.; Jorgenson, S. S.; Moberg, J. P.; y Raben-Lange, B. 1990. Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminum and iron oxides in sandy soils. *J. Soil Sci.* 41:443 - 449.
- Borggaard, O. K.; Raben-Lange, B.; Gimsing A. L.; y Strobel, B. W. 2005. Influence of humic substances on phosphate adsorption by aluminium and iron oxides. *Geoderma* 127:270 - 279.
- Bravo I.; Marquinez L. y Potosí, S. 2007. Fraccionamiento del Fósforo y correlación con la materia orgánica en dos suelos del departamento del Cauca. *Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*. Bogotá - Colombia. *Suelos Ecuatoriales* 37(2): 147 - 154.
- Fassbender, H. y Bomemisza, E. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América latina. 2ª ed., Instituto Interamericano para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. P. 85 - 87.
- Feike, A. D.; Weixin, C.; y Dale, W. J. 2006. Plant biomass influences rhizosphere priming effects on soil organic matter decomposition in two differently managed soils. *Soil Biol. Biochem.* 38:2519 - 2526.
- Fontaine A.; C. Henault; A. Aamor; N. Bdioui; J.M.G. Bloor; V. Maire; B. Mary; S. Revaillet; y P.A. Maron. 2011. Fungi mediate long term sequestration of carbon and nitrogen in soil through their priming effect. *Soil Biol. Biochem.* 43:86 - 96.
- Fox, R. y Kamprath L. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Amer.* 34:902 - 907.
- Grimal, J. Y.; Frossard, E.; y Morel, J. L., 2001. Maize root mucilage decreases adsorption of phosphate by goethite. *Biol. Fertil. Soils* 33:226 - 230.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1995. Suelos de Colombia. Santafé de Bogotá, D.C. 632 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. Métodos analíticos del laboratorio de suelos, agua, abono orgánico, tejido vegetal, material particulado. *Suelo*, Bogotá, D.C. 6:647.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2009. Estudio general de suelos y zonificación de tierras Departamento del Cauca. Escala 1:100,000. Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá. p. 556.
- Iyamuremye, F.; y Dick, R.P. 1996. Organic Amendments and Phosphorus dynamics: I. Phosphorus Chemistry and sorption. *Soil Sci.* 161:426 - 435.
- Limousin G.; Gaudet J. P.; Charlet, L.; Sznknect, S.; Barthe`s, V.; y Krimissa, M. 2007. Sorption isotherms: A review on physical bases, modeling and measurement. *Appl. Geochem.* 22:249 - 275.
- Maguire, R. H.; Foy, J. S.; Bailey, J. T.; y Sims R. O. 2001. Estimation of the phosphorus sorption capacity of acidic soils in Ireland, *Europ. J. Soil Sci.* 52:479 - 487.
- Norma Técnica Colombiana NTC ISO/IEC 17025. 2005. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.
- Parfitt, R. L. y Henmi T. 1982. Comparison of an oxalate -extraction method and an infrared spectroscopic method for determining allophone in soil clays. *Soil Sci. Plant Nutr.* 28:183 - 190.
- Pearson, T., Walker, S. y Brown, S. 2005. Sourcebook for Land use, land-use change and forestry project. Winrock International.
- Penn, J. C.; Mullins, G. L. y Zelazny, L. W., 2002. Mineralogy in relation to phosphorus sorption and dissolved phosphorus losses in runoff. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 69: 1532 - 1541.
- Qiaoyun H; Zhenhua Z y Wenli C. 2003. Effects of several low-molecular weight organic acids and phosphate on the adsorption of acid phosphatase by soil colloids and minerals. *Chemosphere* 52:571 - 579.
- Quintero, C. E.; Boschetti, N. G. y Benavidez, R. A. 1996. Estimación de la Capacidad máxima de adsorción de fosfatos en suelos de Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del Suelo* 14:78 - 82.
- Russell, E. J. y Wild A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Editorial Mundi-Prensa, Barcelona España. p. 280 - 284.
- Sims, J. T.; Edwards, A. C.; Schoumans, O. F.; y Simard, R. R. 2000. Integrating soil phosphorus testing into environmentally based agricultural management practices. *J. Environ. Quality* 29:60 - 71.
- Vázquez, S y Morales L. 2000. Adsorción de fósforo por suelos ácidos de Misiones (Argentina). *Ciencia del Suelo* 18(2):89 - 94.