

Solubilización de fosfatos por hongos asociados a un Andisol de tres agroecosistemas cafeteros de la región andina colombiana

Phosphate solubilization by fungi associated to an Andisol of three coffee agroecosystems of the Colombian Andean Region

COLCIENCIAS TIPO 1. ARTÍCULO ORIGINAL

RECIBIDO: AGOSTO 8, 2015; ACEPTADO: SEPTIEMBRE 4, 2015

Carlos A. Cisneros R., MSc
casisnerosr@gmail.com

Marina Sánchez de Prager, Ph.D
marinasanchez92@hotmail.com

Universidad Nacional de Colombia, Palmira

Resumen

En la mayoría de los suelos donde se cultiva café en Colombia se presenta deficiencia de fósforo, elemento fundamental para su desarrollo y rendimientos. La presencia de microorganismos solubilizadores de fosfatos [MSF] se ha señalado como una de las estrategias para suplir su demanda. Por ello, en un *Typic melanudans* de Cajibío (Cauca-Colombia), en tres agroecosistemas: café sin sombra, café con sombra y relicto de bosque secundario, se aislaron hongos rizosféricos, los cuales se evaluaron por eficiencia solubilizadora de P (ESF) en Ca-P, Al-P, Fe-P en medio Pikovskaya sólido y líquido. A partir de los tres agroecosistemas y en las tres fuentes de P, se obtuvo un total de 17 aislados fúngicos. Con base en su ESF se seleccionaron cinco hongos para ser evaluados en medio líquido. La secuencia de solubilización observada fue Ca-P > Al-P > Fe-P. Con respecto a poblaciones, se observó valores cercanos en los tres medios y el pH disminuyó a través del tiempo.

Palabras Clave

Microorganismos solubilizadores de fosfatos; fósforo; eficiencia solubilizadora de fosfatos.

Abstract

In most soils where coffee is grown in Colombia there is a phosphorus deficiency, essential element for its development and performance. The presence of phosphate solubilizing microorganisms (PSM) has been identified as one of the strategies to meet its demand. Therefore, on a *Typic melanudans* Cajibío (Cauca) in three agroecosystems: coffee without shadow, shadow coffee and relict of secondary forest, rhizosphere fungi were evaluated by solubilizing efficiency of P (ESF) in Ca-P, Al-P, Fe-P in the means solid and liquid Pikovskaya. From the three agroecosystems and the three sources of P, 17 fungal isolates were obtained. With base on its ESF five fungi were selected for testing in liquid means. The sequence of solubilization observed was Ca-P > Al-P > Fe-P. Regarding populations, near values were observed in the three means, and the pH decreased over time.

Keywords

Phosphate solubilizing microorganisms; phosphorus; phosphate solubilizing efficiency.

I. INTRODUCCIÓN

Los suelos derivados de cenizas volcánicas, especialmente los Andisoles, soportan buena parte de la economía agrícola nacional, y abarcan aproximadamente el 4.5% del territorio (Jaramillo, 2009).

Se caracterizan por poseer alta retención de fósforo, P (Satti, Mazzarino, Roselli, & Crego, 2007), la cual puede alcanzar el 85%, debido a la existencia de minerales de tipo aluminosilicatos no cristalinos en la fracción arcilla, principalmente alófano, imogolita, ferrihidrita y complejos humus-aluminio, los cuales pueden inmovilizar el fósforo a través de procesos de adsorción aniónica o precipitación química, principalmente (Besoain, 1985; Bravo, Marquinez, & Potosí, 2007; Satti et al., 2007; Jaramillo, 2009).

De acuerdo con lo anterior, el P se considera nutriente limitante en estos suelos y, dados los altos requerimientos de las plantas para su desarrollo y crecimiento, se hace necesario el uso de fertilizantes de síntesis químico para obtener mejores rendimientos. Después de su aplicación como ortofosfato, el fósforo rápidamente hace tránsito a formas menos disponibles para las plantas, mediante la formación de complejos con aluminio [Al] o hierro [Fe] en suelos ácidos o con calcio [Ca] en suelos calcáreos.

Sus elevados costos y los efectos ambientales negativos causados por la aplicación de fertilizantes obligan a buscar alternativas para satisfacer los requerimientos de P de los cultivos, a través del uso de materias primas menos costosas y ambientalmente amigables (Alia, Shahida, Bushra, & Saeed, 2013; Charana & Yoon, 2013; Karunai, 2013; Mardad, Serrano, & Soukri, 2013; Priya, Panneerselvam, & Sivakumar, 2013; Reena, Dhanya, Deepthi, & Pravitha, 2013).

En los últimos años numerosos investigadores han propuesto el uso de microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF), los cuales emplean varias estrategias para solubilizar el P no disponible en el suelo. Entre los MSF se encuentran las bacterias y los hongos solubilizadores de fosfato (BSF y HSF), los cuales convierten los fosfatos insolubles en formas solubles, a través de procesos de acidificación, quelatación, reacciones de intercambio y producción de ácidos orgánicos de bajo peso molecular: ácidos cítrico, glucónico, 2-cetoglucónico, succínico, glicólico, láctico, fumárico, fórmico, acético, butírico, isobutírico, valérico e isovalérico (Priyambada, Widada, Kabirun, & Widiyanto, 2009; Scervino et al., 2010; Humaira & Asghari, 2011; Kannapiran & Ramkumar, 2011; Busato,

Lima, Aguiar, Canellas, & Olivare, 2012; Charana & Yoon, 2013; Karunai, 2013; Mardad et al., 2013; Priya et al., 2013).

De distintos suelos en el mundo se han aislado BSF pertenecientes a los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Agrobacterium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium*, *Mesorhizobium*, *Enterobacter* y *Erwinia* (Fernández, Zalba, Gómez, & Sagardoy, 2005; Prijambada et al., 2009; Yarzabal, 2010; Busato et al., 2012 y Mardad et al., 2013). En cuanto a HSF, los géneros registrados corresponden a *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizoctonia*, *Talaromyces*, *Eupenicillium*, *Trichoderma* y levaduras, considerados “organismos clave” en el ciclo del P (Jacobs et al., 2002; Barroso, Pereira, & Nahas, 2006; Deepa, Prasanna, Murthy, & Sridhar, 2010; Scervino et al., 2010). Estos microorganismos son calificados beneficiosos dentro de la microbiota del suelo y se aplican a este en forma de inoculantes (Karunai, 2013).

