

# EFFECTO DE CORTO PLAZO DE DISTINTAS FUENTES DE AZUFRE SOBRE LA ACIDEZ Y LA DISPONIBILIDAD DE ESTE ELEMENTO EN LA ZONA RADICAL DEL CAFÉ (*Coffea arabica* L.)

Hernán González-Osorio\*, Siavosh Sadeghian-Khalajabadi\*

---

## RESUMEN

**GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN KH., S. Efecto de corto plazo de distintas fuentes de azufre sobre la acidez y la disponibilidad de este elemento en la zona radical del café (*Coffea arabica* L.). Cenicafé 57(2):132-145. 2006**

En fincas de Antioquia, Caldas y Quindío se evaluaron los cambios en los niveles de azufre disponible (S) y de pH en la zona de influencia radical del café (20cm de profundidad) debidas a la aplicación de diferentes dosis de azufre elemental, yeso (sulfato de calcio) y sulfato de amonio; en tres suelos contrastantes por sus características físicas y químicas. Se tomaron muestras del suelo entre 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20cm, tres y seis meses después de aplicar los tratamientos. El suministro de las diferentes fuentes y dosis, incrementó el S en más de 10mg.kg<sup>-1</sup> y se alcanzaron los mayores niveles de este elemento al aplicar la fuente elemental, seguido por el sulfato de calcio y el sulfato de amonio. La solubilidad de estos fertilizantes constituyó un factor determinante en el movimiento del S a través de los 20cm evaluados; la fuente elemental se acumuló en los primeros 10cm por su elevado efecto residual, el S aportado por el sulfato de amonio se lixivió tres meses luego de ser aplicado y el del yeso se distribuyó de manera uniforme en los 20cm. Mientras que con las fuentes sulfatadas no hubo variaciones en el pH durante el tiempo de la evaluación, con la fuente elemental las reducciones estuvieron entre 0,6 y 1,3 unidades.

**Palabras claves:** Café, fertilización, yeso, sulfato de amonio, azufre elemental.

---

## ABSTRACT

In farms located in Antioquia, Caldas and Quindío the changes in the available sulfur (S) levels and those of pH in the zone of coffee radical influence (20cm of depth) due to the application of different doses of elemental sulfur, gypsum (calcium sulfate) and ammonium sulfate were evaluated in three soils with contrasting physical and chemical characteristics. Samples were taken from soils between 0-5, 5-10, 10-15 and 15-20cm, three and six months after applying the treatments. The application of the different sources and doses increased the S in more than 10mg.kg<sup>-1</sup> and the greatest levels of this element were obtained with the use of elemental source, followed by calcium sulfate and ammonium sulfate. The solubility of these fertilizers constituted a determining factor in the movement of the S through the 20cm evaluated; the elemental source was accumulated in the first 10cm due to its high residual effect, the S contributed by the ammonium sulfate leached three months after being applied and the gypsum was uniformly distributed in the 20cm. Whereas with the sulfated sources there were no variations in pH during the time of the evaluation, with the elementary source the reductions were between 0.6 and 1.3 units.

**Keywords:** Coffee, fertilization, gypsum, ammonium sulfate, elemental sulfur.

---

\* Asistente I de Investigación e Investigador Científico II, respectivamente. Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

El azufre (S) es considerado el cuarto elemento más importante en la agricultura, después del nitrógeno, el fósforo y el potasio. Su papel en la nutrición vegetal está relacionado con la estructuración de las proteínas, los aminoácidos y las vitaminas, además de la resistencia al frío y al ataque de plagas y enfermedades (3, 4). La materia orgánica del suelo y los materiales piroclásticos constituyen las reservas más importantes de este nutrimento, y proporcionan en muchos casos la cantidad suficiente para suplir las necesidades de los cultivos (5). No obstante, los procesos erosivos (16), la extracción por los cultivos (11) y la lixiviación a través del perfil del suelo (24), han incrementado la posibilidad de encontrar zonas deficientes en este elemento, lo que hace necesario su inclusión en los planes de fertilización.

Los fertilizantes azufrados comúnmente utilizados en la agricultura, incluyen dentro de sus formulaciones S en forma sulfatada o en forma elemental y su efectividad agronómica es determinada con base en la capacidad para suministrar sulfatos aprovechables por las plantas (12). Bajo este esquema, las fuentes sulfatadas suelen ser las más efectivas pues es en esta forma que las plantas absorben el elemento, aunque dicha condición puede ser poco favorable en suelos con alto contenido de arenas y en aquellas donde las condiciones de pluviosidad son altas debido a una mayor pérdida por lixiviación. En contraste, las fuentes portadoras de la forma elemental, pueden presentar residualidad a mediano y largo plazo, debido a que requieren transformaciones químicas y biológicas adicionales mediadas por la temperatura y la humedad del suelo; así mismo, su reconocido impacto en la acidez del suelo (13), les confiere un potencial mayor como un correctivo del pH que como fuente fertilizante.

En el presente estudio se evaluó la disponibilidad a corto plazo del S en la

zona radical del cafeto y la modificación de la acidez resultantes de la aplicación de diferentes fuentes y dosis de azufre, en tres suelos contrastantes por sus características físicas y químicas en la zona cafetera colombiana.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los resultados que se van a presentar en este documento, fueron obtenidos como información complementaria de la investigación “Caracterización del azufre en algunos suelos de la zona cafetera colombiana y su relación con la fertilización”, en la cual se evaluaron entre otros, la respuesta del café a diferentes fuentes y dosis de este elemento en tres cafetales establecidos en los departamentos de Antioquia, Caldas y Quindío (Tabla 1), en suelos con niveles de S disponible inferiores a  $6\text{mg.kg}^{-1}$ , y contrastantes en algunas de sus características físicas y químicas (Tablas 2 y 3), bajo un diseño experimental de Bloques Completos al Azar en arreglo factorial  $3 \times 2 + 1$  (3 fuentes, 2 dosis y 1 testigo sin azufre).

Los tratamientos fueron tres fuentes, azufre elemental, sulfato de calcio o yeso, y sulfato de amonio y dos dosis de azufre ( $50$  y  $100\text{kg.ha}^{-1}\text{.año}^{-1}$ ); además de un testigo sin fertilización azufrada (Tabla 4).

