

Cenicafé

Revista del
Centro Nacional de Investigaciones de Café



Volumen 69 Número 2

Julio - Diciembre 2018



**Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia**

Ministro de Hacienda y Crédito Público

Alberto Carrasquilla Barrera

Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural

Andrés Valencia Pinzón

Ministro de Comercio, Industria y Turismo

José Manuel Restrepo Abondano

Directora del Departamento Nacional de Planeación

Gloria Amparo Alonso Másmela

Representante del Gobierno en Asuntos Cafeteros

Nicolás Pérez Marulanda

COMITÉ NACIONAL

Periodo 1° enero/2015- diciembre 31/2018

José Fernando Montoya Ortega

José Alirio Barreto Buitrago

Eugenio Vélez Uribe

Danilo Reinaldo Vivas Ramos

Pedro Gonzalo Carrillo Urariyu

Javier Bohórquez Bohórquez

Álvaro Espitia

Ricardo Arturo Hernández Rubio

Jesús Armando Benavides Portilla

Alfredo Yáñez Carvajal

Carlos Alberto Cardona Cardona

Luis Miguel Ramírez Colorado

Héctor Santos Galvis

Luis Javier Trujillo Buitrago

Camilo Restrepo Osorio

Gerente General

Roberto Vélez Vallejo

Gerente Administrativo

Carlos Alberto González Arboleda

Gerente Financiero

Juan Camilo Becerra Botero

Gerente Comercial

Juan Camilo Ramos Mejía

Gerente Técnico

Hernando Duque Orrego

Director Investigación Científica y Tecnológica

Álvaro León Gaitán Bustamante

Uso del material de esta revista:

Aquellas personas que deseen usar en otras publicaciones, ilustraciones o datos publicados en la Revista Cenicafé, deben obtener el permiso del Centro Nacional de Investigaciones de Café y del autor del artículo y reconocer por escrito los créditos a la Revista Cenicafé como fuente original del material.

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

La Revista Cenicafé, órgano divulgativo del Programa de Investigación Científica de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia y el Fondo Nacional del Café se publica semestralmente.

Editada en diciembre de 2018
Tel: 57(6)8506550 Fax: 57(6)8504723 A.A.: 2427 Manizales
E-mail: cenicafe@cafedecolombia.com
www.cenicafe.org

Cenicafé

Revista del Centro Nacional de Investigaciones de Café

Manizales - Caldas - Colombia

VOL. 69

JULIO - DICIEMBRE 2018

No. 2

CONTENIDO

ADSORCIÓN DE FÓSFORO EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA DE COLOMBIA. Vanessa Catalina Díaz Poveda; Siavosh Sadeghian Khalajabadi	7
PHOSPHORUS ADSORPTION IN SOILS OF THE COLOMBIAN COFFEE ZONE	7
DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES EN EL SUELO Y PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN SISTEMAS AGROFORESTALES. Fernando Farfán Valencia; Pedro María Sánchez Arciniegas	17
DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE SOIL AND COFFEE PRODUCTION IN AGROFORESTRY SYSTEMS	17
MORFOLOGÍA DE <i>Castolus lineatus</i> (Hemiptera: Reduviidae) DEPREDADOR DE <i>Monalonion velezangeli</i> (Hemiptera: Miridae). Laura Alexandra Laiton Jiménez; Marisol Giraldo Jaramillo; Dimitri Forero; Pablo Benavides Machado	28
MORPHOLOGY OF <i>Castolus lineatus</i> (Hemiptera: Reduviidae) PREDATOR OF <i>Monalonion velezangeli</i> (Hemiptera: Miridae)	28
SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POTENCIALES EN EL SECTOR CAFETERO COLOMBIANO. Marisol González González; César Alberto Serna Giraldo	35
POTENTIAL ECOSYSTEM SERVICES IN THE COLOMBIAN COFFEE SECTOR	35
VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO A NIVEL DE LOTE EN CAFÉ. Alveiro Salamanca Jiménez; Luz Adriana Lince; Norbey Antonio Alzate Sánchez	47
SPATIAL VARIABILITY OF SOIL BULK DENSITY AT COFFEE-CROP PLOT LEVEL	47

COMITÉ EDITORIAL

Pablo Benavides M.	PhD. Ing. Agrónomo. Entomología, Cenicafé
Carmenza E. Góngora B.	PhD. Microbióloga. Entomología, Cenicafé
José Ricardo Acuña Z.	PhD. Biólogo. Fisiología Vegetal, Cenicafé
Diana María Molina V.	PhD. Bacterióloga. Mejoramiento Genético, Cenicafé
Paula Jimena Ramos G.	PhD. Ing. Electrónica. Poscosecha, Cenicafé

EDITORES ESPECIALIZADOS

Juan Rodrigo Sanz U.	PhD. Cenicafé, FNC
Luis Miguel Constantino C.	MSc. Cenicafé, FNC

REVISORES REVISTA CENICAFÉ VOLUMEN 69 No. 1 Y No. 2

Álvaro L. Gaitán B.	PhD. Cenicafé, Federación Nacional de Cafeteros (FNC)
Hernando Duque O.	MSc. Gerencia Técnica (FNC)
Pablo Benavides M.	PhD. Cenicafé, FNC
Ricardo Acuña S.	PhD. Cenicafé, FNC
Marisol Giraldo J.	PhD. Cenicafé, FNC
Luis Fernando Salazar G.	MSc. Cenicafé, FNC
Hernán González O.	MSc. Cenicafé, FNC
José Raúl Rendón S.	MSc. Cenicafé, FNC
Carlos A. Unigarro M.	MSc. Cenicafé, FNC
Lucio Navarro E.	PhD. Cenicafé, FNC
Álvaro Jaramillo R.	MSc. Cenicafé, FNC
Rodrigo Alarcón S.	Ing. Químico, Almacafé, FNC
Marco Cristancho A.	PhD. Universidad de los Andes
Fabio Rodrigo Leiva B.	PhD. Universidad Nacional de Colombia
Víctor Hugo Grisales P.	PhD. Universidad Nacional de Colombia
Rolando Tito Bacca I.	PhD. Universidad del Tolima
Osmar René Arias	PhD. Estudiante. Universidad Nacional de Asunción Paraguay
Juan Humberto Guarín M.	PhD. Agrosavia
Luis Alberto Vargas	MSc. Universidad de Manizales
Isabel Bravo R.	MSc. Universidad del Cauca
Carmen S. Morales L.	MSc. Universidad de Caldas
Oscar Leonardo García N.	MSc. Universidad Nacional de Colombia
Juan Manuel López V.	MSc. Cenipalma
Flavia Augusta Clochet	PhD. Universidade Norte do Paraná, Brasil
Alma Henao T.	Bibliotecóloga. Cenicafé, FNC

ADSORCIÓN DE FÓSFORO EN SUELOS DE LA ZONA CAFETERA DE COLOMBIA

Vanessa Catalina Díaz Poveda*, Siavosh Sadeghian Khalajabadi*

DÍAZ P., V. C.; SADEGHIAN K., S. Adsorción de fósforo en suelos de la zona cafetera de Colombia. Revista Cenicafé 69(2):7-16. 2018

El entendimiento de la dinámica del fósforo (P) en el suelo y los factores que determinan su disponibilidad para las plantas son esenciales en el manejo eficiente del nutriente, así como en su impacto ambiental. El objetivo de este trabajo fue evaluar la capacidad de adsorción de P de suelos representativos de la zona cafetera de Colombia y su relación con otras propiedades edáficas. Mediante la técnica de isotermas de adsorción se determinó la retención de fosfatos en muestras de suelo, procedentes de 14 departamentos y clasificados como Andisoles e Inceptisoles. Se utilizaron los modelos de Langmuir y Freundlich con el fin de explicar la capacidad de los suelos para retener el P y calcular la fracción adsorbida a una concentración de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ en la solución de equilibrio, criterio que sirvió para su clasificación. La capacidad máxima de fijación de P varió entre 118 y 3.333 mg kg^{-1} . Los dos modelos empleados explicaron satisfactoriamente el fenómeno objeto de estudio, sin embargo, se optó por el de Langmuir, debido a que sus parámetros tienen significado físico. Según este modelo, las muestras de Antioquia y Tolima exhibieron una fijación muy alta, las de Caldas y Cauca alta, las de Caquetá, Casanare, La Guajira, Huila, Meta y Santander media, y las de Magdalena, Norte de Santander, Nariño y Quindío baja. Se encontró una correlación positiva y significativa de la fijación de P con los contenidos de la materia orgánica y las arcillas amorfas. Aunque los Andisoles retuvieron una mayor cantidad de P, el grado de la afinidad por el elemento varió entre estos.

Palabras clave: Isotermas de adsorción, mineralogía de arcillas, modelo de Langmuir, materia orgánica.