Aunque el uso de MSF es una opción adecuada, aún no ha sido utilizada de forma regular, debido principalmente a que es una estrategia que requiere de estudios básicos para utilizar de manera adecuada su potencial (Patiño & Sánchez-de-Prager, 2012). Para su implementación se requieren prioritariamente estudios de diversidad, estabilidad de las cepas utilizadas como inoculantes, mecanismos a través de los cuales ocurre la solubilización del P, y la eficiencia del proceso bajo diferentes condiciones de campo.

Con tales consideraciones, el presente estudio se propuso reconocer en un suelo Andisol ubicado en Cajibío (Cauca, Colombia) sembrado con tres sistemas de manejo en café, hongos solubilizadores de P, evaluar su eficiencia solubilizadora de fosfatos de calcio, aluminio y hierro bajo condiciones *in vitro*.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Los hongos solubilizadores de fosfatos (HSF) se aislaron de muestras de suelo rizosférico de un *Typic Melanudand* (Montoya, 2011) obtenidas de plantas de café de cuatro meses de edad y de vegetación silvestre, establecida en tres agroecosistemas: relicto de bosque secundario (RBS); café (*Coffea arabica* Var. Caturra con sombra de guamo (*Inga spp.*) (CCS); y café (*Coffea arabica* Var. Caturra) a libre exposición solar o sin sombra (CSS); ubicadas en la Finca “Santa Rosa” de la vereda “La

Aurelia” (2° 41’ 03.27’’ N, 76° 30’ 25.41’’ W) del municipio de Cajibío.

En cada agroecosistema se escogió un sitio representativo de un área de 100 m x 100 m, dentro del cual se seleccionaron tres sitios de muestreo de 10 m x 3 m (teniendo en cuenta la pendiente del terreno). En cada uno se escogieron cinco plantas en forma aleatoria, utilizando un transecto que atravesó en forma diagonal el área de estudio. De cada planta se tomaron submuestras de suelo rizosférico a una profundidad de 0-20 cm, las cuales se mezclaron para obtener muestras de 500 g. Estas se depositaron en bolsas plásticas y se almacenaron en neveras de icopor. Posteriormente, se trasladaron al laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Colombia del municipio de Palmira (Valle del Cauca, Colombia), en donde fueron almacenadas en condiciones de refrigeración hasta su uso en los análisis respectivos.

Una parte de las muestras de cada agroecosistema fue sometida a análisis químicos: pH (1:1), materia orgánica (Walkley-Black espectrometría), P (Bray II espectrometría), K (absorción atómica), Ca (absorción atómica), Mg (absorción atómica), Al (aluminio cambiante, KCl 1M), CIC (amonio acetato), S (turbidimetría), B (boro en agua caliente (espectrometría Azometina), Fe (absorción atómica), Mn (absorción atómica), Cu (absorción atómica) y Zn (absorción atómica). Los anteriores análisis se realizaron en los laboratorios de servicios analíticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT], ubicados en la ciudad de Palmira (Colombia).

A partir de otra parte de las muestras de suelo, se realizaron diluciones seriales desde 10^{-1} hasta 10^{-6} por muestra y se inoculó sobre medios de cultivo agar Pikovskaya (PVK) modificado: glucosa (10 g/l), fuente de P (0.5 g/l), sulfato de amonio (0.5 g/l), KCl (0.2 g/l), sulfato de magnesio heptahidratado (0.1 g/l), sulfato de manganeso heptahidratado (0.002 g/l), sulfato ferroso heptahidratado (0.002 g/l), NaCl (0.2 g/l), agar (15 g/l) (Pikovskaya, 1948, modificado por Cisneros); utilizando como fuente de P el fosfato tricálcico (Ca-P).

Los cultivos se incubaron a 27°C durante una semana, ubicando las cajas de Petri en posición invertida. Transcurrida una semana, se eligieron las colonias que produjeron un halo claro sobre el medio, indicador de la solubilización del Ca-P. Estas se purificaron por resiembra sobre el mismo medio.

A. Evaluación de la eficiencia solubilizadora de P (ESF) de los HSF en medio sólido

Con el fin de conocer la eficiencia solubilizadora de los hongos seleccionados, se sembraron en PVK, utilizando tres sales distintas de P: fosfatos tricálcico (Ca-P), de aluminio (Al-P) y de hierro (Fe-P). Cada uno de los hongos identificados inicialmente por su capacidad solubilizadora de P, se sembraron en cajas de Petri a razón de tres repeticiones por cada uno de los aislamientos y por cada fuente de P.

Se tomó el diámetro de la colonia y del halo que formaba por espacio de siete días, haciendo evaluaciones periódicas, hasta cuando los hongos llenaron la caja de Petri.

Para evaluar la Eficiencia Solubilizadora de P (ESF) de cada uno de los aislados fúngicos, se utilizó la Ecuación 1 (Kannapiran & Ramkumar, 2011; Maheswar & Sathiyavani, 2012; Mardad et al., 2013).

$$ESF = \frac{A}{B} \quad \text{Ec.1}$$

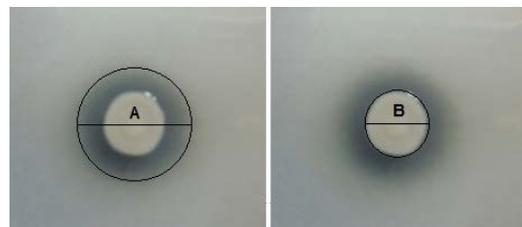
donde:

A = diámetro (mm) del halo de solubilización (diámetro colonia + halozona); y

B = diámetro (mm) de crecimiento de la colonia

La lectura de los diámetros correspondientes se hizo con ayuda del software de diseño gráfico CorelDraw X4® (Figura 1).