En marzo de 2002 se aplicaron los tratamientos con la fertilización convencional de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio; siguiendo las recomendaciones de Cenicafé (21), y teniendo como base los resultados de un análisis de suelo efectuado en cada lote quince días antes (Tabla 2). Tres y seis meses después (junio y septiembre, respectivamente), se tomaron las muestras de suelo en cuatro profundidades, entre 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20cm, en la zona de aplicación de los fertilizantes (entre los 10 y 20cm del tallo). Para la cuantificación

**Tabla 1.** Localización geográfica y valores de la precipitación de las localidades.

Departamento	Municipio	Finca	Unidad cartográfica de suelos	Altitud (m)	Pluviosidad (mm.año <sup>-1</sup> )
Antioquia	Fredonia	El Amparo	Venecia	1.650	2.229
Caldas	Chinchiná	La Cristalina	Chinchiná	1.400	2.322
Quindío	Buenavista	San Alberto	Buenavista	1.450	2.124

**Tabla 2.** Características químicas de los suelos en los lotes evaluados.

Finca	S (mg.kg <sup>-1</sup> )	P	MO (g.kg <sup>-1</sup> )	pH	K	Ca	Mg (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	Al
El Amparo	3	4	74	4,6	0,62	2,1	1,1	6,2
La Cristalina	6	23	102	5,2	0,22	3,4	0,9	0,5
San Alberto	3	19	74	5,1	0,12	2,1	0,2	0,7

**Tabla 3.** Características físicas de los suelos en los lotes.

Finca	Arena	Limo (%)	Arcilla	Clase textural	Densidad		Porosidad Total (%)	Retención humedad		
					Aparente Mg/m3	Real		0,1	0,3	15
El Amparo	26	26	48	Arcilloso	1,03	2,55	59,61	46,99	42,19	32,77
La Cristalina	47	31	22	Franco	0,88	2,47	64,37	63,44	60,39	40,20
San Alberto	52	24	24	Franco arcilloso arenoso	0,98	2,51	60,96	42,22	35,73	26,57

**Tabla 4.** Descripción de los tratamientos.

Fuente	Dosis de S (kg.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> )	Convención	Cantidad de la fuente (kg.ha <sup>-1</sup> )
Testigo sin azufre	0	Testigo	0
Sulfato de calcio	50	SCA 50	345
	100	SCA 100	690
Sulfato de amonio	50	SAM 50	208
	100	SAM 100	416
Azufre elemental	50	SE 50	51
	100	SE 100	102

del S disponible se siguió la metodología propuesta por Fox *et al.* (10), y el pH por el método potenciométrico (relación suelo: agua, 1:1).

La información del S y pH se sometió a un análisis de varianza bajo el diseño experimental aplicado y se utilizó la prueba de comparación de contrastes y determinación de tendencias. Prueba Tukey al 5% para comparar las fuentes y prueba DMS para efectuar la comparación entre las épocas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Finca El Amparo.

**Disponibilidad del S.** Para todas las fuentes y dosis, la aplicación de S produjo incrementos diferenciales en la disponibilidad de este elemento tanto en junio como en septiembre (Figura 1). La concentración de S fue mayor cuando se aplicaron las fuentes en dosis de 100kg.ha<sup>-1</sup>; sin embargo, con la adición de 50kg.ha<sup>-1</sup> se alcanzaron niveles que son considerados medios y altos para la mayoría de los cultivos (15).

Con el azufre elemental (SE), el S fue superior al de las otras dos fuentes en junio y septiembre, resultado que se podría relacionar con el elevado efecto residual que caracteriza a dicha fuente.

Al emplear sulfato de calcio (SCA), el contenido de S en el mes de junio fue superior al testigo en 18mg.kg<sup>-1</sup>; los niveles alcanzados disminuyeron luego de seis meses de la aplicación (>35%). Nogueira y Melo (18) obtuvieron resultados similares en suelos de Brasil.

Cuando se suministró el S en forma de SAM, a los tres meses después de la aplicación se registraron contenidos de 13

y 19mg.kg<sup>-1</sup>, con las dosis de 50 y 100kg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En septiembre, los niveles de la dosis 50kg.ha<sup>-1</sup> se redujeron hasta en un 54%.

**Niveles de pH.** En el mes de junio todos los tratamientos incluyendo el testigo, mostraron incrementos en la acidez (reducción del pH) superiores a 0,32 unidades en comparación al valor registrado en el mes de marzo, pH=4,6, (Figura 2), comportamiento que se puede atribuir al efecto de los abonos nitrogenados que se aplicaron con los tratamientos, los cuales en su proceso de nitrificación del amonio generaron un excedente de H<sup>+</sup> que no alcanzó a ser neutralizado por la liberación de iones OH<sup>-</sup> y bicarbonatos durante la absorción de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por las plantas (25); este fenómeno ha sido demostrado por diferentes investigadores a nivel local y en otros países (20, 23). El excedente de H<sup>+</sup> y el subsecuente incremento en la acidez del suelo también ocurrió durante la oxidación del SE, razón por lo cual se registraron los más bajos niveles de pH con las aplicaciones de esta fuente en dosis altas (100kg.ha<sup>-1</sup>).

En septiembre, los niveles del pH para SE, se redujeron entre 0,7 y 1,0 unidad con respecto al testigo (sin S), causando incrementos en los contenidos del Al (Figura 3); no obstante, los niveles registrados pueden no ser una limitación para el cultivo de café en Colombia, de acuerdo con lo registrado por Ortiz *et al.* (19). Con el SAM, fuente reconocida por su poder acidificante (14), las variaciones fueron inferiores a 0,2 unidades, lo cual puede asociarse con el corto período de evaluación, debido a que los resultados en torno al tema han sido contundentes en tiempos superiores a los considerados en el presente estudio (22).