PHOSPHORUS ADSORPTION IN SOILS OF THE COLOMBIAN COFFEE ZONE

Understanding the phosphorus' (P) dynamic in soils and the factors that determine its availability for plants proves essential in the efficient management of the nutrient, as well as its environmental impact. The aim of this study was to evaluate the capacity for P adsorption of representative soils of the Colombian coffee-producing region and its relationship with other edaphic properties. Using the adsorption isotherm technique, phosphate retention for soil samples from 14 municipalities classified as Andisols and Inceptisols, was determined. The Langmuir and Freundlich models were used to explain the capacity of soils to retain P and calculate the adsorbed fraction at a concentration of 0.2 mg.L^{-1} in the equilibrium solution; a criterion that was used in its classification. Phosphorus maximum fixation capacity varied between 118 y $3,333 \text{ mg.kg}^{-1}$. Although both models satisfactorily explained the phenomenon under study, the Lagmuir model was selected, given that its parameters provide physical meaning. According to this model, samples from Antioquia and Tolima exhibited a very high fixation, those from Caldas and Cauca exhibited a high fixation, those from Caquetá, Casanare, Guajira, Huila, Meta and Santander a medium fixation, and those from de Magdalena, Norte de Santander, Nariño and Quindio low. A positive and significant correlation was found between P fixation capacity and the contents of organic matter and amorphous clays. Although Andisols retained a greater amount of P, the affinity degree for the element varied between these.

Keywords: Adsorption isotherms, clay mineralogy, Langmuir model, organic matter.

*Asistente de Investigación e Investigador Científico III, respectivamente. Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

El fósforo (P) es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Su disponibilidad en la solución del suelo depende de la riqueza de los minerales presentes, las adiciones de fertilizantes y enmiendas, los aportes de residuos orgánicos, la absorción por las raíces, la actividad microbiana a través de la mineralización e inmovilización, las pérdidas por lixiviación y los procesos de disolución, adsorción, desorción y precipitación (13). La retención o fijación de P es consecuencia de las reacciones de adsorción y precipitación, en las que el elemento puede convertirse en formas poco solubles o insolubles (14). Así, en suelos con altos contenidos de P total puede presentarse una baja disponibilidad del nutriente para las plantas y los microorganismos (11).

La recomendación del suministro de P para los cultivos puede hacerse con base en el análisis de suelo, realizado a través de varios métodos, los cuales consisten en la extracción química del elemento por diferentes soluciones (18, 19), sin que se proporcione información acerca de la capacidad de su fijación (10). La capacidad de fijación resulta relevante, ya que el P aplicado según la necesidad establecida, puede ser fijado y quedar como no disponible para ser usado por las plantas; además, los suelos tienen una mayor o menor capacidad de retención del elemento de acuerdo con sus características fisicoquímicas, entre ellas, contenido de materia orgánica (MO), pH (25) y contenido de aluminio intercambiable (Al^{3+}), que puede reaccionar con iones fosfato para formar compuestos insolubles (17, 20) y otros tipos de minerales (óxidos de aluminio, hierro y calcio), con los que puede formar enlaces por reacciones aniónicas específicas, además de su área superficial, entre otras (13).

Mediante el método de isotermas de adsorción de P, desarrollado por Fox y

Kamprath (12), es posible establecer los requerimientos de fertilizantes fosfóricos, teniendo en cuenta los factores de intensidad (disponibilidad en la solución del suelo) y capacidad (poder búfer del suelo). Esta técnica puede ser descrita por medio de modelos matemáticos, siendo los más conocidos y utilizados los de Langmuir y Freundlich. Estudios sobre el tema debaten cual ecuación se ajusta mejor a los resultados obtenidos; al respecto, Khan *et al.* (16) y Sanyal *et al.* (24), encontraron que la ecuación de Freundlich describe mejor la isoterma en todas las series analizadas, no obstante, y a pesar de que el modelo describe adecuadamente el fenómeno, no permite dar una interpretación a las constantes, ya que no tienen significado físico (22). Por su parte, el modelo de Langmuir ha sido frecuentemente utilizado para describir la adsorción de líquidos y de iones en solución por sólidos, la ventaja de su uso radica en la posibilidad de calcular la máxima capacidad de adsorción de P y una constante relacionada con la energía de adsorción del mismo (17, 25).

Algunas investigaciones se han enfocado en la adsorción de P, asociada a los contenidos de MO y arcillas. De acuerdo con Bravo *et al.* (4), en suelos ácidos del departamento del Cauca, la MO puede contribuir al aumento o disminución de la disponibilidad del elemento, dependiendo de su grado de humificación o mineralización. Por su parte, Obura (20) y Kisinyo *et al.* (17), concluyen que los minerales de arcilla responsables de la adsorción de P en suelos ácidos de Kenia y Brasil son principalmente kaolinita, goetita y gibsitita, predominando este último por tener mayor área superficial. En suelos derivados de cenizas volcánicas, en particular los Andisoles, la adsorción ocurre principalmente por arcillas como las alofanas y la imogolita (9). Estudios realizados por Chaves (7) permitieron entender la dinámica del fósforo en

el suelo y los métodos para medir su fijación. Por otro lado, Bravo *et al.* (3) demostraron la relevancia de conocer la capacidad de fijación de P de los suelos, específicamente de andisoles de la zona cafetera colombiana, información que debe tenerse en cuenta en los programas de fertilización, con el fin de aplicar la cantidad necesaria del elemento.

Para el cultivo de café los requerimientos de P se encuentran asociados a su significativo papel tanto en la etapa de almácigo como en la etapa de producción, al ser responsable de formar plantas vigorosas, con buen sistema radical y como promotor de la floración y el desarrollo del fruto (28). Dada la importancia del elemento y la necesidad de conocer su dinámica en el suelo, se desarrolló esta investigación de tipo exploratorio y descriptivo, con el objetivo de evaluar la capacidad de adsorción de P de diferentes suelos representativos de las zonas cafeteras del país y las propiedades relacionadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestreo, preparación y caracterización de suelos. Se emplearon muestras representativas de suelos provenientes de 14 departamentos cafeteros de Colombia, clasificados como Andisoles e Inceptisoles: Antioquia, Caldas, Caquetá, Casanare, Cauca, La Guajira, Huila, Magdalena, Meta, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Santander y Tolima (Tabla 1). Las muestras se tomaron en lotes de café a 20 cm de profundidad, posteriormente se secaron en estufa a 40°C, se pasaron por tamiz de 10 mesh y se analizaron en sus propiedades químicas y físicas, de acuerdo con la metodología descrita por Carrillo (6): pH (método potenciométrico-relación suelo:agua desionizada 1:1 p/p), carbono orgánico (método Walkley-Black y valoración por colorimetría a 585 nm), bases (extracción con acetato de amonio pH 7,0), aluminio intercambiable

(extracción con KCl 1N), fósforo (extracción con Bray II, coloración Bray-Kurtz y lectura por colorimetría a 660 nm) y textura (Bouyoucos). La mineralogía de arcillas fue realizada por difracción de rayos X.

Isotermas de adsorción de P. Para determinar la capacidad de adsorción de P de los suelos seleccionados se empleó el método propuesto por Fox y Kamprath (12) con algunas modificaciones. Para ello, 3,0 g de suelo seco y tamizado se traspasaron a tubos cónicos de polipropileno de 50,0 mL, se adicionaron 30,0 mL de una solución de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,01M con concentraciones crecientes de P, según el tipo de suelo (0 a 3.200 mg kg^{-1} de suelo). Los tubos se agitaron por 24 h y se centrifugaron a 4.000 r.p.m. durante 10 min, tiempo después del cual las muestras se filtraron, usando papel de filtro de 0,45 μm ; finalmente, se cuantificó la concentración de P mediante el método de azul de molibdeno. Los análisis descritos se realizaron por triplicado para cada muestra de suelo. El P adsorbido se calculó con base en la diferencia entre la concentración inicial de la solución aplicada y la concentración final obtenida en la solución de equilibrio.

Se expresó el P adsorbido en función de su concentración en la solución de equilibrio, empleando los modelos linealizados de Langmuir y Freundlich. El modelo simple de Langmuir tiene la siguiente forma (Ecuación <1>):

$$\frac{x}{m} = \frac{K \cdot C \cdot b}{(1 + K \cdot C)} \quad <1>$$

Donde:

x/m = concentración de P adsorbido, mg kg^{-1} de suelo

C = concentración de P en solución, mg L^{-1}

b = máxima adsorción de P, mg kg^{-1} de suelo

K = constante relacionada con la energía de enlace entre los iones fosfato y la superficie de las partículas del suelo, mg L^{-1}

El modelo de Freundlich tiene la siguiente forma (Ecuación <2>):

$$\frac{x}{m} = K \cdot C^n \quad \langle 2 \rangle$$

Donde:

x/m = concentración de P adsorbido, mg kg^{-1} de suelo

C = concentración de P en solución, mg L^{-1}

K y n son constantes ajustadas para el modelo, no tienen significado físico

Con base en las dos ecuaciones obtenidas para cada suelo se calculó el P adsorbido a una concentración de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ (q) en la solución de equilibrio; cantidad disponible del elemento que se considera adecuada para un crecimiento óptimo de las plantas (21). Posteriormente, cada suelo se clasificó en su poder de fijación para q , de acuerdo con los rangos establecidos por Juo y Fox (15): menor de 10 muy baja, entre 10-100 baja, entre 101-500 media, entre 501-1.000 alta y mayor de 1.000 mg kg^{-1} muy alta.