Figura 1. Presencia de halo como efecto de la solubilización del fosfato tricálcico



Para normalizar los datos y poder hacer comparaciones, se estableció el porcentaje entre la ESF de cada hongo y el valor más alto de ESF obtenido en cada una de las tres fuentes de P. Posteriormente, se promediaron los tres porcentajes correspondientes a cada hongo y se seleccionó a los cinco aislados con mayor ESF para su evaluación en medio líquido.

B. Evaluación de la eficiencia solubilizadora de los HSF en medio líquido

Por cada aislado fungoso se preparó una suspensión de concentración 1×10^6 esporas ml^{-1} . De cada suspensión se tomó 1 ml, el cual se depositó en un Erlenmeyer que contenía 100 ml del medio de cultivo PVK, líquido y estéril, de forma independiente para cada fuente de P. Se utilizaron tres repeticiones por cada uno de los aislamientos y por cada fuente de P. Los testigos fueron los mismos medios de cultivo a los cuales se adicionó 1 ml de agua destilada estéril. Los cultivos se mantuvieron en agitación a 150 rpm, a temperatura ambiente (28-30°C) por siete días.

Las determinaciones de P soluble se llevaron a cabo los días 0, 1, 3, 5 y 7. Para las evaluaciones se tomó de cada Erlenmeyer un volumen de 8 ml, el cual se filtró a través de membranas Millipore de 0.45 μm . Al filtrado se le midió el pH por potenciometría y el P soluble, empleando el método de Molibdovanadato (APHA-AWWA-WPCF, 1992); igualmente, se tomó de cada repetición una muestra sin filtrar para realizar conteo microbiano por el método de recuento en placa (Casañas-Rivero, Rodríguez-Rodríguez, González, Marrero-Domínguez, & Díaz-Romero, 2003; Sandnes, Eldhuset, & Wollebæk, 2005; Prijambada et al., 2009; Scervino et al., 2010; Mardad et al., 2013; Priya et al., 2013).

El porcentaje de fósforo solubilizado se calculó utilizando como referencia la concentración inicial de P contenido en el medio de cultivo, utilizando cada una de las fuentes.

C. Diseño experimental y análisis estadístico

Para evaluar la eficiencia solubilizadora de fosfato, los experimentos en medio sólido y en medio líquido se formularon como diseños completamente al azar, correspondiendo los tratamientos a las fuentes de P y a la identidad del microorganismo solubilizador. Las variables de respuesta fueron la Eficiencia Solubilizadora de P (ESF) y a la concentración (en porcentaje) de P soluble, respectivamente. Se implementaron tres repeticiones por cada tratamiento.

Para el análisis estadístico se usaron análisis de varianza, prueba de promedios (Tukey) y correlaciones de Pearson, en todos los casos con una significancia del 95%. Todos los análisis se corrieron utilizando el software SAS versión 9.1.3 (2010).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las características químicas de las muestras del suelo de los tres agroecosistemas (Tabla 1), son consistentes con las descritas para Andisoles, ya que presentan algunas de sus características como: pH ácido (<5.5), alto contenido de materia orgánica ($>10\%$) y muy baja disponibilidad de P, entre 0.84 y 2.20 ppm (CIAT, 1986; Castro, 1998; León, 2001; Bravo, Montoya, & Menjivar, 2013).

Tabla 1. Resultados del análisis químico completo de las muestras de suelo obtenidas de los tres agroecosistemas

Descripción / agroecosistema	CCS	CSS	RBS
pH	4.95	5.01	5.08
MO (g/kg)	230.30	242.00	207.00
P-Brayll (mg/kg)	2.20	1.92	0.84
K (cmol/kg)	0.51	0.51	0.33
Ca (cmol/kg)	2.46	2.33	1.86
Mg (cmol/kg)	1.43	0.77	0.66
Al (cmol/kg)	0.80	0.65	0.70
CIC (cmol/kg)	54.80	51.40	46.00
S (mg/kg)	130.70	121.70	58.40
B (mg/kg)	1.15	0.90	1.00
Fe (mg/kg)	10.55	9.29	11.30
Mn (mg/kg)	18.96	13.18	20.86
Cu (mg/kg)	0.18	0.15	0.22
Zn (mg/kg)	3.64	2.52	5.47

Los contenidos de aluminio intercambiable son bajos en los tres agroecosistemas (Castro & Gómez, 2010). Para el caso de las bases intercambiables, se presenta bajo porcentaje de saturación de ellas (cercana al 10%) en cada agroecosistema.

El contenido de K se considera medio alto. En general, la concentración de las diferentes formas de este elemento en Andisoles es moderadamente alta y está ligada a la composición del material que les da origen, así como a las condiciones ambientales en las cuales se lleva a cabo su meteorización (Meléndez & Molina, 2001).

Los contenidos de Ca y de Mg son bajos, a pesar de las aplicaciones de cal, práctica común en estos suelos. Estos factores influyen en la baja fertilidad química de estos agroecosistemas. Adecuada relación Ca/Mg: 1.72 (CCS), 3.03 (CSS) y 2.82 (RBS), y baja de K/Mg para los tres agroecosistemas con riesgo de carencia de Mg: 0.35 (CCS), 0.67 (CSS) y 0.50 (RBS).

Los micronutrientes Cu y Fe se presentan en valores bajos, no obstante el Zn, el Mn y el B presentan valores altos.

Lo anterior coincide con lo reportado por varios autores (Montoya, 2011), quienes afirman que la acidez en suelos derivados de cenizas volcánicas genera problemas de disponibilidad de nutrientes como Ca, Mg y P, pero beneficia la disponibilidad de otros como Zn y Cu.

Para Montoya (2011), los contenidos de nutrientes encontrados en estos suelos están relacionados con las características del material parental (cenizas volcánicas) y con su textura franco-limosa, en la cual predomina la fracción limo (58.7%) y, en menor cantidad, la arena (26.1%), característica ligada a la retención de nutrientes y a la escasa pérdida de éstos por lixiviación.

Los valores obtenidos de CIC en los agroecosistemas son superiores a los reportados por Montoya (2011) quien afirma haber obtenido 44.39 cmol/kg en el *Typic Melanudand* objeto de estudio en esta investigación. Lo anterior puede ser atribuido al alto contenido de materia orgánica, al uso de fertilizantes químicos y a los correctivos de acidez del suelo.