Las aplicaciones del SCA produjeron variaciones del pH entre 0,08 y 0,11 unidades y aminoraron los contenidos del Al. Dicho

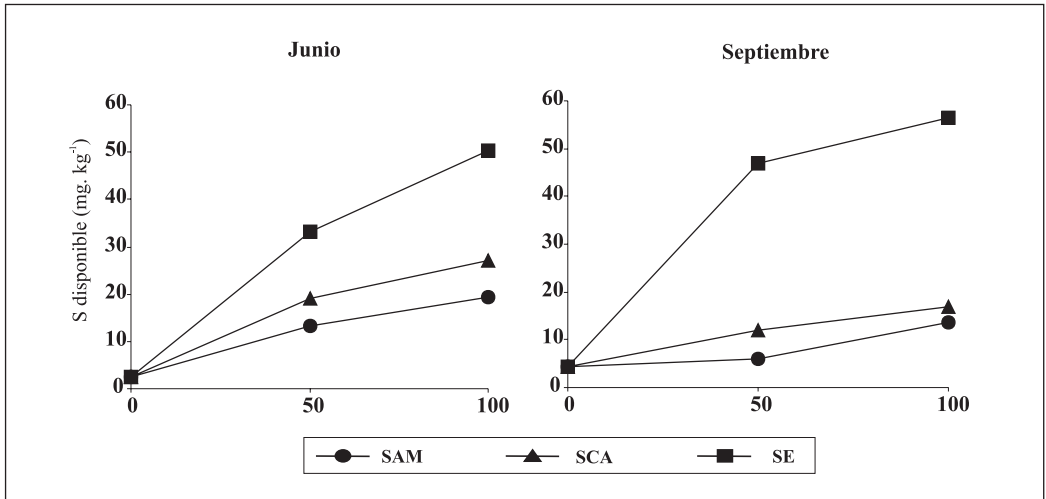


Figura 1. Niveles de S, tres y seis meses luego de aplicar los tratamientos en la finca El Amparo (Fredonia, Antioquia).

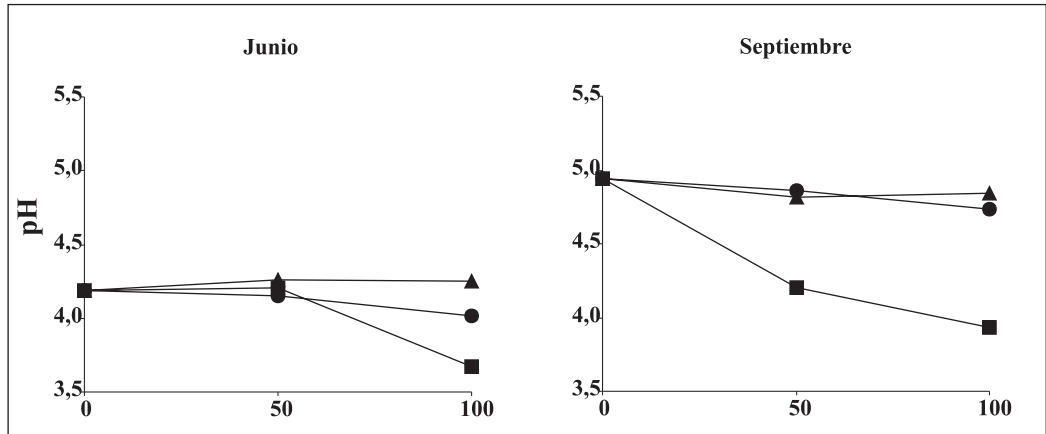


Figura 2. Niveles promedio de pH, tres y seis meses después de aplicar los tratamientos en El Amparo (Fredonia, Antioquia).

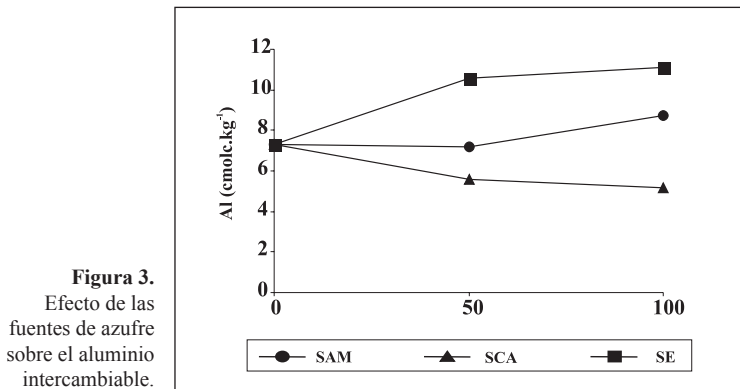


Figura 3. Efecto de las fuentes de azufre sobre el aluminio intercambiable.

efecto era de esperarse debido a que el anión sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), al formar complejos de esfera externa con el aluminio, controla la actividad del catión, lo moviliza a través del perfil y el calcio puede reemplazar el Al del complejo de cambio. Los fenómenos descritos no contribuyen a incrementar de manera sustancial los niveles del pH (8).

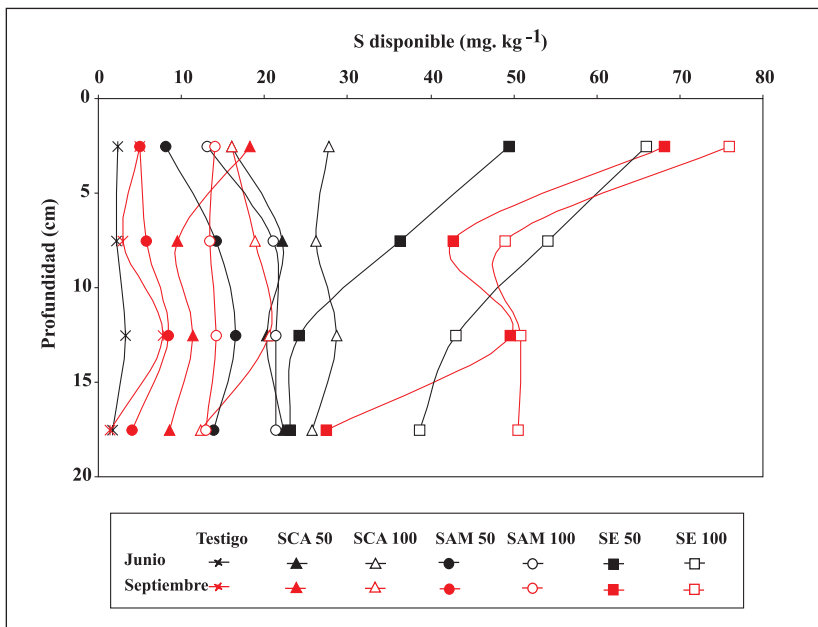
**Movilidad del S disponible y variaciones del pH.** Tres meses después de aplicar los tratamientos, el SE se acumuló en los primeros 10cm de profundidad debido a su baja solubilidad (12). En contraposición, el S proveniente de la fertilización con el SAM se incrementó gradualmente a partir de los primeros 10cm, mientras que el aportado por el SCA se distribuyó de manera uniforme en las cuatro profundidades evaluadas.