Para cada suelo se obtuvieron los valores de los coeficientes de determinación (R^2) de las ecuaciones de Langmuir <1> y Freundlich <2>, y la Raíz del Cuadrado Medio del Error (RCME), como indicadores de la bondad del ajuste; así mismo, se empleó la correlación de Pearson con el fin de valorar la asociación entre las propiedades

de los suelos y los parámetros b y q de las ecuaciones. La información se tabuló en Excel (Microsoft Office Standard, 2016) y se analizó en el software SAS versión 9,4 (SAS Institute, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos estudiados fueron disímiles en su capacidad para adsorber P (Figura 1). Las muestras procedentes de Antioquia, Cauca y Tolima presentaron una alta capacidad de fijación y, por lo tanto, fue necesario aplicar las máximas concentraciones del elemento (3.200 mg kg^{-1}) con el fin de lograr cambios significativos en la solución de equilibrio. En contraste, los suelos de Casanare, Magdalena, La Guajira, Huila, Norte de Santander y Quindío requirieron 800 mg kg^{-1} , y Nariño solo 300 mg kg^{-1} .

De acuerdo con el modelo de Langmuir (Tabla 2), las muestras de Antioquia, Caldas, Cauca y Tolima exhibieron mayor capacidad para la fijación de P (entre 1.111 y 3.333 mg kg^{-1}) que las de Magdalena y Nariño (263 y 556 mg kg^{-1} , respectivamente), resultado que se reflejó en sus valores de k (parámetro asociado a la energía de enlace de los iones fosfato con la superficie de las partículas del suelo).

Aunque el modelo de Freundlich también describe adecuadamente el fenómeno (Tabla 2), presenta el inconveniente de no tener una interpretación a las constantes y, en razón de ello, no tiene significado físico; sin embargo, el valor de K es asumido como la máxima capacidad de adsorción. Según este modelo, las muestras de suelo con mayor capacidad de adsorción de P se registraron en Antioquia, Caldas, Cauca y Tolima, con valores entre 1.125 y 2.782 mg kg^{-1} de P, y las menores en Nariño y Quindío, con valores de 118 y 149 mg kg^{-1} de P, respectivamente.

Tabla 1. Clasificación y propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los suelos analizados.

Departamento	Orden	pH	MO	K	Ca	Mg	Al	P	Arcillas cristalinas		Arcillas amorfas		L	A
			%	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	%	%	Ar	A			
Antioquia	Andisol	4,96	13	0,16	0,74	0,31	1,15	3	21,30	78,70	22,42	39,71	37,87	
Caldas	Andisol	6,28	7,55	0,11	5,95	1,26	0,00	21	40,80	59,20	18,42	31,57	50,02	
Caquetá	Inceptisol	4,61	2,60	0,11	0,39	0,21	1,17	2	82,20	17,80	42,42	15,71	41,87	
Casanare	Inceptisol	4,15	2,53	0,07	0,2	0,10	2,69	26	85,70	14,30	22,42	19,57	58,02	
Cauca	Andisol	5,28	24,98	0,26	0,77	0,49	1,06	2	23,80	76,20	30,42	39,57	30,02	
La Guajira	Inceptisol	5,07	2,89	0,33	2,8	0,70	0,52	3	72,80	27,20	50,42	23,57	26,02	
Huila	Inceptisol	5,70	4,74	0,30	10,05	2,76	0,06	39	78,70	21,30	17,00	32,00	51,00	
Magdalena	Inceptisol	5,04	2,99	0,14	4,27	1,10	0,44	9	79,00	21,00	30,42	31,57	38,02	
Meta	Inceptisol	4,49	2,30	0,23	1,35	0,62	5,00	5	65,30	34,70	58,27	23,71	18,02	
Norte de Santander	Inceptisol	4,63	5,50	0,12	5,79	1,10	1,44	122	72,30	27,70	27,71	39,28	33,01	
Nariño	Inceptisol	5,31	2,71	0,27	3,67	1,41	0,14	16	69,70	30,30	34,27	19,86	45,87	
Quindío	Andisol	4,91	6,01	0,12	2,57	0,50	0,76	146	46,80	53,20	27,57	19,28	53,15	
Santander	Inceptisol	4,31	5,11	0,09	0,35	0,19	2,79	10	93,60	6,40	26,27	15,86	57,87	
Tolima	Andisol	5,62	9,45	0,13	2,12	0,66	0,00	1	25,30	74,70	14,56	39,57	45,87	

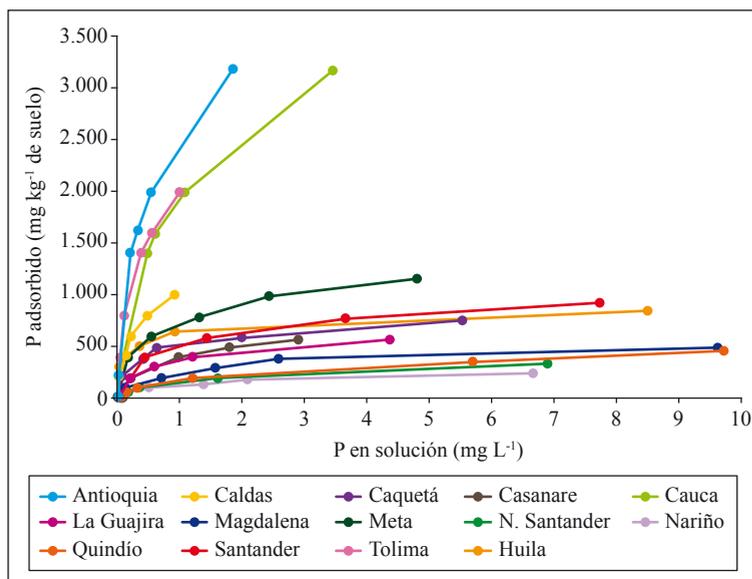


Figura 1. Isothermas de adsorción de P de suelos representativos de la zona cafetera de Colombia.

Tabla 2. Parámetros de las isothermas de Langmuir y Freundlich, obtenidas para suelos representativos de la zona cafetera de Colombia y la respectiva clasificación de fijación.

Departamento	Modelo de Langmuir				Modelo de Freundlich			
	<i>b</i> mg kg ⁻¹	<i>K</i> mg L ⁻¹	<i>q</i> mg kg ⁻¹	Clasificación	<i>N</i>	<i>K</i>	<i>q</i> mg kg ⁻¹	Clasificación
Antioquia	3.333,33	3,00	1.250,00	Muy alta	0,60	2.782,49	1.054,61	Muy alta
Caldas	1.111,11	9,00	714,29	Alta	0,49	1.124,73	510,83	Alta
Caquetá	769,23	2,60	263,16	Media	0,29	485,462	302,36	Media
Casanare	666,67	1,88	181,82	Media	0,47	369,481	172,55	Media
Cauca	3.333,33	1,50	769,23	Alta	0,57	1.873,94	751,18	Alta
La Guajira	714,29	1,08	126,58	Media	0,31	343,676	207,50	Media
Huila	1.000,00	3,33	400,00	Media	0,19	599,60	444,62	Media
Magdalena	555,56	0,90	84,75	Baja	0,38	225,698	121,95	Media
Meta	1.250,00	1,60	303,03	Media	0,32	718,094	430,64	Media
Norte de Santander	666,67	0,28	35,71	Baja	0,49	137,126	62,70	Baja
Nariño	263,16	1,09	46,95	Baja	0,42	118,167	60,49	Baja
Quindío	666,67	0,35	43,48	Baja	0,49	149,068	67,58	Baja
Santander	1.111,11	0,75	144,93	Media	0,29	513,731	323,33	Media
Tolima	3.333,33	3,00	1.250,00	Muy alta	0,45	1.985,85	967,02	Alta

q = P adsorbido por unidad de masa de suelo a una concentración de equilibrio de 0,2 mg L⁻¹.

De los 14 suelos, 12 coincidieron en la clasificación realizada con la aplicación de los dos modelos. Se obtuvieron los siguientes rangos de fijación, de acuerdo con los criterios establecidos por Juo y Fox (15):

- Muy alta: Antioquia y Tolima.
- Alta: Caldas y Cauca.
- Media: Caquetá, Casanare, La Guajira, Huila, Meta y Santander.
- Baja: Magdalena, Norte de Santander, Nariño y Quindío.

De acuerdo con Alvarado *et al.* (1) y Soto (3), la alta fijación de fosfatos puede asociarse a la mineralogía de los suelos, específicamente, las fijaciones alta y muy alta pueden atribuir a la presencia de óxidos y materiales amorfos. Con respecto a estos últimos materiales las muestras provenientes de Antioquia, Cauca y Tolima presentaron los siguientes porcentajes: 78, 76 y 75, respectivamente. Los anteriores suelos pertenecen al orden Andisol; sin embargo, su capacidad para fijar el P dista de otras muestras con la misma clasificación, procedentes de los departamentos de Caldas y Quindío.

