

COMPARACIÓN DE DOS FUENTES FOSFATADAS EN SUELOS VOLCÁNICOS CULTIVADOS CON CAFÉ DEL SOCONUSCO, CHIAPAS, MÉXICO

COMPARISON OF TWO PHOSPHATE FERTILIZERS IN VOLCANIC SOILS CULTIVATED WITH COFFEE, OF SOCONUSCO, CHIAPAS, MÉXICO

Silvia G. Ramos-Hernández¹ y David Flores-Román^{2*}

¹Facultad de Ciencias de la UNAM y Laboratorio de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente, Escuela de Biología, UNICACH. Libramiento Norte Pte. s/n, 29049, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (silviaramosh@gmail.com). ²Departamento de Edafología, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Coyoacán. México, D.F., 04510 (davidf@servidor.unam.mx)

RESUMEN

Los suelos de origen volcánico de varias zonas cafetaleras del Soconusco, Chiapas, México, clasificados como Andisoles, poseen características físicas y químicas particulares y un régimen de humedad údico. El objetivo de esta investigación fue evaluar la función del fósforo y su problemática en relación con el cultivo del café (*Coffea arabica* L.). Se determinaron las propiedades físicas y químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas de una plantación tipo de café; se compararon dos fuentes de fertilizantes fosfatados (superfosfato triple, ST; roca fosfórica, RF); se evaluó el fósforo en suelo y planta así como su efecto en cuatro épocas del año por cinco años. Además, se comparó el efecto residual de las fuentes fosfatadas y el efecto del abono orgánico en los contenidos de fósforo en suelo y planta. Se usó una fórmula comercial (18-12-06) y dos testigos (18-00-12 y 00-00-00). El estudio se realizó en el Municipio de Unión Juárez, Estado de Chiapas, México. Se hizo un análisis de varianza con los datos y las medias se compararon con la prueba de Tukey. Se encontró un nivel alto de fijación de P en el suelo. Las concentraciones más altas de P en suelo y planta de café se obtuvieron con las dosis 18-20-12 RF y 18-20-12 ST. En junio y septiembre se observaron las concentraciones mayores de P. Hubo una mejor residualidad de P en el suelo con RF, que con ST mientras que con el abono orgánico no hubo respuesta satisfactoria.

Palabras clave: Andisoles, fijación de fósforo, roca fosfórica, suelos cafetaleros.

INTRODUCCIÓN

Una extensa superficie de la Región Soconusco, Estado de Chiapas, México, ubicada entre 14° -17° N y 92° -95° O, se caracteriza por suelos derivados de cenizas volcánicas, clasificados como Andisoles. De estos suelos se conocen las características físicas y químicas, su alto contenido en materia orgánica, alta porosidad, baja densidad aparente,

*Autor responsable.

Recibido: Octubre, 2007. Aprobado: Marzo, 2008.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 42: 391-398. 2008.

ABSTRACT

Volcanic soils of several coffee-producing regions of Soconusco, Chiapas, México, classified as Andisols, have peculiar physical and chemical characteristics and a udic moisture regime. The objective of this study was to evaluate the function of phosphorus and phosphorus-related problems in the cultivation of coffee (*Coffea arabica*). Physical and chemical properties of the volcanic ash soils under a representative coffee plantation were determined. Two sources of phosphate fertilizers (triple superphosphate, ST; rock phosphate, RF) were compared. Phosphorus content in soil and plant was assessed, as well as its effect in four seasons of the year over five years. Besides, the residual effect of the phosphate sources and the effect of organic fertilizer on phosphorus contents of soil and plant was compared. The commercial formula (18-12-06) and two controls (18-00-12 and 00-00-00) were used. The study was conducted in the Municipality of Unión Juárez, Chiapas, México. An analysis of variance was performed with the data, and means were compared with the Tukey test. A high level of P fixation in the soil was found. The highest concentrations of P in the soil and coffee plant were obtained with 18-20-12 RF and 18-20-12 ST. The highest concentrations of P were observed in June and September. There was better P residuality in the soil with RF than with ST, while with organic fertilizer there was no satisfactory response.

Key words: Andisols, phosphorus fixation, rock phosphate, soils under coffee.

INTRODUCTION

An extensive area of the Soconusco region, Chiapas, México, located between 14° -17° N and 92° -95° W, is characterized by soils derived from volcanic ash and classified as Andisols. The known characteristics of these soils are their physical and chemical properties, their high content of organic matter, high porosity, low bulk density, high water retention capacity and the clay fraction dominated by amorphous material (Alvarado *et al.*, 2001). Since the last century, the mountainous zone of this region

gran capacidad de retención de agua y la fracción arcilla dominada por material amorfo (Alvarado *et al.*, 2001) La zona montañosa de esta región se transformó desde el siglo pasado para darle un uso agrícola intensivo, específicamente cafecultura. La fertilidad de sus suelos volcánicos, el clima, la altitud, humedad y espesor del suelo, generan cafetos de alta calidad reconocidos en el mercado nacional e internacional (Helbig, 1964).

Geológicamente estos suelos están influenciados por los productos volcánicos emitidos por el Volcán Tacaná, situado en el sureste de Chiapas, así como por la actividad de los volcanes Tajomulco, Sta. María y Santiaguito, de Guatemala, los cuales han arrojado productos volcánicos de naturaleza andesítica-dacítica. El Tacaná forma parte de la frontera natural con Guatemala y encabeza la serie de volcanes centroamericanos (Ramos y Aguilera, 1984; Macías *et al.*, 2000).