A. Identificación de hongos con capacidad solubilizadora de Ca-P, Al-P y Fe-P / Aislamientos de HSF en Ca-P

Se aislaron poblaciones fungosas con capacidad solubilizadora de fosfatos a partir de las muestras de suelos de los tres agroecosistemas, esto es: CSS, CCS y RBS (ver Tabla 2).

Tabla 2. Aislamientos de hongos provenientes de los tres agroecosistemas estudiados, obtenidos en Ca-P

Hongo	Agroecosistema		
	CCS	RBS	CSS
Con halo de solubilización	4	5	8
Sin halo de solubilización	3	1	11
Total	7	6	19
Aislamientos identificados con la siguiente denominación	UNH3, UNH8, UNH9, UNH10	UNH4, UNH6, UNH13, UNH14, UNH16	UNH1, UNH2, UNH5, UNH7, UNH11, UNH12, UNH15, UNH17

Se logró separar un total de 32 aislamientos morfológicamente diferentes (Tabla 2). Del total, 17 hongos presentaron capacidad solubilizadora en Ca-P y formación de halo.

En los resultados también se incluyen las cifras correspondientes a solubilizadores sin halo, es decir, que el P liberado lo transforman en sus componentes celulares,

en biomasa microbiana que constituye reservorio temporal del elemento, importante en el manejo de los agroecosistemas (Nautiyal, 1999; Posada, Heredia-Abarca, Sieverding, & Sánchez-de-Prager, 2012).

De acuerdo con los resultados, el menor número de aislamientos solubilizadores de fosfato se obtuvo en RBS, y la mayor cantidad se concentró en CSS. Lo anterior muestra que, aunque un número mayor de poblaciones microbianas se obtuvo de los agroecosistemas CSS y CCS, los microorganismos solubilizadores de fosfatos tuvieron mayor frecuencia relativa en RBS, cuyos contenidos de P (P-Bray II) son los más bajos, lo cual sugiere una mayor participación en la disponibilidad del P en esta condición de suelo, vía microorganismos solubilizadores (Cisneros, Patiño & Sánchez-de-Prager, 2014).

También estos resultados reflejan la baja intervención antrópica en el agroecosistema RBS comparada con los demás agroecosistemas, es decir, ellos son consecuencia del efecto de los procesos o prácticas agrícolas basadas en productos de síntesis química industrial aplicados a los agroecosistemas CSS y CCS.

Es importante mencionar que el manejo agronómico de los recursos vegetales afecta, tanto a la biodiversidad, como a la densidad de las poblaciones microbianas implicadas en su rizósfera, hechos registrados por varios investigadores, entre ellos: Wardle y Parkinson (1992); Busse, Ratcliff, Shestak, y Powers (2001); Killian et al., (2001); Moratto, Martínez, Valencia, y Sánchez (2005); Calvo, Meneses, y Zúñiga (2008); Conde (2011); y Hefnawy, Essa, y Amar (2012).

Varios estudios han evidenciado la capacidad solubilizadora de fosfatos por diferentes especies microbianas (Khan, Zaidi, Ahemad, Oves, & Wani, 2010). La variación de los datos en comparación con otros autores en medios con fosfatos, puede depender del género o especie del microorganismo, ya que existen microorganismos que poseen una mayor actividad solubilizadora que otros (Rodríguez & Fraga, 1999).

B. Evaluación *in vitro* de la eficiencia solubilizadora de los HSF en medio sólido

El análisis de varianza para cada fuente de P, evidenció diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) en la ESF de los aislamientos fúngicos (Figura 2), encontrando que la secuencia de solubilización fue Ca-P > Al-P > Fe-P.

Figura 2. Halos de solubilización producidos por algunos de los hongos aislados en las tres fuentes de P utilizadas



Lo anterior ha sido registrado por investigadores como Banik y Dey (1983), Leyval y Berthelin (1985), Whitelaw, Harden y Helyar, (1999), Barroso y Nahas (2005), Pérez, Sulbarán, Ball, y Yarzabal (2007), Chang y Yang (2009), Sulbarán, Pérez, Ball, Bahsas, & Yarzabal (2009), Karunai, Paul, Ravindran, y Vijaya, (2011), Posada et al., (2012), Acevedo, Galindo, Prada, Navia, & Romero (2014) y Asuming-Brempong y Aferi (2014), quienes encontraron que algunos microorganismos presentaron alta capacidad de solubilización de Ca-P, en comparación con otras fuentes como Al-P y Fe-P.

Dicha solubilización depende del pH y se explica a través de los valores de Kps (constante del producto de solubilidad o constante de equilibrio de iones en solución) para los diferentes fosfatos (Illmer, Barbato, & Schinner, 1995; Fankem et al., 2006; Khan, Zaidi, & Wani, 2007; Fankem et al., 2008).

En Ca-P el análisis de promedios de Tukey permitió identificar que los cinco aislamientos fúngicos con mayores ESF fueron: UNH3, UNH2, UNH1, UNH6 y UNH8. En consecuencia, el aislado UNH16 presentó el menor valor de ESF.

En Al-P se encuentra que los cinco aislamientos con mayor valor de ESF fueron: UNH4, UNH2, UNH5, UNH9 y UNH6, y que el aislamiento UNH13 presenta el menor valor ESF.

En Fe-P, la prueba de Tukey determinó los cinco aislamientos más eficientes: UNH1, UNH13, UNH7, UNH10 y UNH8, y que los aislados UNH2, UNH3, UNH4, UNH5, UNH6, UNH9, UNH11; y el que obtuvo el valor más bajo: UNH17 (Tabla 3).

Con esta información se procedió a seleccionar los cinco aislamientos con mayor ESF, para lo cual, en cada medio de cultivo, se asumió como máxima ESF el valor más alto obtenido por uno o varios aislamientos (100%) y se establecieron ESF relativas con respecto a este valor (ver Tabla 4). Considerando lo anterior, se seleccionaron los aislados: UNH1, UNH2, UNH3, UNH4 y UNH5.