En la Tabla 3 se consignan para cada suelo los coeficientes de determinación (R^2) y la Raíz del Cuadrado Medio del Error (RCME), como indicadores de la bondad del ajuste de los modelos. En ambos casos se presentaron valores altos de R^2 (mayores de 0,95) y RCME, resultado que sugiere el uso de cualquiera de estos. Por lo anterior y dado que los parámetros del modelo de Langmuir tienen significado, se sugiere emplearlo para explicar el fenómeno de adsorción de P de los suelos objeto de estudio.

Los dos modelos han sido ampliamente empleados en investigaciones similares; en ocasiones los seleccionan directamente mientras que en otros los contrastan. Son ejemplo del primer caso, los reportes de Sato y Comerford (25) y Kisinyo (17) para el modelo de Langmuir, con valores de R^2 entre 0,970 y 0,993. En estudios realizados por Dubus y Becquer (8) y Khan *et al.* (16) compararon los dos modelos, concluyendo que ambos proporcionan un buen ajuste de los datos ($R^2 > 0,95$), resultados equivalentes a los encontrados en este trabajo. De acuerdo con Khan *et al.* (16), la ecuación de Langmuir indica buen ajuste a altas concentraciones de P, mientras que la ecuación de Freundlich muestra que la afinidad disminuye exponencialmente al aumentar la adsorción. Lo anterior, según Bowden *et al.* (5), se debe a que la energía de enlace se reduce a medida en que se incrementa la saturación de P en la superficie del absorbente.

En la Tabla 4 se consignan los coeficientes de correlación obtenidos entre las propiedades de los suelos y el parámetro b del modelo de Langmuir y la adsorción a $0,2 \text{ m L}^{-1}$ en la solución, es decir, q . La MO y el porcentaje de arcillas amorfas presentaron una asociación positiva con los dos parámetros; por su parte, a menor contenido de la fracción cristalina de arcillas, menor capacidad de fijación de P.

El efecto de la MO en el proceso de fijación de P ha sido discutido por varios autores. Algunos sostienen que los compuestos orgánicos, como consecuencia de su dominante carga negativa, recubren los óxidos de Fe y Al para formar complejos que inmovilizan la MO, reduciendo así la adsorción de P o reemplazando los iones fosfato (13). Por otro lado, Espinoza (9) y Sollins (26), explican que los suelos derivados de cenizas volcánicas, conformados por arcillas amorfas (alofana e imogolita), tienen la capacidad de formar

complejos humus-Al, donde el carbono (C) queda inactivo, y es este complejo el que fija el P en los suelos. De esta manera, se concluye que la fijación de P está estrechamente relacionada con la mineralogía de arcillas y el contenido de MO, aspectos que presentan una estrecha relación, en especial para los suelos derivados de cenizas volcánicas.

Se presentó una correlación positiva y significativa entre el contenido de limos y la fijación de P; en este sentido, se hubiera esperado una mayor influencia de las arcillas antes que los limos. Es posible atribuir parte de este resultado a las imprecisiones del método empleado para evaluar la textura, particularmente en lo relacionado con la destrucción de la materia orgánica. Al respecto

se puede comentar que las arcillas del suelo suelen unirse a la materia orgánica y así formar agregados del tamaño de limos. Parte de lo anterior se justifica por la relación que se concentró entre el tipo de arcilla y el fenómeno objeto de estudio ($R^2=0,816$).

Los resultados obtenidos coinciden con los reportes de Ribeiro *et al.* (22), quienes no hallaron relación entre los contenidos de arcilla y los valores de capacidad máxima de adsorción de P, sugiriendo mayor influencia de la calidad mineralógica de esta fracción. Por otro lado, Boschetti *et al.* (2), señalan a las arcillas como el factor principal de variación en la capacidad de adsorción de P de los suelos, sin encontrar relación con el contenido de carbono orgánico.

Tabla 3. Coeficiente de determinación (R^2) y raíz cuadrada media del error (RCME) de las isotermas de adsorción de P para suelos representativos de la zona cafetera de Colombia.

Departamento	Modelo de Langmuir		Modelo de Freundlich	
	R^2	RCME	R^2	RCME
Antioquia	0,990	167,982	0,965	413,703
Caldas	0,999	29,705	0,986	882,900
Caquetá	0,993	50,142	0,960	42,676
Casanare	0,991	25,494	0,980	24,841
Cauca	0,978	173,237	0,983	304,855
La Guajira	0,994	39,821	0,991	19,016
Huila	1,000	85,414	0,954	54,280
Magdalena	0,995	28,088	0,973	37,187
Meta	0,991	93,031	0,998	11,382
Norte de Santander	0,946	54,205	0,986	12,950
Nariño	0,993	12,472	0,974	9,624
Quindío	0,968	48,088	0,982	14,050
Santander	0,993	79,189	0,996	12,832
Tolima	0,958	117,371	0,985	140,743

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson entre las propiedades de los suelos y el parámetro *b* de la ecuación de Langmuir y *q*.

Variable	Parámetro <i>b</i>		<i>q</i>	
	<i>r</i>	<i>α</i>	<i>r</i>	<i>α</i>
pH	0,247	0,395	0,458	0,100
MO	0,812	0,000	0,626	0,017
K	0,038	0,898	-0,036	0,903
Ca	-0,315	0,273	-0,140	0,632
Mg	-0,250	0,388	-0,099	0,736
Al	-0,074	0,801	-0,219	0,451
P	-0,352	0,217	-0,406	0,149
Arcillas cristalinas	-0,816	0,000	-0,815	0,000
Arcillas amorfas	0,816	0,000	0,815	0,000
Ar	-0,309	0,283	-0,433	0,122
L	0,673	0,008	0,661	0,010
A	-0,195	0,504	-0,056	0,849

Los resultados obtenidos permiten concluir que:

- Los suelos de la zona cafetera de Colombia difieren en su capacidad para fijar el fósforo.
- La capacidad de fijación de fosfatos se incrementa con el aumento de los contenidos de la materia orgánica y arcillas amorfas.
- Aunque los Andisoles retienen una mayor cantidad de P, el grado de la afinidad por el elemento varía entre estos.
- Los modelos de Langmuir y Freundlich explican de manera satisfactoria el fenómeno de adsorción para los suelos estudiados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a Claudia Ospina, Janneth Escudero y Carlos Unigarro.

LITERATURA CITADA

1. ALVARADO, A.; MATA, R.; CHINCHILLA, M. Arcillas identificadas en suelos de costa rica a nivel generalizado durante el período 1931-2014: Historia, metodología de análisis y mineralogía de arcillas en suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agronomía costarricense* 38(1):75-106. 2014.
2. BOSCHETTI, N.G.; QUINTERO, C.E.; BENAVIDEZ, R.A. Caracterizaçao do fator capacidade de fósforo em solos de entre ríos, Argentina. *Revista brasileira de ciencia do solo* 22(1):95-99. 1998.
3. BRAVO G., E.; GÓMEZ A., A. Capacidad de fijación de fósforo en seis unidades de suelos andosólicos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 25(1):19-29. 1974.
4. BRAVO, I.; MONTOYA, J.C.; MENJIVAR, J.C. 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. 2013.
5. BOWDEN, W.; POSNER, A.M.; QUIRK, P. Ionic adsorption on variable charge surfaces mineral surfaces: Theoretical charge development and titration curves. *Australian journal of soil research* 15(2):121-136. 1977.