Los suelos volcánicos se caracterizan por una elevada capacidad de adsorción de fósforo (fijación), la cual consiste en el paso de los fosfatos solubles aplicados al suelo como fertilizantes a formas menos solubles, mediante un proceso de reacción con el suelo (Shoji *et al.*, 1993). El contenido de P disponible en suelos (Bray I) para el cultivo del café varía de 10 a 30 $\mu\text{g g}^{-1}$. Carvajal (1984) considera que intervalos $< 10 \mu\text{g g}^{-1}$ son bajos, de 10 a 30 $\mu\text{g g}^{-1}$ medios y $> 40 \mu\text{g g}^{-1}$ altos. Asimismo, en las hojas de una planta de café el contenido de P total varía de 1.2 a 2.0 mg g^{-1} (Malavolta *et al.*, 1989). Según Valencia-Aristizabal (1984), las cantidades críticas en hojas de café son 1.2 a 1.5 mg g^{-1} y las señales de carencia aparecen si el intervalo es 1.0 a 0.7 mg g^{-1} .

Los superfosfatos (46 a 48% P_2O_5) son los fertilizantes fosfatados más importantes; debido a su solubilidad, su análisis alto y buenas propiedades físicas, se usan en suelos deficientes en P (FAO, 2002). La roca fosfórica cruda contiene 15 a 21% P_2O_5 , 40 a 48.30% CaO, 0.5 a 2.0% Fe, 3.78% SiO_2 y cantidades variables de carbonatos, sulfatos, Mn y Al (FAO, 2004). La roca mineral fosfatada no es bien aceptada por los agricultores, ya que el P no está suficientemente disponible para los cultivos de ciclo corto, pero su máximo potencial es como fuente de P para suelos ácidos y volcánicos (Núñez y Gavi, 1994).

Los objetivos del presente estudio fueron: 1) determinar las propiedades físicas y químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas cultivados con café; 2) comparar la eficiencia de dos fuentes de P (roca fosfórica y superfosfato triple) en suelos y en plantas de café; 3) evaluar el comportamiento del P en cuatro épocas del año por cinco años; 4) comparar el efecto residual de las fuentes fosfatadas; 5) evaluar el efecto del abono orgánico en los contenidos de P en el suelo y la planta.

has been transformed to be used for intensive agriculture, specifically coffee production. The fertility of the volcanic soils, climate, altitude, moisture and soil depth produce coffee whose high quality is recognized by both the domestic and international markets (Helbig, 1964).

Geologically, these soils are affected by volcanic emissions from the Tacaná volcano located in southeastern Chiapas as well as by the activity of the volcanos Tajomulco, Santa María and Santiaguito in Guatemala; these have been giving off volcanic products of andesitic-dacitic nature. Tacaná forms the natural border between Guatemala and México where it heads the series of Central American volcanoes (Ramos and Aguilera, 1984; Macías *et al.*, 2000).

Volcanic soils are characterized by a high capacity of phosphorus adsorption (fixation), which consists of the transformation of soluble phosphates applied to the soil as fertilizers into less soluble forms through a process of reaction with the soil (Shoji *et al.*, 1993). The content of P available in soils (Bray I) for coffee cultivation varies from 10 to 30 $\mu\text{g g}^{-1}$. Carvajal (1984) considers intervals $< 10 \mu\text{g g}^{-1}$ to be low, 10 to 30 $\mu\text{g g}^{-1}$ medium, and $> 40 \mu\text{g g}^{-1}$ high. Also, in the leaves of a coffee plant total P content varies from 1.2 to 2.0 mg g^{-1} (Malavolta *et al.*, 1989). According to Valencia-Aristizabal (1984), the critical amounts in coffee leaves are 1.2 to 1.5 mg g^{-1} , and signs of deficiency appear between 1.0 and 0.7 mg g^{-1} .

Superphosphates (46 to 48% P_2O_5) are the most important phosphate fertilizers. Because of their solubility, high analysis and good physical properties, they are used in P deficient soils (FAO, 2002). Raw rock phosphate contains 15 to 21% P_2O_5 , 40 to 48.30% CaO, 0.5 to 2.0% Fe, 3.78% SiO_2 , and varying amounts of carbonates, sulfates, Mn and Al (FAO, 2004). Mineral rock phosphate is not well accepted by farmers since P is not sufficiently available for short-cycle crops, but its maximum potential is as a P source for acid and volcanic soils (Núñez and Gavi, 1994).

The objectives of this study were 1) to determine the physical and chemical properties of soils derived from volcanic ash and cultivated with coffee; 2) to compare the efficiency of two P sources (rock phosphate and triple superphosphate) in soils and in coffee plants; 3) to evaluate the behavior of P in four seasons of the year over five years; 4) to compare the residual effect of the phosphate sources; 5) to evaluate the effect of organic fertilizer on soil and plant P content.

MATERIALS AND METHODS

The field experiment was conducted on the San Jerónimo coffee farm, in the ejido "11 de abril", municipality Unión Juárez,

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento de campo se realizó en la Finca Cafetalera San Jerónimo, en el Ejido 11 de Abril, Municipio de Unión Juárez, del Soconusco, Estado de Chiapas, cuyas coordenadas son 15° 02' 20" N y 92° 08' 09" O; y la altitud es 740 m.