Tabla 3. Promedios de ESF de los aislamientos fúngicos

Aislamiento	Fuente de fosfato		
	Ca-P	Al-P	Fe-P
UNH4	2.071 efgh	1.862 a	1.000 g
UNH2	2.861 b	1.769 a	1.000 g
UNH6	2.493 cd	1.365 Cd	1.000 g
UNH17	1.877 ghi	1.000 Hi	1.000 g
UNH13	2.207 def	0.938 I	1.283 b
UNH11	2.036 efgh	1.329 cde	1.000 g
UNH16	1.709 i	1.078 gh	1.066 f
UNH12	2.163 efg	1.139 Fg	1.109 de
UNH10	1.895 fgghi	1.290 de	1.146 d
UNH8	2.315 cde	1.232 ef	1.117 de
UNH3	4.707 a	1.000 hi	1.000 g
UNH1	2.540 bc	1.062 gh	1.841 a
UNH15	1.840 ghi	1.076 gh	1.056 f
UNH14	2.066 efgh	1.092 gh	1.086 ef
UNH7	1.830 h	1.338 cd	1.216 c
UNH9	1.992 efghi	1.419 C	1.000 g
UNH5	2.008 efghi	1.662 B	1.000 g

Tabla 4. Valores de eficiencia con relación al aislamiento de mejor comportamiento en cada fuente de fosfato

Aislamiento	Fuente de fosfato			Promedio (%)
	Ca-P (%)	Al-P (%)	Fe-P (%)	
UNH1	54.0	57.1	100.0	70.3
UNH2	60.8	95.0	54.3	70.0
UNH3	100.0	53.7	54.3	69.3
UNH4	44.0	100.0	54.3	66.1
UNH5	42.7	89.2	54.3	62.1
UNH6	53.0	73.3	54.3	60.2
UNH7	38.9	71.8	66.0	58.9
UNH8	49.2	66.2	60.7	58.7
UNH9	42.3	76.2	54.3	57.6
UNH10	40.3	69.3	62.3	57.3
UNH11	43.3	71.4	54.3	56.3
UNH12	45.9	61.2	60.2	55.8
UNH13	46.9	50.4	69.7	55.6
UNH14	43.9	58.7	59.0	53.8
UNH15	39.1	57.8	57.4	51.4
UNH16	36.3	57.9	57.9	50.7
UNH17	39.9	53.7	54.3	49.3

C. Estimación de P soluble por parte de los hongos seleccionados

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en porcentaje de P soluble ($p < 0.01$), entre los aislados fúngicos dentro de cada fuente de fosfato.

En Ca-P, la prueba de Tukey identificó que los aislamientos con valores de porcentaje de P soluble más elevados fueron UNH4 y UNH5, los cuales no presentaban diferencias estadísticas. Por otro lado el aislamiento UNH1 presentó el menor valor.

Con respecto a Al-P, los aislados UNH5 y UNH3 presentaron los valores más altos y el aislado UNH1 obtuvo la concentración de P soluble más baja.

Finalmente, en Fe-P los aislados UNH3 y UNH1, alcanzaron los promedios más altos y el aislado UNH4 el más bajo (ver Tabla 5).

Tabla 5. Concentración de P soluble (en %) en los tres medios de cultivo inoculados con los aislamientos fúngicos

Aislamiento	Concentración de Fósforo (%)					
	Ca-P		Al-P		Fe-P	
UNH5	48.4	Ab	17.0	a	7.0	c
UNH4	50.4	A	11.4	d	5.3	e
UNH3	45.9	C	14.4	b	10.1	a
UNH2	46.1	Bc	13.0	c	6.1	d
UNH1	38.5	D	11.0	e	8.1	b
Testigo	15.6	E	6.4	f	4.9	f

Con respecto a las poblaciones de hongos (log en base 10 de UFC/ml), se observó que Ca-P y Al-P registraron los valores promedio más elevados para cada aislamiento (alrededor de 10^4 UFC/ml), seguidos por Fe-P (del orden de 10^3 UFC/ml). Es importante destacar que los valores obtenidos en Ca-P son cercanos a los alcanzados en Al-P y en Fe-P (ver Tabla 6).

En Ca-P y Al-P, el aislado UNH5 registró el promedio más alto y en Fe-P el UNH2. Los aislamientos que registraron los menores promedios fueron: UNH2 en Ca-P, UNH1 en Al-P y UNH4 en Fe-P (ver Tabla 6).

Tabla 6. Valores promedio de población fúngica dentro de cada fuente de fosfato

Aislamiento	Población (Log ₁₀ de las UFC/ml)		
	Fuente de Fósforo		
	Ca-P	Al-P	Fe-P
UNH5	4.236	4.412	3.941
UNH4	3.792	4.007	3.652
UNH3	4.172	3.971	3.880
UNH2	3.608	3.499	3.994
UNH1	3.670	2.726	3.873
Testigo	-	-	-

Por otro lado, se observa que el pH disminuye en todas las fuentes de fosfato, entre dos y tres unidades aproximadamente, en comparación con el pH del testigo (ver Tabla 7). La disminución fue más marcada cuando las fuentes de P utilizadas fueron Al-P y Fe-P; esta última la fuente que más acidificó, con respecto al testigo.

Los aislamientos fúngicos que causaron una disminución del pH en cada fuente de P, con respecto al

testigo, en orden decreciente, fueron: UNH2, UNH4, UNH1, UNH5 y UNH3 en Ca-P, UNH1, UNH2, UNH4, UNH3 y UNH5 en Al-P, mientras que en Fe-P: UNH4, UNH1, UNH5, UNH3 y UNH2, respectivamente.

Tabla 7. Valores de pH en los tres medios de cultivo inoculados con los aislamientos fúngicos

Aislamiento	Fuente de fósforo		
	Ca-P	Al-P	Fe-P
UNH5	4.6	3.7	3.1
UNH4	4.9	4.4	3.8
UNH3	4.6	4.0	3.0
UNH2	4.9	4.5	2.9
UNH1	4.8	4.5	3.3
Testigo	6.6	6.0	5.8

De acuerdo con los resultados obtenidos, los aislamientos fúngicos evidencian una disminución pronunciada del pH. Lo anterior puede ser causado, por sustancias capaces de liberar H⁺, como iones amonio, ácidos orgánicos e inorgánicos, tal vez, en mayores cantidades en el grupo fúngico (Asea, Kucey, & Stewart, 1988; Parks, Olson, Brinckman, Baldi, 1990; Goldstein, 1994; Kim, McDonald, Jordan, 1997; Krishnaraj, Khanuja & Sadashivam, 1998; Whitelaw et al., 1999; Trivedi & Sa, 2008; Vyas & Gulati, 2009; Paredes & Espinosa, 2010; Habte & Osorio, 2012; Mardad et al., 2013; Prada, 2013; Saxena, Basu, Jaligam, & Chandra, 2013), considerado como uno de los principales mecanismos microbiológicos por el cual los compuestos fosfatados son movilizados.