6. CARRILLO P., I.F. Manual de laboratorio de suelos. Chinchiná : Cenicafé, 1985.
7. CHAVES, R. Fijación de fosfatos en el suelo. Cenicafé 1(12):36-40. 1950.
8. DUBUS, I.G.; BECQUER, T. Phosphorus sorption and desorption in oxide-rich ferrasols of New Caledonia. Australian journal of soil research 39(2):403-414. 2001.
9. ESPINOZA, J. Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica. Informaciones agronómicas 55:5-8. 2004.
10. FIXEN, P.E.; GROVE, J.H. Testing soil for phosphorus. p. 141-180. En: Westerman, R.L. Soil testing and plant analysis. Wisconsin : Soil science society of America, 1990.
11. FOTH, H.; ELLIS, B. Soil fertility. Florida : CRC Press, 1996.
12. FOX, R.L.; KAMPRATH, E.J. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. Soil science society of America proceedings 34:902-907. 1970.
13. HAVLIN, J.L.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. Soil fertility and fertilizers, an introduction to nutrient management. New Jersey : Prentice Hall, 2014.
14. JONES, C.; JACOBSEN, J. Phosphorus cycling, testing and fertilizer recommendations: Nutrient management. Montana state university 4:1-15. 2005.
15. JUO, A.; FOX, R. Phosphate sorption characteristics of some bench-mark soils of west Africa. Soil science 124(8):370-376. 1977.
16. KHAN, Q.U.; KHAN, M.J.; SAIF-UR, R.; ULLAH, S. Comparison of different models for phosphate adsorption salt inherent soil series of Dera Ismail Khan. Soil and environment 29(1):11-14. 2010.
17. KISINYO, P.O.; OTHIENO, C.O.; GUDU, S.O.; OKALEBO, J.R.; OPALA, P.A.; MAGHANGA, J.K.; NG'ETICH, W.K.; AGALO, J.J.; OPILE, R.W.; KISINYO, J.A.; OGOLA, B.O. Phosphorus sorption and lime requirements of maize growing acid soils of Kenya. Sustainable agriculture research 2(2):116-123. 2013.
18. KLEINMAN P., J.A.; SHARPLEY A., N.; GARLEY, K.; JARRELL W., M.; KUO, S.; MENON R., G.; MYERS, R.; REDDY K., R.; SKOGLEY E., O. Interlaboratory comparison of soil phosphorus extracted by various soil test methods. Communications in soil science and plant analysis 32(15/16):2325-2345. 2001.
19. NEYRUD, J.A.; LISCHER, P. Do different methods used to estimate soil phosphorus availability across Europe give comparable results? Journal of plant nutrition and soil science 166(4):422-431. 2003.
20. OBURA, P.A. Effects of soil properties on bioavailability of aluminium and phosphorus in selected Kenyan and Brazilian soils. Indiana : Purdue university, 2008. Thesis: Doctorado.
21. PIERZYNSKI, G.; MADOWEEL, R.; THOMAS, J. Chemistry, cycling and potential movement of inorganic phosphorus in soils. Phosphorus: Agriculture and the environment 46:53-54. 2005.
22. QUINTERO, C.E.; BOSCHETTI, N.G.; BENAVIDEZ, R.A. Estimación de la capacidad máxima de adsorción de fosfatos en suelos de Entre Rios (Argentina). Ciencia del Suelo 14: 79-82. 1996.
23. RIBEIRO, D.; TAVARES, F.H.; SANTOS, D.; ALVES, J.; BEZERRA, R.; FERREIRA, R. Fósforo em solos representativos do estado da Paraíba. I - isothermas de adsorção e medidas do fator capacidade de fósforo. R. Bras. Ci. Solo, 33:623-632, 2009.
24. SANYAL, S. K.; DE DATTA, S. K.; CHAN, P. Y. Phosphate sorption-desorption behavior of some acidic soils of south and southeast Asia. Soil Sci. Soc. Am. J. 57 (4): 937-945. 1993.
25. SATO, S.; COMERFORD, N. B. Influence of soil pH on inorganic phosphorus sorption and desorption in a humid brazilian ultisol. R. Bras. Ci. Solo. 29: 685-694. 2005.
26. SOLLINS, P. (1991). Effects of soil microstructure on phosphorus sorption in soils of the humid tropics. In Tielsen, H.; Hernandez López, D.; Salcedo, L. (eds.), Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems. Saskatchewan Institute of pedology. Saskatoon, Canada.
27. SOTO, J.A. Formas de fósforo y su liberación en andisoles de la región Central Oriental de Costa Rica. Tesis Doctoral. Universidad Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes. España. 155 p, 1998.
28. VINASCO, C. A.; CARRILLO, I. F. El fósforo en el suelo y su importancia en el cultivo del café. FNC, Cenicafé, Boletín Técnico 12: 35-36. 1987.

DISTRIBUCIÓN DE NUTRIENTES EN EL SUELO Y PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN SISTEMAS AGROFORESTALES

Fernando Farfán Valencia*, Pedro María Sánchez Arciniegas**

FARFÁN V., F.; SÁNCHEZ A., P. M. Distribución de nutrientes en el suelo y producción de café en sistemas agroforestales. Revista Cenicafé 69(2):17-27. 2018

Con el propósito de estudiar la distribución de nutrientes del suelo, tendientes a hacer más eficiente el empleo de fertilizantes y contribuir al incremento de la rentabilidad y su productividad, en la finca El Roble, ubicada en el municipio de Los Santos, departamento de Santander, en un lote cultivado con café en sistemas agroforestales se realizó este análisis preliminar. El café se estableció a densidades de 6.400 plantas/ha y el sombrío con 178 árboles/ha. El 50% de las plantas de café recibieron fertilización con compuestos orgánicos, las plantas restantes no tuvieron fertilización alguna. De esta aproximación pudo obtenerse que las variables químicas analizadas presentan una estructura de dependencia espacial, lo que permite realizar mapas utilizando técnicas de geostatística. Las técnicas de análisis espacial de la producción permiten la evaluación de su comportamiento, ayudando a determinar áreas para el manejo específico de cada lote. Las variables químicas presentaron bajos y altos valores dentro de una misma área, en los mismos tratamientos, traducidos en variabilidad de la producción, de lo cual podría inferirse que esta amplitud justifica la aplicación diferenciada y localizada de fertilizantes.

Palabras clave: Sombrío, producción, distribución de nutrientes, sistema agroforestal.

DISTRIBUTION OF NUTRIENTS IN THE SOIL AND COFFEE PRODUCTION IN AGROFORESTRY SYSTEMS

In order to study the distribution of soil nutrients, tending to make more efficient the use of fertilizers and contribute to the increase of profitability and productivity; this preliminary analysis was carried out in a coffee crop plot under an agroforestry system in the El Roble farm, located in the municipality of Los Santos, department of Santander. The coffee crop was established at densities of 6,400 plants per ha and shade trees at 178 per ha. Fifty percent of coffee plants received fertilization with organic compounds; whereas the remaining plants had no fertilization. From this approximation, it was possible to obtain that the analyzed chemical variables have a spatially dependent structure, which allows the development of maps using geostatistical techniques. The techniques of spatial analysis of crop production allows the evaluation of its behavior, helping to determine areas for the specific management of each plot. The chemical variables presented low and high values within the same area and under the same treatments, translated into variability of crop production. From these findings, it could be inferred that this amplitude justifies the differentiated and localized application of fertilizers.

Keywords: Shadow, productivity, distribution of nutrients, agroforestry system.

*Investigador Científico II. Disciplina de Fitotecnia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

**Asistente de Investigación (hasta marzo de 2017). Disciplina de Experimentación, Estación Experimental San Antonio. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

El surgimiento y la aplicación de nuevas tecnologías en cualquier sistema de producción agrícola debe hacerse de acuerdo a determinados planteamientos enfocados al cumplimiento de unos objetivos específicos en el empleo de las mismas, como son el incremento en la productividad y su rentabilidad. Entre estas nuevas tecnologías se podrían mencionar el mejoramiento genético tendiente a la adaptación de plantas al estrés ambiental, nuevos inoculantes y microorganismos que favorecen la absorción de nutrientes, la inteligencia artificial, la automatización de campos, la evaluación de la calidad del suelo y su potencial productivo mediante sensores remotos o aeronaves no tripuladas y el manejo específico por sitios, entre otros.

Tradicionalmente, el manejo de la nutrición se ha basado en el promedio del contenido de nutrientes medido por el análisis de suelos. Este método de diagnóstico trata de definir el manejo nutricional sobre la premisa de que la variabilidad intrínseca del suelo está bien cubierta cuando se muestrea para obtener una media de la fertilidad del lote. Sin embargo, han ido apareciendo formas particulares de manejo que incentivan a obtener rendimientos altos en forma sostenida, mediante la aplicación del concepto “manejo específico por sitio”; por ejemplo, el departamento de Antioquia ha logrado producir tres veces más naranja (40 t ha^{-1}), frente a la obtenida en otros departamentos (10 t ha^{-1} promedio) (4), a través de la aplicación de estos conceptos.

Este tipo de manejo surge como respuesta a inquietudes nuevas. Es común encontrar que los rendimientos promedio no sobrepasan las expectativas o rendimientos bajos, en suelos con altos contenidos de nutrientes, por lo que puede pensarse que la variabilidad espacial del campo es un factor que limita severamente los rendimientos. Cuando se

dividen los lotes para muestreo tradicional se presume que cada lote es uniforme, pero en realidad la variabilidad intrínseca es muy grande y no se dimensiona con esta forma de muestreo (5).

La variabilidad en el campo se debe a factores naturales y antropogénicos. El factor natural más importante es el tipo de suelo, cuyas características están definidas por el material parental y la topografía. La actividad humana promueve la variabilidad a través de la distribución de residuos, afectando la acumulación de materia orgánica con todas sus implicaciones; también influyen la distribución de fertilizantes y la remoción de nutrientes, entre otros (3). La agricultura específica por sitio se define como la realización de las prácticas agronómicas requeridas por una especie vegetal, de acuerdo con las condiciones espaciales y temporales del sitio donde se cultiva, para obtener de ella su rendimiento potencial (15).

La adopción de las nuevas tecnologías en la agricultura requiere, entre otros, estudios de distribución y variabilidad espacial de nutrientes en el suelo, tendientes a hacer más específico el manejo nutricional del sitio de la plantación de café; esto permitiría hacer eficiente el uso del recurso, contribuyendo al incremento de la producción y rentabilidad de los sistemas de producción hasta en un 72% (14).