Seis meses después de la aplicación (septiembre), las tendencias fueron similares a las observadas en el mes de junio (Figura 4).

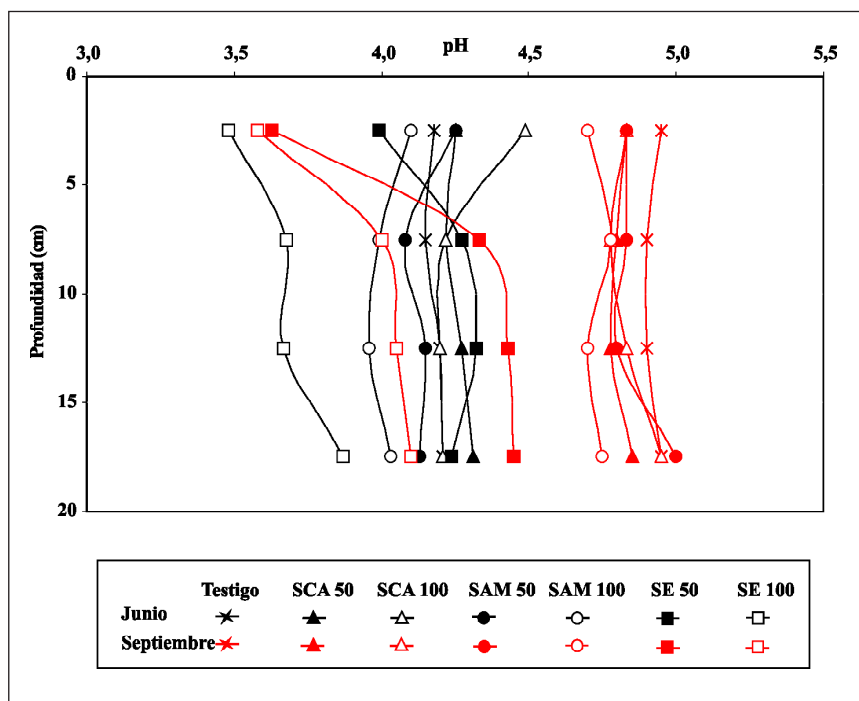
En cuanto al pH se refiere, tres meses después de aplicar los tratamientos, la máxima dosis de SE provocó disminuciones de 0,6 unidades frente al testigo en los primeros 15cm de profundidad. Dicho comportamiento se mantuvo para ambas dosis en septiembre, época en la cual los niveles con relación al testigo, se redujeron en promedio 1,3 unidades en los primeros 5cm (Figura 5).

El anterior resultado, puede estar asociado con el estado de máxima oxidación del S, demostrada por Muñoz y Lora (17) en suelos del sur del Huila, en donde reportan una drástica disminución de los niveles del pH debido a la formación de ácido sulfúrico (13), situación que se acentúa conforme se incrementan las dosis de esta fuente (6).

Ni el SCA ni el SAM influyeron en los valores del pH del suelo.



**Figura 4.** Distribución del S luego de tres y seis meses de aplicar los tratamientos en la finca El Amparo (Fredonia, Antioquia).



**Figura 5.** Variaciones del pH tres y seis meses después de aplicar los tratamientos en la finca El Amparo (Fredonia, Antioquia).

### Finca La Cristalina.

**Disponibilidad del S.** Tres meses después de aplicar los tratamientos se registró un incremento en los niveles de S del testigo de  $6\text{mg.kg}^{-1}$  (contenido inicial) a  $10\text{mg.kg}^{-1}$ , hecho que podría relacionarse con el incremento en la actividad de los microorganismos del suelo, los cuales son favorecidos por las condiciones de humedad (26), y producen algunas enzimas como las arisulfatasas, con las cuales se hidrolizan los enlaces éster sulfato de la materia orgánica (2), permitiendo de esta forma la liberación del ion.

Las mayores dosis de SAM y SCA elevaron el S disponible a  $16$  y  $32\text{mg.kg}^{-1}$ , respectivamente (Figura 6). El SE, fuente de elevada residualidad, sufrió una rápida oxidación cuando se aplicó en dosis altas ( $100\text{kg.ha}^{-1}$ ), e igualó al SAM, fuente de alta solubilidad, en su rápido aporte de S

aprovechable. Las aplicaciones crecientes de SCA provocaron incrementos en los contenidos del nutrimento conforme a la cantidad suministrada.

Seis meses más tarde, se observó una reducción en los niveles de S en todos los tratamientos con relación a los valores detectados en el mes de junio, alcanzando prácticamente los contenidos iniciales. Esta pérdida se sustenta en el hecho que la precipitación pluvial acumulada entre junio y agosto ( $542\text{mm}$ ), fue  $30\%$  superior a la reportada en los demás predios objeto del estudio (9).

**Niveles de pH.** Los valores de pH registrados en el mes de junio para todos los tratamientos estuvieron por debajo de observados en septiembre (Figura 7), por los efectos de la fertilización nitrogenada discutidos anteriormente. En septiembre no se detectaron