El lote experimental fue una franja rectangular (120 × 50 m; 6000 m²) con un arreglo en parcelas divididas con distribución al azar de los 12 tratamientos (Cuadro 1): ocho con fórmulas completas NPK fijando las dosis de N-K y variando la dosis y la fuente de P. Los fertilizantes inorgánicos fueron: 1) N como nitrato de amonio (33% N); 2) P como superfosfato triple (46% P₂O₅) y roca fosfórica cruda (tipo fluorapatita, de Baja California, 20% P₂O₅ y solubilidad en citrato de 25%); 3) K como cloruro de potasio (60% K₂O); 4) estiércol equino (N 0.5%; P₂O₅ 0.11%; K₂O 0.60%). Los otros tratamientos fueron: 1) estiércol equino (abono orgánico); 2) una fórmula comercial (FC) 18-12-06 ST; 3) testigo sin P pero con N K (18-00-12); 4) testigo sin fertilizantes. Cada unidad experimental tenía 10 plantas y se replicó cinco veces, más 25 arbolitos entre calles (75 plantas por tratamiento); un total de 600 cafetos experimentales. La variedad *C. arabica* L. fue Catuái. La edad inicial de los cafetos fue 3 años. Las variables de respuesta fueron contenidos de P disponible en suelos y total en hojas de café recolectadas en marzo, junio, septiembre y diciembre, de 1999 a 2003.

Anualmente se aplicaron los fertilizantes: nitrato de amonio 109 g café⁻¹; roca fosfórica 60, 120, 160 y 200 g café⁻¹; superfosfato de calcio triple 26, 52, 70 y 86 g café⁻¹; cloruro de potasio 40 g café⁻¹; estiércol equino 5 kg café⁻¹. Los fertilizantes y el estiércol se aplicaron como corona a 30 cm alrededor del tronco y a 5 cm de profundidad. Las muestras de suelo se recolectaron en los 20 cm superficiales, a 50 cm del tronco. Las hojas se recolectaron sobre el tercer nudo superior de la planta y del cuarto par de hojas, contando desde el ápice de la rama sin fructificación (Jiménez, 1980). La dosis de N se fraccionó en cuatro y cada fracción se aplicó en cada época del año, mientras que todo el P se agregó en marzo. El K se aplicó en marzo y en septiembre.

En el laboratorio las muestras de suelos se secaron, molieron y tamizaron (malla 2 mm) y se guardaron en bolsas de plástico. Las hojas se secaron en estufa a 70 °C, la materia seca (MS) se molió en un molino Wiley (malla 40). La muestra se calcinó 5 h a 550 °C.

El color del suelo se determinó en seco por comparación con las Tablas Munsell (1994); densidad aparente y real con base en Soil Survey Staff (1984); textura por el método del hidrómetro, Bouyoucos (1963).

La reacción del suelo (pH) se determinó en KCl 1N y H₂O, usando la relación 1:2.5 y un potenciómetro Corning. La materia orgánica (MO) por el método de oxidación vía húmeda con K₂Cr₂O₇ en medio ácido de Walkley y Black (1947). La capacidad de intercambio catiónico total se midió usando CaCl₂ 1N pH 7 para saturar la muestra, se lavó con alcohol etílico y se saturó de nuevo con NaCl 1N pH 7 (Jackson, 1970). Las bases cambiables se extrajeron por el método del acetato de amonio 1N pH 7. El Ca y el Mg se titularon por medio del versenato. El K y Na intercambiables se determinaron en un flamómetro Coleman. Aluminio intercambiable

Cuadro 1. Tratamientos.
Table 1. Treatments.

| Dosis de fertilización | Descripción |
|------------------------|---------------------|
| 18 - 06 - 12RF | Roca fosfórica |
| 18 - 12 - 12RF | Roca fosfórica |
| 18 - 16 - 12RF | Roca fosfórica |
| 18 - 20 - 12RF | Roca fosfórica |
| 18 - 06 - 12ST | Superfosfato triple |
| 18 - 12 - 12ST | Superfosfato triple |
| 18 - 16 - 12ST | Superfosfato triple |
| 18 - 20 - 12ST | Superfosfato triple |
| 18 - 12 - 06FC | Fórmula comercial |
| Abono orgánico | Estiércol equino |
| 18 - 00 - 12 | Testigo sin fósforo |
| 00 - 00 - 00 | Testigo |

Soconusco, Chiapas, whose coordinates are 15° 02' 20" N and 92° 08' 09" W at an altitude of 740 m.

The experimental plot was a rectangular strip (120 × 50 m; 6000 m²) with an arrangement of split plots with random distribution of the 12 treatments (Table 1): eight had complete NPK formulas in which the N and K dosages were fixed, whereas both P dose and source varied. The inorganic fertilizers were 1) N as ammonium nitrate (33% N); 2) P as triple superphosphate (46% P₂O₅) and raw rock phosphate (fluorapatite type, from Baja California, 20% P₂O₅ and 25% citrate soluble); 3) K as potassium chloride (60% K₂O); 4) horse manure (N 0.5%, P₂O₅ 0.11%, K₂O 0.60%). The other treatments were 1) horse manure (organic fertilizer); 2) commercial formula (FC) 18-12-06 ST; 3) control without P but with N K (18-00-12); 4) control with no fertilizer. Each experimental unit had 10 plants, replicated five times, plus 25 small trees between paths (75 plants per treatment) for a total of 600 experimental coffee plants. The *C. arabica* variety was Catuái. Initial age of the coffee plants was three years. The response variables were available P contents in soil and total P content in coffee leaves collected in March, June, September and December, 1999 to 2003.