Los métodos más utilizados para estudiar la variabilidad espacial en el suelo son: diseños anidados, análisis de regresión y análisis de semivarianza, en muestras tomadas a diferentes distancias. Con estos métodos se puede modelizar la distribución espacial de las propiedades del suelo y simultáneamente pueden elaborarse mapas de la distribución espacial de los valores de dichas propiedades, mediante técnicas de kriging; la combinación

y aplicación de estas herramientas conllevan a hacer un uso racional del recurso suelo (7). En este estudio, como una aproximación, se determinó la distribución de algunas variables químicas del suelo y su relación con la producción del café, cultivado en un sistema agroforestal en el departamento de Santander-Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. Entre los años 2005 y 2009 se realizó un estudio en la Finca El Roble, ubicada en el municipio de Los Santos, departamento de Santander (Tabla 1), con el propósito de analizar la producción de café con prácticas orgánicas en sistemas agroforestales diversos.

Componentes del Sistema Agroforestal (SAF). El componente arbóreo estuvo constituido por dos especies leguminosas, *Inga edulis* (guamo santaferño) y *Albizia carbonaria* (carbonero), y dos especies arbóreas maderables *Cordia alliodora* (nogal cafetero) y *Tabebuia rosea* (guayacán). Como componente agrícola se utilizó café variedad Colombia.

Tratamientos. Se establecieron 16 parcelas, con un área de 2.025 m² cada una, sembradas con café a 1,25 x 1,25 m (6.400 plantas/ha)

y el sombrío a 7,5 m x 7,5 m (178 árboles/ha). El área total del campo de evaluación fue de 3,3 ha, aproximadamente.

Establecimiento. El estudio inició en el año 2003 con el establecimiento simultáneo del componente arbóreo y del café. Durante los tres primeros años y hasta cuando el sombrío estuvo desempeñando su función, el café estuvo bajo sombrío transitorio de *Tephrosia candida* (tefrosia).

Fertilización. Se fertilizaron con una mezcla de materiales orgánicos cuatro parcelas con sombrío de *Inga* + *Albizia* y cuatro con *Cordia* + *Tabebuia*; las ocho parcelas restantes no recibieron fertilización alguna. El biofertilizante aplicado fue una mezcla de 70,0% de pollinaza, más 30,0% de pulpa de café y otros residuos (cascarilla de arroz, estiércol vacuno); la dosis aplicada fue de 4,0 kg/planta/año, fraccionando la mitad de la dosis en el primer semestre del año y la otra mitad en el segundo. Las concentraciones de nutrientes determinados para este material orgánico fueron: 2,1% de N, 63,1% de M.O., 2,2% de P, 3,0% de K, 5,8% de Ca, 0,91% de Mg y pH de 8,7.

Variables evaluadas. Del suelo se tomó una muestra por cada parcela, de acuerdo a los

Tabla 1. Características de clima y suelos, Finca El Roble-Santander.

Localización geográfica		Características de suelos	
Latitud	6° 52' Norte	pH	5,7
Longitud	73° 03' Oeste	Materia orgánica (%)	2,1
Altitud (m)	1.646	Nitrógeno (%)	0,10
Características climáticas		Fósforo (mg kg ⁻¹)	12,2
Temperatura media (°C)	18,9	Potasio (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0,15
Temperatura máxima (°C)	24,2	Calcio (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	4,7
Temperatura mínima (°C)	14,8	Magnesio (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	1,3
Precipitación (mm)	1.205	Unidad cartográfica	Unidad Villapaz
Brillo solar (horas año)	1.734	Grupo taxonómico	Typic Troporthent
Humedad relativa (%)	85,8	Material parental	Rocas ígneas

protocolos descritos (16), para realizar el análisis químico de las variables pH, materia orgánica (MO), N, P, K, Ca, Mg, Al, CIC y suma de bases (SumBas).

Análisis de la información. Para los análisis de la distribución de variables en el suelo se definió una grilla o cuadrícula rectangular georreferenciada de 3,3 ha, compuesta por 16 cuadros o parcelas de 2.025 m² cada una, y 16 puntos de muestreo. Inicialmente se realizó estadística descriptiva para todas las variables en estudio, con el fin de establecer el comportamiento, la dispersión, la tendencia y la distribución de los registros.

Posteriormente, se realizó el análisis multivariado de componentes principales (ACP), con el propósito de describir la relación entre las propiedades químicas y la producción de café. En el ACP se aplicó la rotación de Varimax. Se utilizó el programa Statistical Analysis Software (SAS), Versión 9.2 para los análisis de la estadística descriptiva y multivariada. Para analizar el comportamiento espacial de las variables y visualizar las áreas de manejo de la fertilidad del suelo, se utilizó kriging ordinario y se generaron mapas de contorno para cada variable, incluyendo la producción de café cereza por parcela, empleando el programa ArcGIS versión 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables del suelo. En la Tabla 2 se presenta la estadística descriptiva de las variables del suelo evaluadas. Los coeficientes de variación (C.V.) son adimensionales y permiten la comparación de valores entre diferentes variables; valores elevados en el C.V. pueden ser considerados como los primeros indicadores de existencia

de heterogeneidad en los datos (13). El C.V. fue bajo para las variables pH, CIC y N; mientras que fueron altos para P y K, indicando considerable variabilidad espacial de estos nutrientes en el suelo. Moreira da Silva (13) y Andrade (1) han adoptado el coeficiente de variación como criterio de clasificación y como medida estadística de la dispersión de nutrientes en el suelo. En la Tabla 3 se presentan las condiciones químicas del suelo bajo las cuales el café presentaría su mejor desarrollo y producción (19).

Tanto el pH como K, Ca, Mg y la CIC se registraron con valores superiores a las condiciones aptas para el desarrollo del cultivo, mientras que en el P se obtuvo con valores inferiores a la condición apta y el Al se mantuvo dentro del rango; debe aclararse que se compara la media de estos valores con los de las condiciones óptimas, por ejemplo, para P los valores mínimos fueron de 1,0 cmol₍₊₎ kg⁻¹ y máximos de 12,4 cmol₍₊₎ kg⁻¹.

Mapas de contorno. Para la elaboración de los mapas de contorno de la producción (kg de café cereza por parcela), de las 16 parcelas de observación, se tomaron los registros publicados por Farfán y Sánchez (6), que se presentan en la Tabla 4.

En la Figura 1 se presenta la distribución de la producción de las 16 parcelas establecidas con café en sistemas agroforestales, y en la Tabla 3 la estadística descriptiva para la producción en los dos sistemas agroforestales, café con sombrío de *Inga + Albizia* (Producción¹) y café con sombrío de *Tabebuia + Cordia* (Producción²); indicando la variabilidad en la producción, incluso entre parcelas que recibieron el mismo tratamiento.

Tabla 2. Estadística descriptiva de las variables del suelo y producción.

Variables	D. E.	C. V.	Mín	Máx	Mediana	Media
Producción ¹	1.465	19,0	5.715	9.902	7.326	7.550
Producción ²	2.023	25,0	4.961	11.893	7.999	8.200
pH	0,35	5,94	5,30	6,60	5,85	5,90
Mat. Org (%)	1,85	21,13	5,30	11,50	8,70	8,77
N (%)	0,06	17,42	0,24	0,45	0,36	0,36
P (mg kg ⁻¹)	3,77	64,97	1,00	12,40	6,05	5,80
K (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0,99	55,28	0,48	3,21	1,87	1,79
Ca (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	2,76	26,42	5,50	15,40	10,80	10,44
Mg (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0,83	29,73	1,37	4,21	2,76	2,79
Al (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0,09	29,81	0,20	0,50	0,30	0,30
CIC (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	3,47	18,34	12,00	25,00	19,00	18,94
SumBas	4,54	29,60	7,40	23,01	16,54	15,35

Producción¹. Café con sombrío de *Inga + Albizia*

Producción². Café con sombrío de *Tabebuia + Cordia*

Tabla 3. Condiciones químicas de suelos aptos para el cultivo del café.

Variables	Condición de alerta	Condición apta	Problema aparente
pH	4,0 – 4,9	5,0 – 5,5	> 5,6
Materia Orgánica (%)	9,0 – 11,4	> 11,5	-
P (mg kg ⁻¹)	0,0 – 6,0	6,0 – 14,0	> 14,0
K (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0,0 – 0,29	0,30 – 0,40	> 0,41
Ca (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0,0 – 1,6	1,6 – 4,2	> 4,2
Mg (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	0,0 – 0,5	0,0 – 1,4	> 1,4
Al (cmol ₍₊₎ kg ⁻¹)	-	0,0 – 1,0	> 1,1

Tabla 4. Producciones registradas en kilogramos de café cereza por parcela.