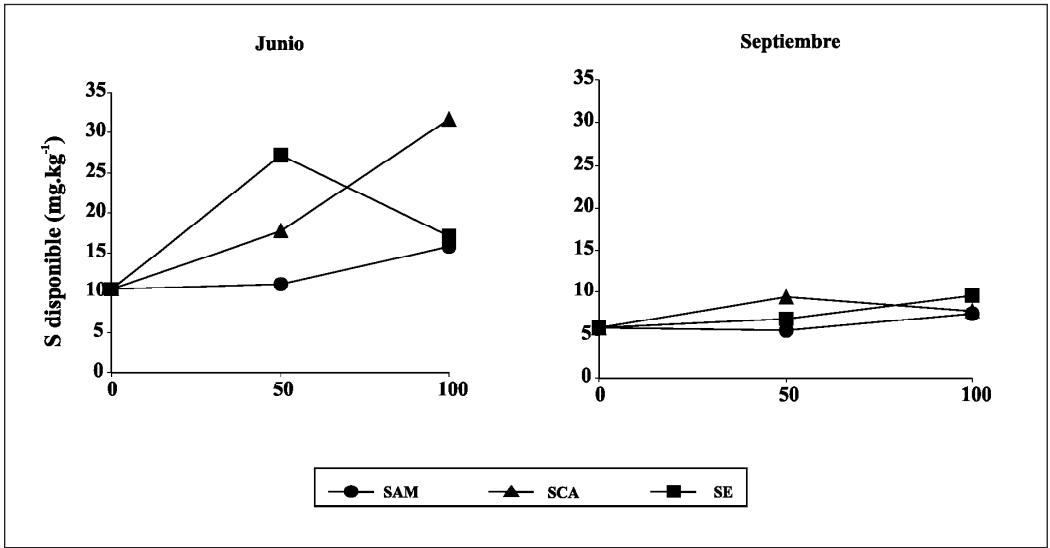


Figura 6. Niveles promedio de S, tres y seis meses después de aplicar los tratamientos en el lote de La Cristalina (Chinchiná, Caldas).

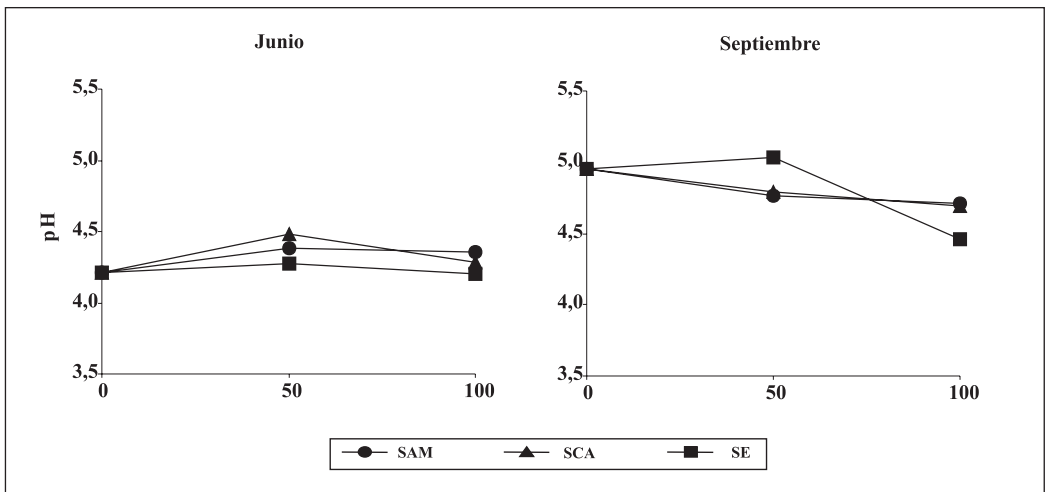


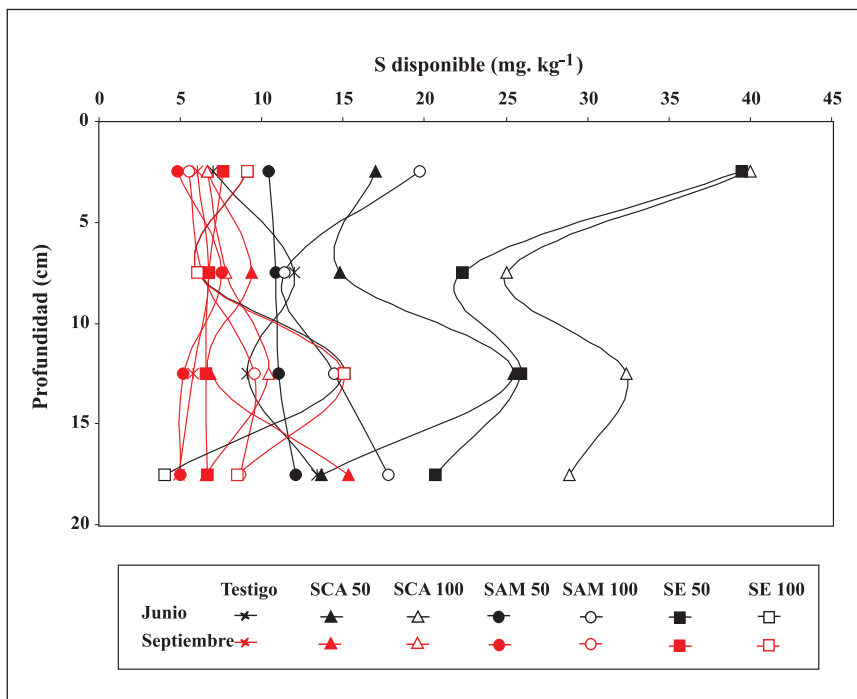
Figura 7. Niveles promedio de pH tres y seis meses después de aplicar los tratamientos en la finca La Cristalina (Chinchiná, Caldas).

diferencias por efecto de las fuentes para el pH.

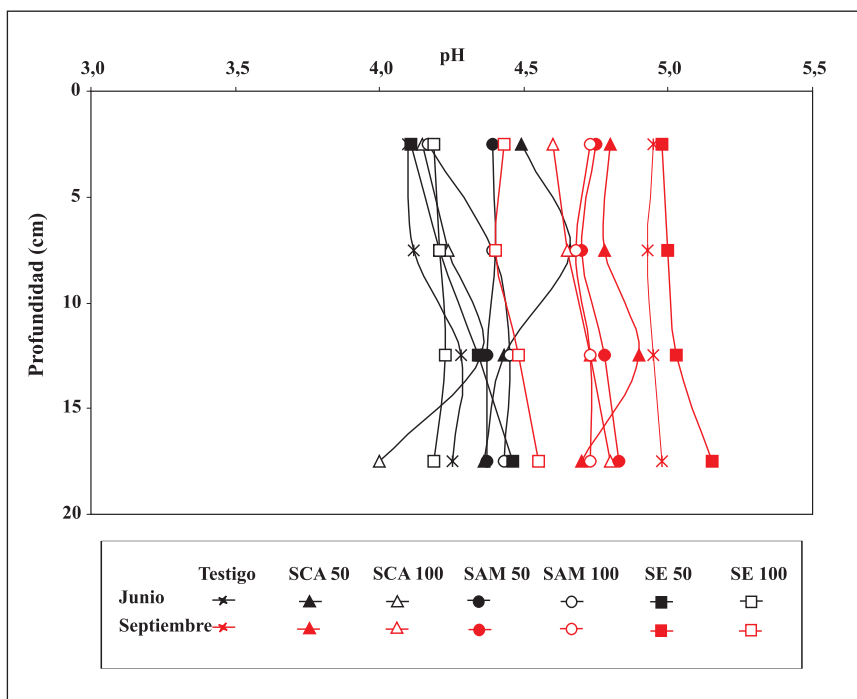
**Movilidad del S disponible y variaciones del pH.** No se detectaron cambios en los