The following fertilizers were applied yearly: ammonium nitrate 109 g coffee plant⁻¹; rock phosphate 60, 120, 160 and 200 g coffee plant⁻¹; potassium chloride 40 g coffee plant⁻¹; horse manure 5 kg coffee plant⁻¹. The fertilizers and the manure were applied in a ring 30 cm from the trunk and 5 cm deep. The soil samples were collected from the top 20 cm, 50 cm from the trunk. Leaves were collected from above the third upper node of the plant and from the fourth pair of leaves counting from the apex of the branch without fruit (Jiménez, 1980). The N dosage was fractioned into four, and each fraction was applied in one of the four seasons during the year, while all of the P was applied in March. K was applied in March and September.

In the laboratory, the soil samples were dried, ground, sifted with a 2 mm mesh, and stored in plastic bags. The leaves were dried in an oven at 70 °C; the dried material (DM) was ground in a Wiley mill (40 mesh). The sample was calcined at 550 °C for 5 h.

Soil color was determined when dry by comparison with the Munsell Tables (1994); determination of bulk and particle density was based on Soil Survey Staff (1984), and texture was defined by the hydrometer method (Bouyoucos, 1963).

según Pratt y Bair (1961), después de extraerlo con KCl 1N pH 8 y medirlo colorimétricamente con aluminón pH 4.8.

El P disponible se evaluó por el método de Bray I, determinándose colorimétricamente en un equipo Leitz M por el método de azul de molibdeno en medio clorhídrico (Jackson, 1970). El P total se midió en hojas de café, por el método de calcinación en seco con nitrato de magnesio y colorimetría con azul de molibdeno (Chapman y Pratt, 1961).

Para determinar las formas de P inorgánico en el suelo (fosfatos de Ca no apatítico, fosfatos de aluminio, fosfatos de hierro y fosfatos de Ca apatíticos) se usó la metodología de Chang y Jackson (1957), modificada por Sen Gupta y Cornfield (1962), para extraer los fosfatos no apatíticos antes de solubilizar los fosfatos de aluminio y se midieron estos últimos. El análisis estadístico se realizó como un factorial de años, épocas y tratamientos. Se hizo un análisis de varianza, se analizaron los efectos principales de año época con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) y un análisis de correlación entre P en suelo y P foliar. Se usó el programa JMP versión 5 (JMP, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas y químicas de los suelos

El suelo del sitio experimental tiene colores pardos oscuros (10YR3/3), contenido muy alto de MO (9.8%), texturas franco arenosas (arena 55.8%, limo 32% y arcilla 12.2%) alta porosidad (63%), baja densidad aparente y real (0.76 Mg m^{-3} y 2.10 Mg m^{-3}), pH ácidos en agua y en KCl (5.2 y 4.5), una alta CIC ($20.7 \text{ cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$), cantidades moderadas de Ca, Mg, Na y K (5.5, 2.0, 0.2 y $0.2 \text{ cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$), alto en Al^{3+} ($3.12 \text{ cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$) y bajo en el porcentaje de saturación de bases (52.3%), como resultado del intemperismo y lavado de bases cambiables. El P disponible (Bray I) es bajo ($5.0 \mu\text{g g}^{-1}$), lo que concuerda con el alto P fijado (96.0%).

Comparación de la eficiencia de dos fuentes de fósforo en el suelo

El contenido de P disponible producto de una muestra compuesta del suelo de las parcelas testigo fue $5.0 \mu\text{g g}^{-1}$ (Cuadro 2); es un valor muy bajo, lo que significa una clara deficiencia de este elemento. En la Figura 1 se muestra el contenido de P en suelo por año en los tratamientos. En el Cuadro 2 se comparan las medias de todos los años y se destacan aquellos más altos en P. Los tratamientos con contenidos más altos ($p \leq 0.05$) fueron los que recibieron la fórmula 18-20-12 (545 kg ha^{-1} de nitrato de amonio, 1000 kg ha^{-1} de roca fosfórica o su equivalente 434 kg ha^{-1} de superfosfato de calcio triple y 200 kg ha^{-1} de cloruro de potasio). Los valores de P Bray I fueron $46 \mu\text{g g}^{-1}$ en el tratamiento con RF, y $40 \mu\text{g g}^{-1}$ con ST (Cuadro 2).

Soil reaction (pH) was determined in KCl 1N and H_2O , using the 1:2.5 ratio and a Corning potentiometer. Organic matter (OM) content was revealed by the wet oxidation method with $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ in Walkley and Black (1947) acid medium. Total cationic exchange capacity was measured using CaCl_2 1N pH 7 to saturate the sample, which was then washed with ethyl alcohol and again saturated with NaCl 1N pH 7 (Jackson, 1979). The changeable bases were extracted by the method of ammonium acetate 1N pH 7. Ca and Mg were titrated with versenate. Exchangeable K and Na were determined in a Coleman flamometer. Exchangeable aluminum was determined following Pratt and Bair (1961) after its extraction with KCl 1N pH 8 and colorimetric measurement with aluminon pH 4.8.