En los aislamientos fúngicos se presentó una relación inversa entre pH y P soluble en las tres fuentes de fosfato utilizadas, con coeficientes de correlación de Pearson para Ca-P de $r = -0.981$, Al-P, $r = -0.978$ y en Fe-P, $r = -0.924$. Resultados similares fueron registrados por Posada et al. (2012), Prada (2013) y Mardad et al. (2013).

Los resultados anteriores mostraron cambios en el valor de pH de los medios de cultivo y variación en el contenido de P soluble, causados por la actividad de estos microorganismos, los cuales permitieron inferir su participación activa en la nutrición de los vegetales sembrados en los tres agroecosistemas y las potencialidades que presentan para el desarrollo de biofertilizantes.

Como consecuencia de ello, se escogieron los dos fúngicos más eficientes en la solubilización de los fosfatos empleados (i.e., UNH3 y UNH5), para su identificación molecular, estimación de la producción de ácidos

orgánicos y evaluación como biofertilizantes en el crecimiento y desarrollo de plántulas de café en invernadero, cuyos resultados están pendientes.

IV. CONCLUSIONES

A partir de la rizósfera de plantas de café y vegetación silvestre crecidas en tres agroecosistemas (café con y sin sombra, y relicto de bosque secundario) de un *Typic Melanudand* de Cajibío (Cauca), se identificaron hongos con capacidad solubilizadora de fosfatos de Ca, Al y Fe. El pH de las tres fuentes de fosfatos empleadas disminuyó a través del tiempo, aunque la Fe-P fue la que más acidificó de las tres. Con respecto a las poblaciones de hongos, se observó un valor similar en las tres fuentes de P.

V. REFERENCIAS

- Acedo, E., Galindo C., Prada, F., Navia, M., & Romero, H. M. (2014). Phosphate-solubilizing microorganisms associated with the rhizosphere of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Colombia. *Applied Soil Ecology*, 80, 26-33.
- Alia, A. A., Shahida, N. K., Bushra, J., & Saeed, A. A. (2013). Phosphate solubilizing bacteria associated with vegetables roots in different ecologies. *Pak J Bot*, 45(S1), 535-544.
- APHA-AWWA-WPCF. (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales* (17ª edición). Madrid, España: Díaz de Santos.
- Asea, P. E. A., Kucey, R. M. N., Stewart, J. W. B. (1988). Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture and soil. *Soil Biol. Biochem.*, 20, 459-464.
- Asuming-Brempong, S. & Aferi, N. K. (2014). Isolation of phosphate solubilizing bacteria from tropical soil. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*, 3(1), 8-15.
- Banik, S. & Day, B. K. (1983). Alluvial soil microorganisms capable of utilizing insoluble aluminium phosphate as a sole source of phosphorus. *Zbl. Mikrobiol.* 138. 437-442.
- Barroso, C. B. & Nahas, E. (2005). The status of soil phosphate fractions and the ability of fungi to dissolve hardly soluble phosphates. *Applied Soil Ecology*, 29, 73-83.
- Barroso, C. B., Pereira, G. T., Nahas, E. (2006). Solubilization of CaHPO_4 and AlPO_4 by *Aspergillus niger* in culture media with different carbon and nitrogen sources. *Brazilian Journal of Microbiology*, 37,434-438.
- Besoain, E. (1985). Mineralogía de arcillas de suelos. San José, Costa Rica: IICA.
- Bravo, I., Marquinez. L. & Tose, S. (2007). Fraccionamiento del fósforo y correlación con la materia orgánica en dos suelos del Departamento del Cauca. *Suelos Ecuatoriales* 37(2), 147-154.
- Bravo, I., Montoya, J. C., & Menjivar, J. C. (2013). Retención y disponibilidad de fósforo asociado a la materia orgánica en un *Typic Melanudands* del departamento del Cauca. Colombia. *Acta Agronómica*, 62(3), 261-267.
- Busato, J. G., Lima, L. S., Aguiar, N. O., Canellas, L. P., & Olivare, F. L. (2012). Changes in labile phosphorus forms during maturation of vermicompost enriched with phosphorus-solubilizing and diazotrophic bacteria. *Bioresource Technology*, 110, 390-395.
- Busse, M., Ratcliff, A., Shestak, C., & Powers, R. (2001). Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control on soil microbial communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 1777-1789.
- Calvo V., P., Meneses, L. R., & Zúñiga D., D. (2008). Estudio de las poblaciones microbianas de la rizósfera del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en zonas altoandinas. *Ecología Aplicada*, 7(1,2), 141-148.
- Casañas-Rivero, R., Rodríguez- Rodríguez, E., González, M., Marrero-Domínguez, A., & Díaz-Romero, C. (2003). Contenido de ácidos orgánicos en cinco variedades de patatas cultivadas en Tenerife (España). *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 4(1), 16-21.
- Castro, H. & Gómez, M. (2010). *Fertilidad de Suelos y Fertilizantes*. En: H. Burbano & F. Silva (Eds.). *Ciencia del Suelo. Principios básicos* [Capítulo IV], (pp. 217-303). Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Castro, H. (1998). *Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas* [manual técnico]. Tunja, Colombia: Instituto Universitario Juan de Castellanos.
- Chang, C. H. & Yang, S. S. (2009). Thermo-tolerant phosphate-solubilizing microbes for multi-functional biofertilizer preparation. *Bioresource Technology*, 100, 1648-1658.
- Charana W. & Yoon, M. (2013). Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria and their co-inoculation efficiency on tomato plant growth and phosphorous uptake. *African Journal of Microbiology Research* 7(3), 266-275.
- CIAT. (1986). *Efficient utilization of phosphate fertilizers in acid soil of the tropics and sub-tropics* [Annual report. IFDC/CIAT. Phosphate Project. Cali, Colombia: CIAT.
- Cisneros, C., Patiño, C., & Sánchez-de-Prager, M. (2014). Solubilización de fosfatos por microorganismos asociados a suelos de tres agroecosistemas cafeteros de la zona andina colombiana. En: *XVII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Memorias*. Popayán, Cauca: Colombia.
- Conde, A. P. (2011). Efecto del glifosato sobre comunidades microbianas benéficas y patógenas del suelo en Uruguay [tesis - Maestría en Biología, opción Microbiología]. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República.
- Deepa, V., Prasanna, A., Murthy, P. B., & Sridhar, R. (2010). Efficient phosphate solubilization by fungal strains isolated from rice-rhizosphere soils for the phosphorus release. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 6(4), 487-492.
- Fankem, h., Ngo-Nkot, I., Deubel, a., Quinn, j., Merbach, W., Etoa, F-X., & Nwaga, D. (2008). Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains of *Pseudomonas fluorescens* Isolated from acidic soils of Cameroon. *African Journal of Microbiology Research* 2(7), 171-178.
- Fankem, H., Nwaga, D., Deubel, A., Dieng, L., Merbach, W. & Etoa, F. X. (2006). Occurrence and functioning of phosphate

- solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. *Afr. J. Biotechnol.*, 5, 2450-2460.
- Fernández, L. A., Zalba, P., Gómez, M. & Sagardoy, M. A. (2005). Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. *Cienc. Suelo*, 23(1), 31-37.
- Goldstein, A. H. (1994). Involvement of the quinoprotein glucose dehydrogenase in the solubilization of exogenous phosphates by Gram-negative bacteria. En: A. Torriani-Gorini, E. Yagiland, S. Silver (Eds.), *Phosphate in microorganisms, cellular and molecular biology* (pp. 197-203). Washington, DC: ASM.
- Habte, M. & Osorio, N. W. (2012). Effect of nitrogen form on the effectiveness of a phosphate-solubilizing fungus to dissolve rock phosphate. *J Biofertil Biopestici*, 3, 127.
- Hefnawy, M.A., Essa, O. A., & Amar, A. A. (2012). Interaction of some herbicides with phosphate solubilization by *Aspergillus niger* and *Aspergillus fumigatus*. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(10), 518-524.
- Humaira, Y. & Asghari, B. (2011). Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from rhizosphere soil of weeds of khewra salt range and attock. *Pak. J. Bot.* 43(3), 1663-1668.
- Illmer, P., Barbato, A. & Schinner, F. (1995). Solubilization of hardly-soluble $AlPO_4$ with P-solubilizing microorganisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 27, 265-270.
- Jacobs, H., Boswell, G. P., Harper, F. A., Ritz, K., Davidson, F. A. & Gadd, G. M. (2002). Solubilization of metal phosphates by *Rhizoctonia solani*. *Mycol. Res.*, 106 (12), 1468-1479.
- Jaramillo, D. (2009). Variabilidad espacial de las propiedades ándicas de un Andisol hidromórfico del oriente antioqueño (Colombia). *Rev. Fac. Nal. Agr.* 62(1), 4907-4921.
- Kannapiran, E. & Ramkumar, V. S. (2011). Isolation of phosphate solubilizing bacteria from sediments of Thondi coast, Palk Strait, Southeast Coast India. *Ann Biol Res*, 2, 157-163. *Annals of Biological Research*, 2(5), 157-163.
- Karunai, B. (2013). Preparation of phosphate solubilizing microbial inoculant using vermicompost as a carrier material. *Research Journal of Agricultural Sciences* 4(2), 146-149.
- Karunai, B., Paul, J. A., Ravindran, A. D., & Vijaya, V. (2011). Quantitative estimation of insoluble inorganic phosphate solubilization. *International Journal of Science and Nature*, 2(2), 292-295.
- Khan, M. S., Zaidi, A. & Wani, P. A. (2007). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture – A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 27, 29-43.
- Khan, M. S., Zaidi, A., Ahemad, M., Oves, M. and Wani, P. A. (2010). Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi-current perspective. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 56, 73-98.
- Killian, M., Steiner, U., Krebs, B., Junge, H., Schmiedeknecht, G. & Hain, R. (2001). FZB24 *Bacillus subtilis* mode of action of a microbial agent enhancing plant vitality. *Pflanzenschutz - Nachrichten Bayer*, 1, 72-93.
- Kim, K. Y., McDonald, G. A., & Jordan, D. (1997). Solubilization of hydroxyapatite by *Enterobacter agglomerans* and cloned *Escherichia coli* in culture medium. *Biol. Fertil. Soils*, 24, 347-352.
- Krishnaraj, P. U., Khanuja, S. P. S., & Sadashivam, K. V. (1998). Mineral phosphate solubilization (MPS) and mps genes - components in eco-friendly P fertilization. Bangalore, En *Abstracts of Indo US Workshop on Application of Biotechnology for Clean Environment and Energy* (p.27). Bangalore, India: National Institute of Advanced Studies.
- León, L. (2001). Evaluación de la fertilidad del suelo. En: F. Silva (Ed.). *Fertilidad de suelos: diagnóstico y control* [2a ed.]. Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Leyval, C. & Berthelin, J. (1985). Comparison between the utilization of phosphorus from insoluble mineral phosphates by ectomycorrhizal fungi and rhizobacteria. En: *1st European Symposium on Mycorrhizae* (pp. 345-349). Paris, Francia: Institut National de la Recherche Agronomique.
- Maheswar, N. U. & Sathiyavani, G. (2012). Solubilization of phosphate by *Bacillus* Sps. from groundnut rhizosphere (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 4(8), 4007-4011.
- Mardad, I., Serrano, A., & Soukri, A. (2013). Solubilization of inorganic phosphate and production of organic acids by bacteria isolated from a Moroccan mineral phosphate deposit. *African Journal of Microbiology Research*, 7(8), 626- 635.
- G. Melendez, & E. Molina (Eds.). (2001). *Memoria. Fertilidad de suelos y manejo de la nutrición de los cultivos en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Montoya, J. C. (2011). *Fraccionamiento y caracterización de la materia orgánica y su relación con la retención de fósforo en dos Andisoles con sistemas diferentes de producción en la zona cafetera colombiana* [tesis de grado- Doctorado en Ciencias Agropecuarias]. Universidad Nacional de Colombia: Palmira.
- Moratto, C., Martínez, L. J., Valencia, H., & Sánchez, J. (2005). Efecto del uso del suelo sobre hongos solubilizadores de fosfato y bacterias diazotróficas en el páramo de Guerrero (Cundinamarca). *Agronomía Colombiana*, 23(2), 299-309.
- Nautiyal, C. S. (1999). An efficient microbiological growth medium for screening of phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS Microbiol. Lett.*, 170, 265-270.
- Paredes, M. & Espinosa, D. (2010). Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfato, una revisión crítica. *Terra Latinoamericana*, 28(1), 61-70.
- Parks, E. J., Olson, G. J., Brinckman, F. E., & Baldi, F. (1990). Characterization by high performance liquid chromatography (HPLC) of the solubilization of phosphorus in iron ore by a fungus. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 5, 183-189.
- Patiño T. & Sánchez-de-Prager, M. (2012). Aislamiento e identificación de bacterias solubilizadoras de fosfatos, habitantes de la rizósfera de chontaduro (*B. gassipaes kunth*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 10(2), 177-187.
- Pérez, E., Sulbarán, M., Ball, M. M. and Yarzabal, L. A. (2007). Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. *Soil Biology & Biochemistry* 39, 2905-2914.
- Posada, R. H., Heredia-Abarca, G., Sieverding, E., & Sánchez-de-Prager, M. (2013). Solubilization of iron and calcium phosphates