contenidos de S a través del perfil, por efecto de la aplicación de los diferentes tratamientos (Figura 8). Tampoco se evidenciaron variaciones en el pH, efecto de los tratamientos a través de las profundidades evaluadas (Figura 9).





**Figura 8.**  
Distribución del azufre, tres y seis meses después de aplicar los tratamientos en la finca La Cristalina (Chinchiná, Caldas).



**Figura 9.**  
Variaciones del pH, tres y seis meses después de aplicar los tratamientos en la finca La Cristalina (Chinchiná, Caldas).

## Finca San Alberto.

**Disponibilidad del S.** Tal como se ilustra en la Figura 10, en el mes de junio todos los tratamientos llevaron los niveles de S disponible por encima de  $12\text{mg.kg}^{-1}$ . Los que aportaron mayor cantidad en promedio fueron las dosis de SE (entre 35 y  $42\text{mg.kg}^{-1}$ ), seguidos por las del SCA (entre 18 y  $21\text{mg.kg}^{-1}$ ) y finalmente, por el SAM, con el cual los niveles fueron del orden de  $12\text{mg.kg}^{-1}$ . Después de seis meses (septiembre), el S proveniente de dichas fuentes se incrementó con relación a los valores registrados en junio, en promedio 23, 35 y 25%, respectivamente; este fenómeno puede deberse a las menores pérdidas de sulfatos ocasionadas por la baja pluviosidad registrada entre junio y agosto (Figura 11).

**Niveles de pH.** Al igual que en El Amparo y La Cristalina, en el mes de junio ocurrieron reducciones en los niveles de esta propiedad química del suelo en todos los tratamientos incluyendo el testigo, por efecto de las fuentes nitrogenadas. Esta manifestación

estuvo más acentuada con las mayores dosis de SE (promedio de 0,56 unidades) que con los demás tratamientos, donde las disminuciones con relación al testigo no superaron las 0,27 unidades (Figura 12). En septiembre, los valores del pH se incrementaron alcanzando los niveles registrados al inicio del estudio, sin que se presentara efecto de los tratamientos.

**Movilidad del S disponible y variaciones del pH.** Tres meses después de aplicar los tratamientos, el S aportado por las menores dosis de SCA y SAM se incrementó a partir de los 10cm, lo cual se debe a la solubilidad de estas fuentes y sugiere una mayor vulnerabilidad a perderse por lixiviación (1). Correa *et al.* (7), observaron dicha situación con el SCA, utilizando dosis superiores a las consideradas en el presente estudio. El SE se acumuló en los primeros centímetros, ratificando el efecto residual discutido anteriormente (Figura 13).

Seis meses después, el SAM 50 mantuvo la dinámica manifestada durante el primer

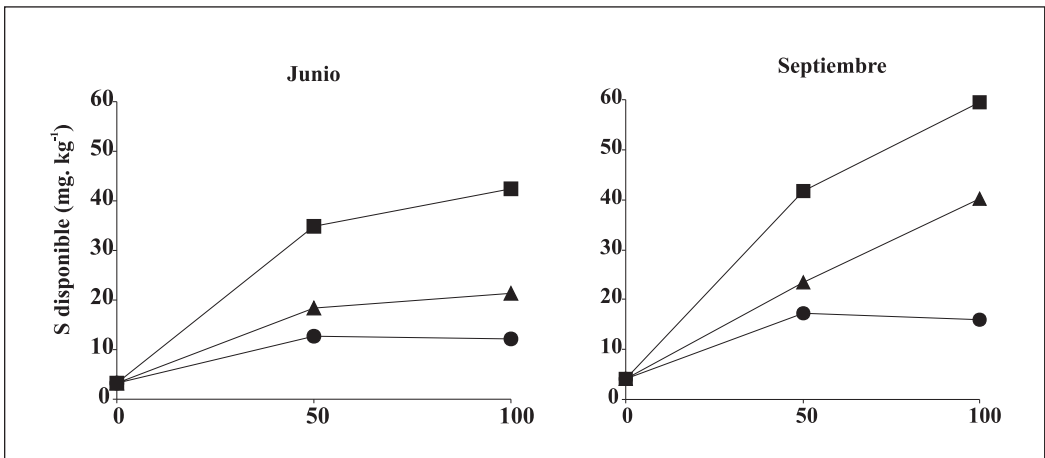
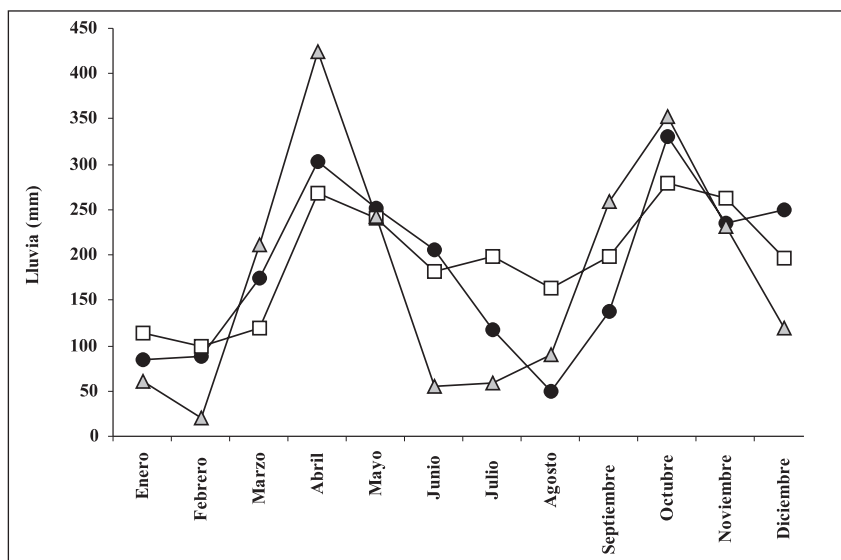
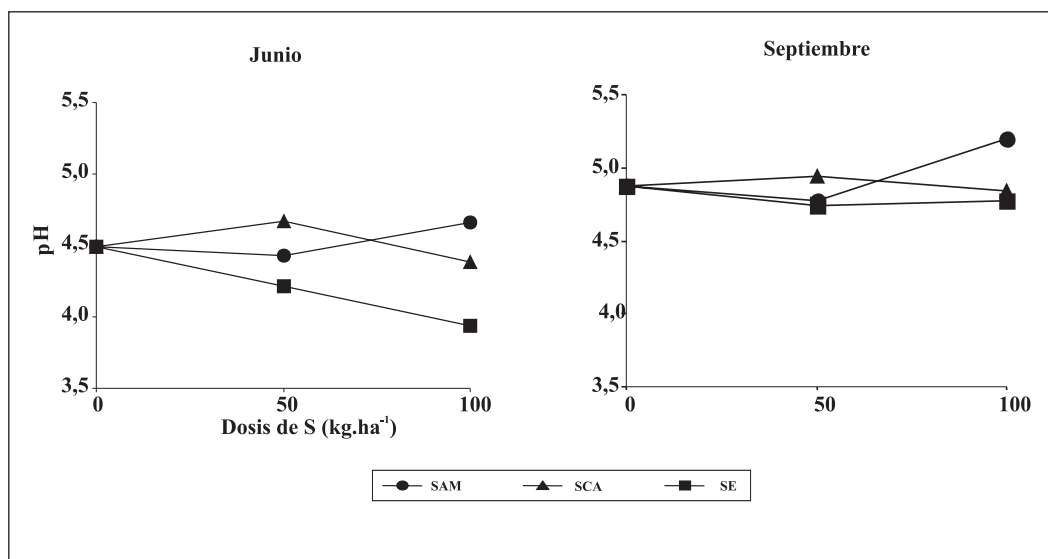