Available P was assessed by the Bray I method, determined colorimetrically in Leitz M equipment by the molybdenum blue method in a hydrochloric medium (Jackson, 1970). Total P was measured in coffee leaves by the dry calcination method with magnesium nitrate and colorimetry with molybdenum blue (Chapman and Pratt, 1961).

To determine the forms of inorganic P in the soil (non-apatitic calcium phosphates, aluminum phosphates, iron phosphates and apatitic calcium phosphates), the Chang and Jackson (1957) method modified by Sen Gupta and Cornfield (1962) was used to extract the non-apatitic phosphates before solubilizing and measuring aluminum phosphates. The statistical analysis used a factorial of years, seasons and treatments. An analysis of variance was performed; principal effects of year-season were analyzed with the Tukey test ($p \leq 0.05$) and a correlation analysis between soil P and leaf P. The software used was JMP version 5 (JMP, 2002).

RESULTS AND DISCUSSION

Soil physical and chemical characteristics

The soil at the experimental site was dark brown (10 7R3/3), had a very high content of OM (9.8%), sandy loam texture (55.8% sand, 32% silt and 12.2% clay), high porosity (63%), with low bulk and particle density (0.76 Mg m^{-3} and 2.10 Mg m^{-3}), acid pH in water and KCl (5.2 and 4.5), a high CIC ($20.7 \text{ cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$), moderate quantities of Ca, Mg, Na and K (5.5, 2.0, 0.2 and $0.2 \text{ cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$), high content of Al^{3+} ($3.12 \text{ cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$), and was low in percentage of base saturation (52.3%), as the result of weathering and leaching of changeable bases. Available P (Bray I) was low (5.0 mg g^{-1}); this concurs with high fixed P (96.0%).

Comparison of efficiency of two sources of phosphorus in the soil

The content of available P, product of a compound soil sample from the control plots, was $5.0 \mu\text{g g}^{-1}$ (Table 2); this is a very low value that clearly indicates a deficiency of this element. The yearly soil P content

Cuadro 2. Contenido de fósforo disponible en suelo y foliar total en los tratamientos estudiados.
Table 2. Total content of available phosphorus in soil and leaves in the treatments studied.

| Tratamientos | P en suelo ($\mu\text{g g}^{-1}$) | Tratamientos (mg g^{-1}) | P foliar |
|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------|
| 18-20-12 R.F. | 46 a | 18-20-12 R.F. | 2.0 a |
| 18-20-12 S.T. | 40 a | 18-20-12 S.T. | 1.7 b |
| 18-16-12 R.F. | 31 b | 18-16-12 R.F. | 1.6 c |
| 18-16-12 S.T. | 31 b | 18-12-12 S.T. | 1.5 c |
| 18-12-12 S.T. | 26 bc | 18-16-12 S.T. | 1.5 c |
| 18-12-12 R.F. | 24 c | Estiércol | 1.4 d |
| 18-12-06 F.C. | 18 d | 18-12-06 F.C. | 1.4 d e |
| Estiércol | 15 de | 18-12-12 R.F. | 1.3 d e |
| 18-06-12 R.F. | 12 de | 18-06-12 S.T. | 1.2e |
| 18-06-12 S.T. | 9 ef | 18-06-12 R.F. | 1.1f |
| 18-00-12 | 5 f | 18-00-12 | 1.0g |
| Testigo | 5 f | Testigo | 0.9g |

a,b,c,d,e,f,g Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

El P extraído del suelo tratado con estas dos fuentes de fertilizante no difirió estadísticamente. La fórmula comercial (18-12-06FC), con los mismos fertilizantes, tuvo una respuesta no diferente al tratamiento con estiércol. Los tratamientos intermedios (18-16-12 y 18-12-12) mostraron pocas diferencias entre sí, independientemente de su aplicación con ST o RF debido a la menor cantidad de P.

P en hojas de café

Se evaluaron los cambios en la concentración de P foliar total en café, en muestras recolectadas durante cuatro épocas del año y en cinco años. En la Figura 2 se presentan los contenidos de P en hojas de café en los cinco años; en el Cuadro 2 la comparación de medias del contenido de P foliar en los mismos tratamientos; y en el Cuadro 3 la comparación de medias del P foliar por épocas.

Los tratamientos con valores más altos ($p \leq 0.05$) fueron 18-20-12, tanto con RF como ST, elevando las concentraciones del contenido foliar a 2.0 mg g^{-1} y 1.7 mg g^{-1} , mientras que en el testigo fue 0.9 mg g^{-1} . Este valor es muy bajo, lo que significa una deficiencia de P en hojas (Carvajal, 1984).

La respuesta a las aplicaciones crecientes de P, como ST o RF, aumentaron el nivel de P foliar. Los tratamientos intermedios (18-16-12), no causaron diferencias estadísticas ($p > 0.05$), y los valores fueron 1.6 y 1.5 mg g^{-1} (Cuadro 2) con RF y ST. Tales resultados concuerdan con los reportados por Herrera y Casanova (1994) y Rivero *et al.* (2001).