Parcela	Sistema agroforestal	Producción	Parcela	Sistema agroforestal	Producción
1		9.982	5		7.862
2	Café + guamo + carbonero	7.658	6	Café + guamo + carbonero	6.994
3	Sin fertilización	9.902	7	Con fertilización	6.007
4		5.715	8		6.976
Parcela	Sistema agroforestal	Producción	Parcela	Sistema agroforestal	Producción
9		4.961	13		9.606
10	Café + guayacán + nogal	8.218	14	Café + guayacán + nogal	7.765
11	Sin fertilización	8.595	15	Con fertilización	6.780
12		11.893	16		7.779

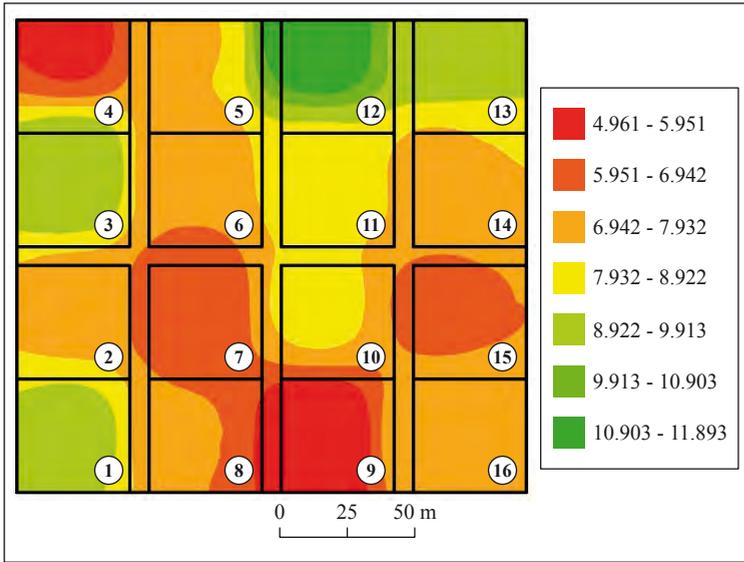


Figura 1. Distribución espacial de la producción en kilogramos de café cereza por parcela.

Parcelas				Tratamientos
2	6	11	15	Café + Guamo + Carbonero sin fertilización
1	5	12	16	Café + Guamo + Carbonero con fertilización
4	8	9	14	Café + Guayacán + Nogal sin fertilización
3	7	10	13	Café + Guayacán + Nogal con fertilización

En estudios realizados por Lince *et al.* (9), sobre producción de café en respuesta al manejo específico de la fertilidad del suelo, no encontraron efecto de los tratamientos sobre la producción, en dos cosechas evaluadas. Silva (17) evaluó la variabilidad y distribución espacial de nutrientes del suelo y su relación con la producción, encontrando mayor variabilidad espacial y mayor desequilibrio nutricional y menor productividad en los suelos con la variedad Catuai; siendo el exceso de Fe y Mn los más limitantes de la producción.

Los mapas de contorno para la distribución espacial de nutrientes en el suelo (Figura 2) muestran que las variables pH presentan valores que van desde 5,3 hasta 6,5; la materia orgánica desde 5,0% a 11,5%; P de 1,0 a 12,0; K 0,4 y >2,0; Ca 5,5 a 15,0;

Mg 1,3 a 4,2; Al 0,20 a 0,40 y CIC 12,0 a >20 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$, observándose una gran amplitud en las variables químicas evaluadas; esta amplitud puede ser un llamado acerca de los problemas que pueden presentarse cuando se maneja la media de dos valores para recomendaciones de fertilidad del suelo.

Con el propósito de hacer una fertilización específica por sitio, Lelago *et al.* (8) evaluaron la distribución espacial de nutrientes del suelo; el Ca mostró una gran variabilidad, mientras que las variables pH, materia orgánica, N, y K arrojaron una variabilidad espacial moderada, y fue muy débil para P, S y Mn.

La comparación entre mapas de contornos (producción y distribución de nutrientes) muestran que las parcelas de mayor producción (12 > 3 > 13 > 1) tienen relación con

bajos niveles de pH, contenidos de materia orgánica del 8,0%, contenidos de K entre 0,4 y 1,0 $\text{cmol}_{(+)} \text{kg}^{-1}$, y bajos contenidos de Ca y Mg. De acuerdo a estos resultados podría inferirse, como una aproximación, que en algunas parcelas del área estudiada la aplicación de fertilizante orgánico fue inferior a la necesaria, otras se ajustaron a las necesidades, pero en otras la fertilización pudo haber sido excesiva.

Maro *et al.* (10) en Tanzania evaluaron la distribución del N, P y K en suelos cultivados con café utilizando ArcView GIS 3.2 y ArcGIS 9.3, encontrando considerables diferencias en el contenido de nutrientes, lo que podría explicarse por la topografía del suelo y sus prácticas de manejo.

Análisis de componentes principales (ACP).

Los ACP se aplicaron con el propósito de explorar la relación entre variables químicas del suelo y la variabilidad en la producción de café cereza en las parcelas bajo estudio. El análisis mostró que las diez variables químicas, en los dos primeros componentes, explican el 83,6% de la variabilidad total de los nutrientes en el suelo (72,1% la primera componente y 11,5% la segunda), como se presenta en la Tabla 5.

En la Tabla 6 se presenta la distribución de los coeficientes del primer y segundo componentes, estos indican que fueron el Ca, SumBas, Mg, MO, N, P y CIC las variables que contribuyeron en forma positiva al componente 1, seguida del K. En el segundo componente, el pH y el Al fueron los que más contribuyeron en forma negativa, estas son variables estrechamente relacionadas y se presentan de forma aislada de las demás variables químicas (Figura 3).

De acuerdo a la Figura 4, la producción puede interpretarse como dispersa, sin

embargo esta variabilidad o dispersión no necesariamente es atribuible a mayores o menores aplicaciones de fertilizante orgánico, ni a prácticas de manejo similares como el componente arbóreo, los sombríos transitorios o aplicación de algunas enmiendas, pero sí pueden atribuirse a la misma dispersión de nutrientes, que afecta el desarrollo de órganos de la planta como raíces, influyendo posteriormente sobre la producción. En sistemas agroforestales de café con *Erythrina* sp. Mora y Beer (12) afirman que la distribución espacial del P, Zn, las bases intercambiables y el pH afectan el patrón de distribución de las raíces, lo cual influye en la asimilación de nutrientes.

Análisis de correlaciones. Los análisis de correlaciones entre los nutrientes del suelo y el rendimiento alcanzado por parcela (kg de café cereza) Tabla 7, indican que, para este estudio no todos los nutrientes tienen una relación significativa con el rendimiento, pudiéndose atribuir este comportamiento a la acción conjunta que tienen los nutrientes con la producción del cultivo. No obstante, estos análisis muestran que la producción tiene correlación ($>0,30$) con el K, Ca, Mg, y la suma de sus bases, y una correlación negativa con el pH, es este caso los valores tuvieron incrementos por encima de los máximos adecuados para café.

Los análisis de correlaciones son empleados con diversos propósitos, por ejemplo, Mora (11) estudió la distribución de raíces finas de café en sistemas agroforestales con *Erythrina poeppigiana*, y observó que el P, el Zn y las bases intercambiables estuvieron correlacionados con la longitud de raíces, y negativamente con el pH y Al intercambiables; lo que sugiere una distribución diferencial de raíces en el suelo a causa de la distribución de nutrientes.