Figura 10. Niveles promedio de S, después de tres y seis meses de aplicar los tratamientos en la finca San Alberto (Buenavista, Quindío).



**Figura 11.**  
Registro de lluvia  
para las localidades  
evaluadas durante  
2002.

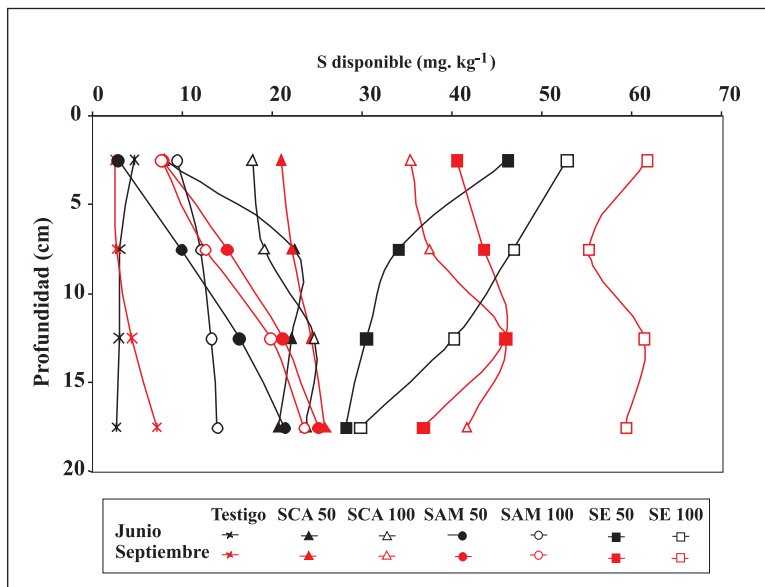


**Figura 12.** Niveles promedio de pH, tres y seis meses después de aplicar los tratamientos en San Alberto (Buenavista, Quindío).

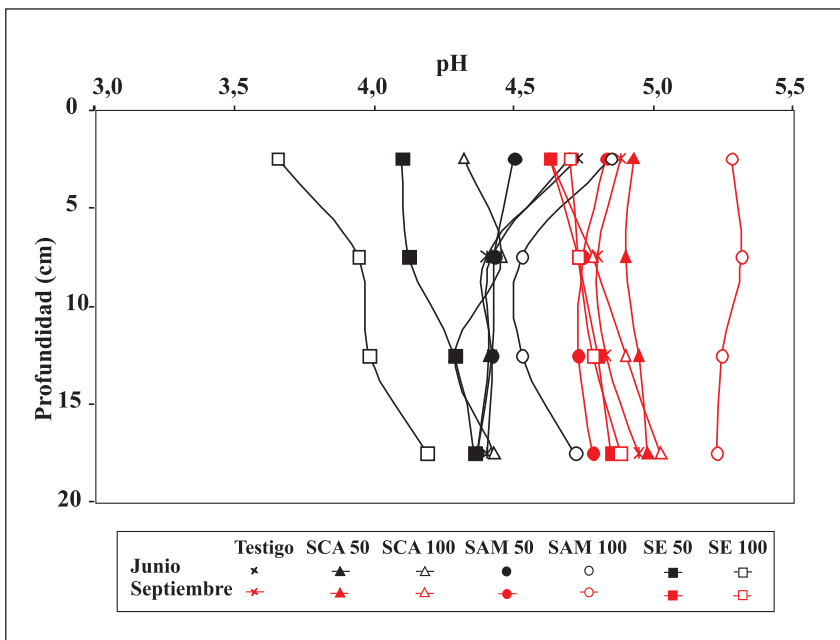
trimestre, mientras que el S aportado por los demás fuentes y dosis, se distribuyó uniformemente a través de las profundidades evaluadas.

Mientras que en junio las aplicaciones de

SE 100 redujeron el pH de los primeros 5cm de profundidad en 1,1 unidades con relación al Testigo, en septiembre no se evidenciaron cambios sustanciales por efecto de los tratamientos a través de las profundidades evaluadas (Figura 14).