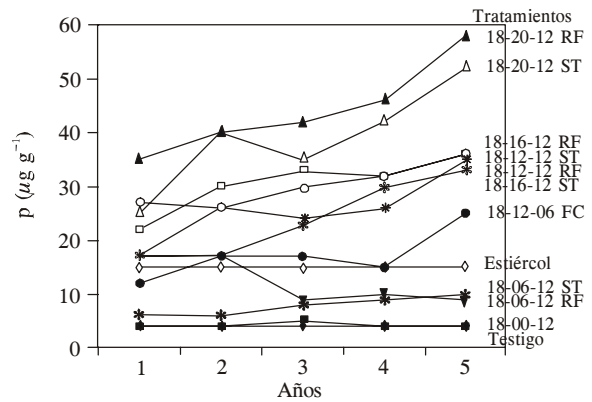


Figura 1. Contenido de fósforo disponible en suelo por año en los tratamientos.
Figure 1. Content of available phosphorus in soil by year and treatment.

in the treatments is shown in Figure 1. In Table 2 the means of all of the years are compared; those in which P content is highest are notable. The treatments with the highest contents ($p \leq 0.05$) were those that received the formula 18-20-12 (545 kg ha^{-1} ammonium nitrate, 1000 kg ha^{-1} rock phosphate, or its equivalent 434 kg ha^{-1} triple calcium superphosphate, and 200 kg ha^{-1} potassium chloride). Bray I P values were 46 mg g^{-1} in the RF treatment and 40 mg g^{-1} with ST (Table 2).

P extracted from the soil treated with these two fertilizer sources did not differ statistically. The commercial formula (18-12-06 FC), with the same fertilizers, had a response that was not different from the treatment with manure. Intermediate treatments (18-16-12 and 18-12-12) were similar, regardless of whether ST or RF was applied, because of a lower amount of P.

P in coffee leaves

Changes in total P concentration in coffee leaves were assessed in samples collected during four seasons of the year over five years. The P contents in coffee leaves for the five years are shown in Figure 2; the comparison of mean leaf P contents in the same treatments is shown in Table 2; the comparison of leaf P means by season is in Table 3.

The treatments with the highest values ($p \leq 0.05$) were 18-20-12, with both RF and ST, which increased the concentrations in leaves to 2.0 mg g^{-1} and 1.7 mg g^{-1} , while in the control it was 0.9 mg g^{-1} . This latter value is very low, indicating a deficiency of P in leaves (Carvajal, 1984).

The response to increasing P applications, as ST or RF, was increased leaf P levels. The intermediate treatments (18-16-12), with values of 1.6 and 1.5 mg g^{-1} , with RF and ST, did not cause any statistical

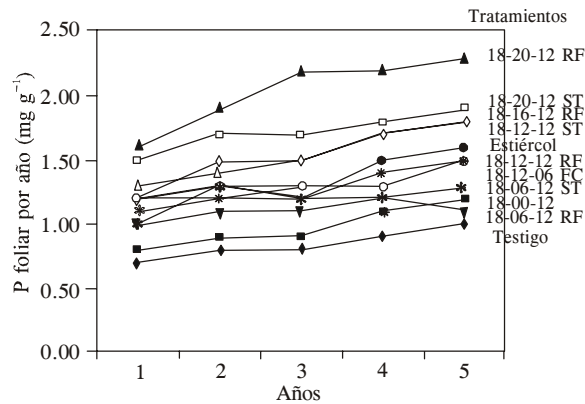


Figura 2. Contenido de fósforo foliar total por año, en los tratamientos.

Figure 2. Total content of leaf phosphorus by year and treatment.

Comportamiento del fósforo en cuatro épocas del año

Los valores más altos de P en suelo ($p \leq 0.05$) se registraron en junio y septiembre, que es la época de mayor precipitación en la zona (Cuadro 3). En el suelo, la humedad de la época de lluvias es fundamental para solubilizar los fertilizantes y, fisiológicamente, porque es el período de mayor actividad en la absorción de nutrimentos por la planta de café (Fixen, 1994; Ramírez *et al.*, 2002). Los valores más bajos en diciembre y marzo representan la época seca. Los valores más altos y estadísticamente no diferentes de P foliar ocurrieron en junio y septiembre; los valores menores y estadísticamente diferentes entre ellos y con los dos anteriores, fueron en marzo y diciembre (Cuadro 3). Estos resultados reflejan patrones estacionales relativamente distintos: los más altos ocurren en la época de lluvias, etapa fisiológicamente muy importante para la planta porque usa al máximo su capacidad nutritiva para producir biomasa y buena fructificación (Pacheco y Carvajal, 1978). Finalmente, el coeficiente de correlación entre P en suelo y P foliar fue 0.78.

Efecto residual de las fuentes fosfatadas

En el quinto año de tratamiento la RF produjo un efecto residual mayor en el suelo que el ST (Figura 1), aunque dicha roca sólo contiene alrededor de 20% de P soluble. Estos aspectos han sido reportados por Córdoba(1991), Herrera y Casanova(1994) y Rivero *et al.* (2001). Aunque la fuente de RF tiene contenidos bajos de P soluble, la planta de café alcanzó concentraciones suficientes de P foliar (2.0 mg g^{-1}). Al final de los cinco años la RF superó la concentración foliar alcanzada con ST en 0.3 mg g^{-1} y produjo un mayor efecto

Cuadro 3. Contenido de fósforo disponible en suelo y foliar total por épocas durante cinco años.