- by soil fungi isolated from coffee plantations. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59(2), 185-196.
- Prada S., L. D. (2013). Identificación de ácidos orgánicos causantes de la solubilización de fósforo inorgánico sintetizados por actinomicetos aislados de suelos en los andes orientales colombianos [tesis de grado: Maestría en Ciencias, Microbiología]. Universidad Nacional de Colombia: Bogotá.
- Prijambada, I. D., Widada, J., Kabirun, S., & Widiyanto, D. (2009). Secretion of organic acids by phosphate solubilizing bacteria isolated from oxisols. *J. Tanah Trop.* 14 (3), 245-251.
- Priya, S., Panneerselvam, T. & Sivakumar, T. (2013). Evaluation of indole-3-acetic acid in phosphate solubilizing microbes isolated from rhizosphere soil. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci* 2(3), 29-36.
- Reena, T, Dhanya, H., Deepthi, M.S., & Pravitha, D. L. (2013). Isolation of phosphate solubilizing bacteria and fungi from rhizospheres soil from banana plants and its effect on the growth of amaranthus cruentus L. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSR-JPBS)*, 5(3), 06-11.
- Rodríguez, H. & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol. Adv.*, 17, 319-339.
- Sandnes, A., Eldhuset, T. D., & Wollebæk, G. (2005). Organic acids in root exudates and soil solution of Norway spruce and silver birch. *Soil Biology & Biochemistry*, 37, 259-269.
- Satti, P., Mazzarino, M. J., Roselli, L., & Crego, P. (2007). Factors affecting soil P dynamics in temperate volcanic soils of southern Argentina. *Geoderma* 139, 229-240.
- Saxena, J., Basu, P., Jaligam, V., & Chandra, S. (2013). Phosphate solubilization by a few fungal strains belonging to the genera *Aspergillus* and *Penicillium*. *African Journal of Microbiology Research*, 7(41), 4862-4869.
- Scervino, J. M., Mesa, M. P., Della, M. I., Recchi, M., Sarmiento M., & Godeas, A. (2010). Soil fungal isolates produce different organic acid patterns involved in phosphate salts solubilization. *Biol. Fertil. Soils.*, 46,755-763.
- Sulbarán, M., Pérez, E., Ball, M. M., Bahsas, A., & Yarzabal, L. A. (2009). Characterization of the mineral phosphate-solubilizing activity of *Pantoea agglomerans* MMB051 isolated from an iron-rich soil in southeastern Venezuela (Bolívar State). *Current Microbiology*, 58(4), 378-383.
- Trivedi, P. & Sa, T. (2008). *Pseudomonas corrugata* (NRRL B-30409) mutants increased phosphate solubilization, organic acid production, and plant growth at lower temperatures. *Curr Microbiol.*, 56(2), 140-144.
- Vyas, P. & Gulati, A. (2009). Organic acid production *in vitro* and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphate-solubilizing fluorescent *Pseudomonas*. *BMC Microbiology*, 9, 174.
- Wardle, D. & Parkinson, D. (1992). The influence of the herbicide glyphosate on interspecific interactions between four fungal species. *Mycology Research*, 96, 180-186.
- Whitelaw, M. A., Harden, T. J. & Helyar, K. R. (1999). Phosphate solubilization in solution culture by the soil fungus *Penicillium radicum*. *Soil Biol. Biochem.*, 32, 655-665.
- Yarzabal, L.A. (2010). Agricultural development in tropical acidic soils, potential and limits of phosphate-solubilizing bacteria. *Soil Biology and Agriculture in the Tropics*, 21, 209-233.

CURRÍCULOS

Carlos A. Cisneros R. Químico con Maestría en Ciencias Química (área Química Orgánica) de la Universidad del Valle (Cali, Colombia). Próximo a doctorarse en Ciencias Agrarias (área Suelos) en la Universidad Nacional de Colombia (Palmira). Profesor catedrático de las Universidades Santiago de Cali y Nacional de Colombia (Palmira).

Marina Sánchez de Prager. Ingeniera Agrónoma con Maestría en Suelos - Énfasis en Microbiología del Suelo de la Universidad Nacional de Colombia (Palmira). Doctora en Ingeniería Agronómica de la Universidad Politécnica de Madrid. Líder del grupo de investigación en Agroecología de la Universidad Nacional de Colombia (Palmira).