**Figura 13.** Distribución del azufre tres y seis meses después de aplicar los tratamientos en San Alberto (Buenavista, Quindío).



**Figura 14.** Variaciones del pH después de tres y seis meses de aplicar los tratamientos en San Alberto (Buenavista, Quindío).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a los propietarios y administradores de las fincas por facilitar los predios para la realización del experimento, a los jefes de las Subestaciones Experimentales de Cenicafé, Ing. Agrónomos Celso Arboleda, John Wilson Mejía, Juan Carlos García, y al Sr. Daniel Franco, a la Sra. Beatriz Mejía de la Disciplina de Suelos y la Dra. Esther C. Montoya de Biometría.

## LITERATURA CITADA

1. ANDRADE, D.S.; COLOZZI FILHO, A.; PAVAN, M.A.; BALOTA, E.L.; CHAVES, J.C.D. Atividade microbiana em funcao da calagem em um solo cultivado com cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 19 (2):191-196. 1995.
2. BALIGAR, V. C.; WRIGHT, R. J. HERN, J.L. Enzyme activities in soil influenced by levels of applied sulfur and phosphorus. *Communication in Soil Science Analysis* 36:1727 – 1735. 2005.
3. BEATON, J. D.; BURNS, G. R.; PLATOU, J. Determination of sulfur in soil and plant material. Washington, The Sulfur Institute, 1968. 55 p. (Technical Bulletin N° 14).
4. BORNEMISZA, E. Problemas del azufre en suelos y cultivos de mesoamérica. San José, Editorial de la Universidad de Costa Rica, 1990. 104 p.
5. BURBANOO, H. El azufre en el suelo. *In: Silva M., F. (Ed.). Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el silicio en la agricultura.* Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2001. p. 24 - 49.
6. BURNS R., G. La oxidación del azufre en el suelo, Washington, Instituto del Azufre, 1967. 43 p. (Boletín Técnico N° 13).
7. CORREA, J.B.; GUIMARAES, P.T.G.; GUEDES, G.A. DE A.; FERREIRA, M.M.; MENDES, A.N.G. Calcário e gesso na melhoria das condicoes químicas do solo para cafeeiro *Coffea arabica* L. em formacao. *Ciencia e Pratica* 19 (1):7-16. 1995.
8. ESPINOSA, J.; MOLINA, E. Acidez y enclado de los suelos. Quito, Instituto de la Potasa y el Fósforo – INPOFOS, 1999. 42 p.
9. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA; CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Disciplina de Agroclimatología, Archivos Climáticos, Chinchiná, Cenicafé, 2004.
10. FOX, R. L.; OLSON, R. A.; RHOADES, H. F. Evaluating sulfur status of soils by plant and soil test. *Soil Science Society Proceedings* 28: 243- 246. 1964.
11. GOLOV, V. I. Highlights of sulfur status and fertilizer research in the Russian Far East. *Sulfur in Agriculture* 118: 27-30. 1990.
12. GUERRERO R., R. Características de los fertilizantes que contienen azufre. *In: Seminario Nacional del Azufre en la Agricultura.* Palmira, Septiembre 28-30, 1988. Palmira, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1988. p. 61-66.
13. LI, P.; CALDWELL A., C. The oxidation of elemental sulfur in soil. *Soil Science Society of America Journal* 30: 370 – 372. 1966.
14. LÓPEZA., M. cambios químicos provocados en el suelo Chinchiná franco-arenoso con la aplicación de distintas fuentes y dosis de fertilizante. *Cenicafé* 16 (1-4): 55-76. 1965.
15. LORA, S. R. El Azufre en la agricultura colombiana. Convenio ICA- Monómeros. Informe final, Fase I. Bogotá, Instituto Colombiano Agropecuario, 1992. 65 p.
16. MALAVOLTA E. Balance del azufre en la agricultura americana. *Suelos Ecuatoriales* 20 (1): 59 - 68. 1990.
17. MUÑOZ G., R.; LORA S., R. Respuesta del maíz al azufre en los suelos de la cuenca media del río Suárez (Colombia). *Suelos Ecuatoriales* 1 (22): 119-124. 1982.
18. NOGUEIRA, M.A.; MELO, W.J. Enxofre disponivel para soja e actividade de arilsulfatasa em solo tratado com gesso agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27: 655-663. 2003.

19. ORTIZ E., M.E.; ZAPATA H., R.D.; SADEGHIAN K., S.; FRANCOA., H.F. Aluminio intercambiable en suelos con propiedades ándicas y su relación con la toxicidad. *Cenicafé* 55(2):101-110. 2004.
20. SADEGHIAN K., S. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. *Cenicafé* 54(3): 242-257. 2003.
21. SADEGHIAN K., S., DUQUE O., H. Análisis de suelos: Importancia e implicaciones económicas en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 308: 1-8. 2003.
22. VALENCIA A., G.; GÓMEZ A., A.; BRAVO G., E. Efecto de diferentes portadores de nitrógeno en el desarrollo del café y en la fertilidad de los suelos. *Cenicafé* 26(3):131-142. 1975.
23. VÁSQUEZ V., M.; VALLE B., R. DEL; LÓPEZ DE L., E. E.; JIMÉNEZ G., O. H. Evaluación de fuentes nitrogenadas de fertilizantes y su efecto en la acidez del suelo. *In: Simposio sobre Caficultura Latinoamericana*, Panamá, Mayo 20 - 24, 1991. Guatemala, IICA - PROMECAFE, 1991. p. 475-486.
24. YADVINDER- SINGH; BIJAY- SINGH; TIMSINA, J. Crop residue management for nutrient cycling and improving soil productivity in rice-based cropping systems in the tropics. *Advances in Agronomy* 85: 269-407. 2005.
25. ZANG, F.; KANG, S.; ZHANG, J.; ZHANG, R.; FUSHENG, L. Nitrogen fertilization on uptake of soil inorganic phosphorus fractions in the wheat root zone. *Soil Science Society American Journal* 68: 1890 – 1895. 2004.
26. ZECCH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMAN, J.; MIANO, T.; MILTNER, A.; SCHORTTH, G.; Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. *Geoderma* 79: 117-161. 1997.