Table 3. Total content of available phosphorus in soil and leaves by season over five years.

| Época | P suelo ($\mu\text{g g}^{-1}$) | Época | P foliar(mg g^{-1}) |
|------------|----------------------------------|------------|--------------------------------|
| Junio | 30 a | Junio | 1.5 a |
| Septiembre | 24 b | Septiembre | 1.4 a |
| Diciembre | 20 c | Marzo | 1.3 b |
| Marzo | 13 d | Diciembre | 1.2c |

Medias con diferente letra son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$).

differences ($p \leq 0.05$). These results are in agreement with those reported by Herrera and Casanova (1994) and Rivero *et al.* (2001).

Behavior of phosphorus in four seasons of the year

The highest soil P values ($p \leq 0.05$) were recorded in June and September, which are the seasons of greatest rainfall in the region (Table 3). Moisture provided in the rainy season is essential to solubilize fertilizers, and physiologically, the rainy season is when the coffee plant is most active in terms of nutrient absorption (Fixen, 1994; Ramírez *et al.*, 2002). The lowest values in December and March correspond to the dry season. The highest leaf P values, without significant differences, occurred in June and September, while the lowest values, which were statistically different from each other and from the other two seasons, were recorded in March and December (Table 3). These results reflect a relatively distinct seasonal pattern: the highest occurring in the rainy season at a physiologically very important stage for the plant when it uses its maximum nutritive capacity to produce biomass and good fruit set (Pacheco and Carvajal, 1978). Finally, the coefficient of correlation between soil P and leaf P was 0.78.

Residual effect of phosphate sources

In the fifth year of treatment RF produced a greater residual effect in the soil than ST (Figure 1), although the rock contains only around 20% soluble P. These aspects have been reported by Córdoba (1991), Herrera and Casanova (1994) and Rivero *et al.* (2001). Although the RF source has low contents of soluble P, the coffee plants had sufficient leaf P (2.0 mg g^{-1}). At the end of five years, the RF treatment surpassed the leaf

residual en el suelo, el cual se reflejó en una mejor disponibilidad en hojas de la planta de café.

Efecto del abono orgánico

El P extraíble Bray I del suelo, en el tratamiento con estiércol ($15 \mu\text{g g}^{-1}$ P), tuvo un comportamiento similar a los tratamientos con bajos contenidos de P, como el fertilizado con 18-06-12; pero fue mejor que el testigo (Cuadro 2).

El P foliar en las plantas del tratamiento con estiércol (1.4 mg g^{-1} P) también fue similar a los tratamientos con bajos contenidos de P, como el 18-12-06. Es posible que la cantidad aplicada de abono orgánico no fue suficiente para elevar el contenido de P en el suelo, aunque según Salas *et al.* (2003), en suelos volcánicos los abonos son efectivos sólo con un alto contenido en N y P.

CONCLUSIONES

En los suelos estudiados hubo deficiencia de fósforo, cuya concentración muestra una clara relación con las propiedades químicas de los suelos.

Las concentraciones más altas de fósforo, en suelo y hojas de café, se obtuvo con las dosis 18-20-12 RF y 18-20-12 ST. En junio y septiembre ocurrieron las mayores concentraciones de P en suelo y foliar. En los cinco años el P en suelo aumentó con las dosis 18-20-12, 18-16-12 y 18-12-12; el P foliar tuvo la misma tendencia con las tres dosis.

La roca fosfórica presentó la mayor residualidad. Para los tratamientos con estiércol, la dosis 18-06-12, y los testigos, el P se mantuvo en el mismo nivel o tendió a decrecer.

AGRADECIMIENTO

Por el asesoramiento y apoyo brindado: Dra. Georgina Fernández Villagómez y Dr. Ignacio Méndez Ramírez.

LITERATURA CITADA

- Alvarado, H., A., F. Bertsch H., E. Bornemisza S., G. Cabalceta A., C. Forsythe H., R. Mata Ch., E. Molina R, y R. Salas C. 2001. Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas (Andisoles) de Costa Rica. 1ª Edición. San José de Costa Rica. 112 p.
- Bouyoucos, G. M. 1963. Directions for making mechanical análisis of soil by hydrometer method. *Soil Sci.* 42: 25-30
- Carvajal, J., F. 1984. Cafeto, Cultivo y Fertilización. 2ª. Ed. Instituto Internacional de la Potasa. Berna, Suiza. 239 p.
- Chang, S., C., and M.L. Jackson. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84:133-144.
- Chapman, H., D., and P.F. Pratt. 1961. Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agricultural Sciences. U.S.A. 309 p.

concentration achieved with ST by 0.3 mg g^{-1} and produced a greater residual effect in the soil. This was reflected in a better availability in coffee leaves.

Effect of organic fertilizer

Bray I P extracted from the soil in the treatment with manure ($15 \mu\text{g g}^{-1}$ P) had a response similar to the treatments with low P content, such as the 18-06-12 fertilizer treatment, but better than the control (Table 2).

Leaf P in plants of the manure treatment (1.4 mg g^{-1} P) was also similar to that of the treatments with low P content, such as 18-12-06. It is possible that the amount of organic fertilizer applied was not sufficient to raise P content in the soil, although according to Salas *et al.* (2003), in volcanic soils organic fertilizers are effective only when they have high N and P contents.

CONCLUSIONS

In the soils studied there was a deficiency of phosphorus, whose concentration shows a clear relationship to the chemical properties of the soils.

The highest concentrations of phosphorus in soil and coffee leaves were obtained with the dosage 18-20-12 RF and 18-20-12 ST. In June and September the higher concentration of P in soil and leaves were found. Over the five years, soil P increased with the dosages 18-20-12, 18-16-12 and 18-12-12; leaf P followed the same trend with these three dosages.

Rock phosphate had the highest residuality. P level in treatments with manure, with the dosage 18-06-12 and the control treatments remained equal or tended to decrease.

End of the English version—



- Córdoba, J., J. 1991. Roca fosfatada Napo como fuente de fósforo para cultivos de zonas altas de Ecuador. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 17:181-195.
- FAO. Food and Agriculture Organization. 2002. Los Fertilizantes y su Uso. *Asoc. Internac. Indust. de Fertilizantes.* 4ª Ed. 87 p.
- FAO. Food and Agriculture Organization 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. *Fertilizer and Plant Nutrition Bull.* 13. 196 p.
- Fixen, P. 1994. Dinámica suelo-cultivo del fósforo y manejo de los fertilizantes fosfatados. (Parte II). *Informaciones Agronómicas, Instituto de la Potasa y el Fósforo.* Quito, Ecuador (17): 9-12
- Helbig, C. 1964. El Soconusco y su Zona Cafetalera en Chiapas. 1ª. Edición. Traducción Instituto de Ciencias y Artes de Chiapas. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. 133 p.
- Herrera, T., y E. Cassanova. 1994. Efecto de las características de suelos y rocas fosfóricas sobre el fósforo disponible. *Rev. Venesuelos* 5 (1 y 2):34-39.

- Jackson, M.L. 1970. Análisis Químico de Suelos. Ed. Omega. Barcelona, España. 662 p.
- Jiménez, E. 1980. Guía para muestreo foliar en fincas de café. ANACAFE. 5:4-8.
- JMP. 2002. JMP Statistics and Graphics Guide Version 5. Cary N.C. SAS Institute. pp: 315-334.
- Macías, J. L., J.M. Espíndola, A.García-Palomo, K.M. Scott, S. Hughes, and J.C. Mora. 2000. Late Holocene Peléan-style eruption at Tacaná volcano, Mexico and Guatemala: Past, present, and future hazards. *J. Geological Soc. Am. Bull.* 112:1234-1249.
- Malavolta, E., C. Vitti G., y A. Oliveira S. 1989. Avaliacao do Estado Nutricional das Plantas. Principios e Aplicacoes. Piracicaba, Bra. Associacao Brasileira para Pesquisa da Potassa. 202 p.
- Munsell. 1994. Soil Color Charts. Ed. Munsell Color Company Inc. New Winsor, NY USA. 46 p.
- Núñez, E. R., y F.Gavi R. 1994. Comportamiento agronómico de roca fosfórica de Baja California en un andosol, un planosol y un aridisol de México. *Terra* 12: 17-22.
- Pacheco R., y J. Carvajal F. 1978. Fertilización fosfórica en dos suelos de Costa Rica. *In: Resúmenes III Congreso Agronómico Nacional (Costa Rica)*. V.I: 8-85
- Pratt, P. F., and F. Bair L. 1961. A comparison of three reagents for the extraction of aluminum from soils. *Soil Sci.* v.91: 357-359.
- Ramírez, F., F. Bertsch, y L. Mora. 2002. Consumo de nutrimentos por los frutos y bandolas de café Caturra durante un ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 26: 33-42.
- Ramos H.,S.G., y N. Aguilera H. 1984. Comportamiento de fertilizantes fosfatados en suelos fijadores de fósforo. *Anales de Edafología y Agrobiología*. XLIII(1-2):215-234.
- Rivero, C., M. Padrino, y T. Giampietro. 2001. Efecto de la incorporación de estiércol de bovino y roca fosfórica sobre la disponibilidad de fósforo en el suelo. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 27:143 -153.
- Salas, A.M., E.T. Elliott, D.G. Westfall, C.V. Cole, and J. Six. 2003. The role of particulate organic matter in phosphorus cycling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:181-189.
- Sen Gupta, M. B., and A.H. Cornfield 1962. Phosphorus in calcareous soils. I The inorganic phosphorus fractions and their relations to the amount of calcium carbonate present. *J. Sci. Food Agric.* 13:652-655
- Shoji, S., J. M. Nansyo, and R. Dahlgren. 1993. Volcanic ash soils, genesis, properties and utilization. *Devel. Soil Sci.* 21:288.
- Soil Survey Staff. 1984. Procedures for collecting soil samples and methods of analysis for soil survey. Washington D.C., U.S. Department of Agriculture. Survey Investigations. Report 1. U.S. Government Printing Office. 90 p.
- Valencia-Aristizabal, G. 1984. Interpretación de análisis de suelos para café. *Suelos Ecuatoriales* XIV(1):186-189.
- Walkley, A., and I. A. Black, 1947. An examination of the deghthareff method for determining soil organic and a proposed modification of chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.