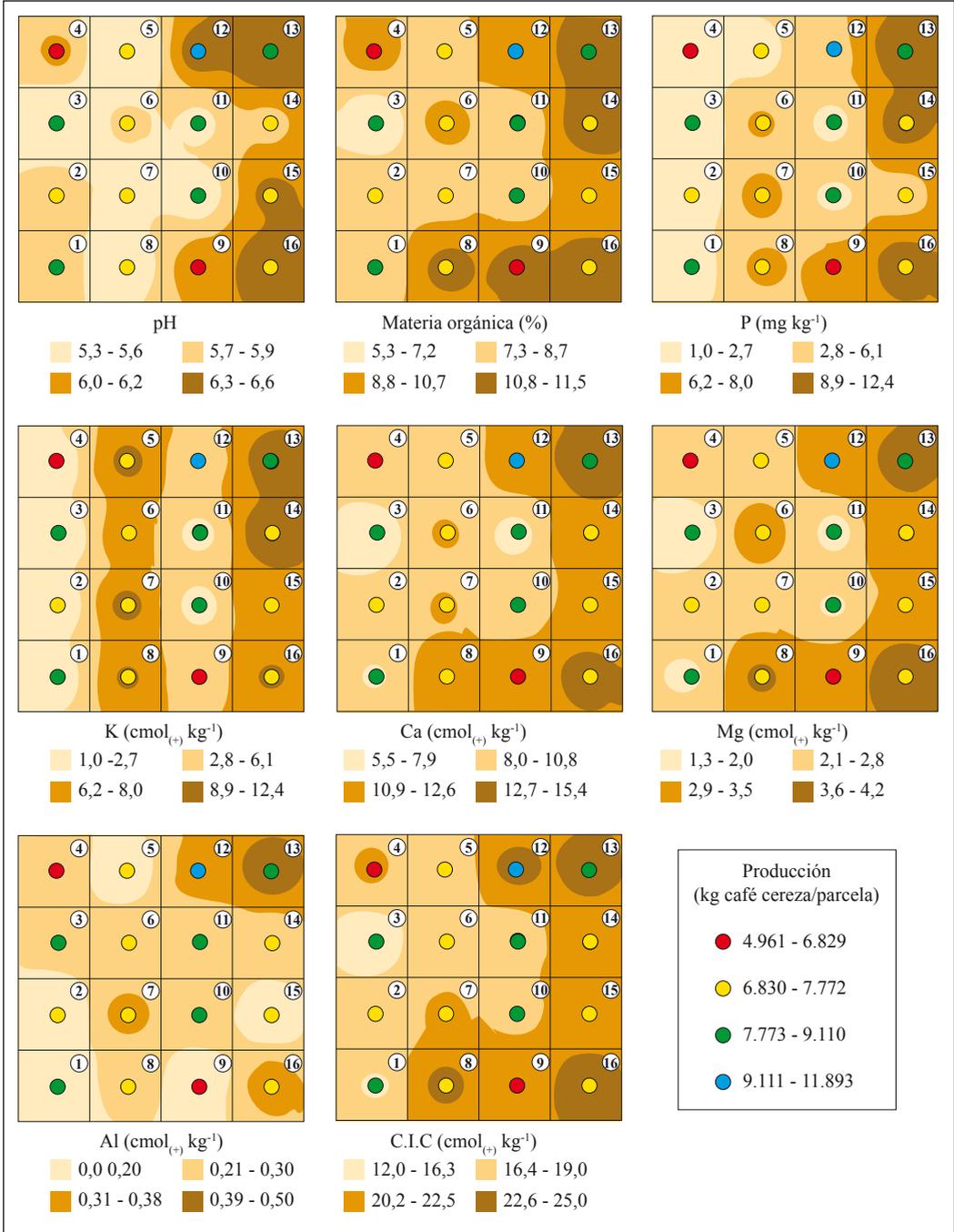


Figura 2. Distribución especial de nutrientes en el suelo, pH y producción en un lote de 3,2 ha. Finca El Roble, municipio Los Santos, Santander-Colombia.

Tabla 5. Porcentaje de variación y porcentaje acumulado en once componentes principales.

Componente	Valor propio	Diferencia	Proporción	Acumulado
1	7,92773203	6,66596797	0,7207	0,7207
2	1,26176406	0,47130220	0,1147	0,8354
3	0,79046186	0,22340253	0,0719	0,9073
4	0,56705932	0,29192827	0,0516	0,9588
5	0,27513105	0,18161504	0,0250	0,9838
6	0,09351601	0,05419201	0,0085	0,9923
7	0,03932399	0,00726003	0,0036	0,9959
8	0,03206396	0,01950789	0,0029	0,9988
9	0,01255607	0,01220983	0,0011	1,0000
10	0,00034624	0,00030084	0,0000	1,0000
11	0,00004540		0,0000	1,0000

Tabla 6. Valores para cada variable, calculados para los dos componentes principales.

Variable	Componente 1	Componente 2
Ca	0,98941	-0,01660
SumBas	0,98507	0,12039
Mg	0,97867	0,04301
Mo	0,94688	-0,03547
N	0,94569	-0,02319
P	0,94186	-0,03745
CIC	0,93787	-0,13158
K	0,75594	0,47787
pH	0,68095	-0,55361
Al	0,56329	-0,30418
Producción	0,33256	0,77283

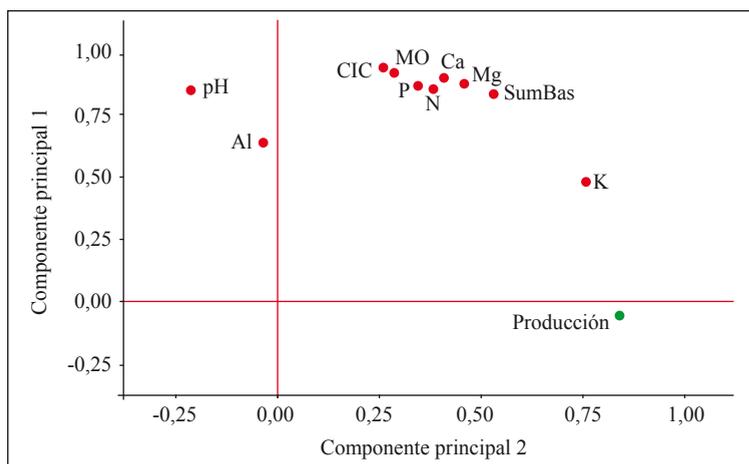


Figura 3. Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables químicas del suelo.

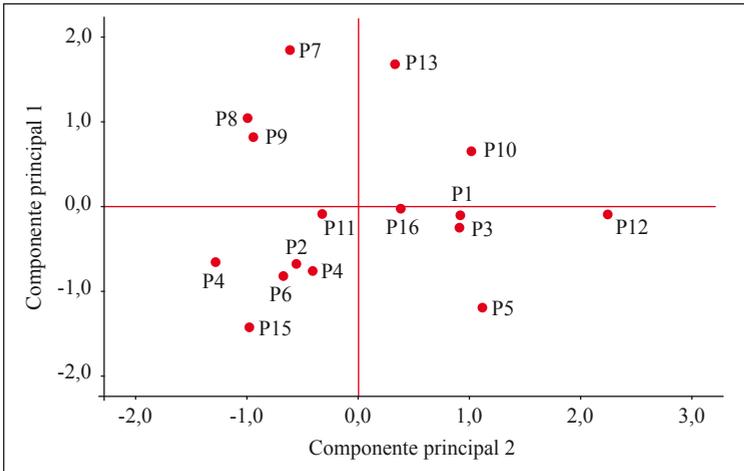


Figura 4. Análisis de Componentes Principales (ACP) para la variable producción en kilogramos de café cereza por parcela.

Tabla 7. Correlaciones entre variables químicas del suelo y producción de café.

	pH	N	K	Ca	Mg	SumBas	Al	CIC	P	MO
pH	-									
N	0,6111	-								
K	0,1946	0,6376	-							
Ca	0,7168	0,9472	0,7193	-						
Mg	0,6149	0,9424	0,7512	0,9658	-					
SumBas	0,6105	0,9184	0,8398	0,9801	0,9713	-				
Al	0,4895	0,3673	0,3196	0,5106	0,4844	0,4927	-			
CIC	0,6960	0,9126	0,5826	0,9242	0,9177	0,8870	0,5580	-		
P	0,6099	0,8478	0,7913	0,9087	0,9102	0,9319	0,6339	0,8201	-	
MO	0,6214	0,9987	0,6380	0,9460	0,9417	0,9183	0,3781	0,9112	0,850	-
Prod	-0,034	0,2474	0,4558	0,3308	0,3225	0,3857	0,1113	0,2530	0,212	0,2386

El mapeo de la condición nutricional del suelo y del estado general de la planta permite la identificación de las diferentes regiones en un área de cultivo, proporcionando a los productores diferentes criterios al hacer empleo de los fertilizantes (2). Utilizar técnicas de agricultura de precisión junto con el Diagnóstico y el Sistema Integrado de Recomendación (DRIS) permite el manejo mejorado del cultivo, traduciéndose en una mejor nutrición de las plantas, contribuyendo en la reducción de los costos de fertilizantes (18).

Con este estudio puede concluirse que las variables químicas del suelo presentan una estructura de dependencia espacial, lo que permite su mapeo utilizando técnicas de geoestadística. Los análisis de distribución espacial de la producción de café permiten la evaluación de su comportamiento y determinar áreas para el manejo específico de cada lote.

Las variables químicas presentaron bajos y altos valores dentro de una misma área, en los mismos tratamientos, traducidos en variabilidad

de la producción, de lo que podría inferirse que esta amplitud justifica la aplicación diferenciada y localizada de fertilizantes.

Este estudio preliminar se presenta como base para la realización de más detallados análisis similares, que tengan como propósito hacer más eficiente el empleo de fertilizantes en la caficultura, y contribuir al incremento de la productividad y su rentabilidad.

LITERATURA CITADA

1. ANDRADE S., A.; QUINTÃO L., R. M.; QUINTÃO L., A. M.; FERREIRA B., L.; COUTO J., P. A. Mapas de fertilidade de solo em área manejada com agricultura de precisão cultivada com café. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium, 5(1):194-204. 2014.
2. BATISTA DE OLIVEIRA., R.; SOARES DE SOUZA LIMA, J.; DE ASSIS SILVA, S.; ROCHA ANTUNIASSI, U.; FAGIOLIDA SILVA, A. Spatial variability of the nutritional condition of *Canephora coffee* aiming specific management. Coffee Science 5(3):190-196. 2010.
3. BROUDER, S. M. Applying site-specific management in soil fertility research and developing management information for variable rate technologies. In Proceedings of Information Agriculture Conference. Purdue University. p. 321. 1999.
4. CIAT. Agricultura específica por sitio compartiendo experiencias (AESCE) aplicada a la producción de frutales en Colombia. CIAT, Palmira, Colombia. 2010. 53 p.
5. ESPINOSA., J. Manejo de nutrientes en agricultura por sitio específico en cultivos tropicales. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador. 26 y 27 de Septiembre de 2002. p 1-14 (Resúmenes).
6. FARFÁN V., F. F.; SÁNCHEZ A., P. M. Producción sostenible de café bajo estructura arbórea diversa. Revista Cenicafé 65(1):27-33. 2014.
7. JARAMILLO J., D. F. Variabilidad espacial del suelo: Bases para su estudio. Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. 1(1):73-87. 2012.
8. LELAGO, A.; MAMO, T; HAILE, W.; SHIFERAW, H. Assessment and Mapping of Status and Spatial Distribution of Soil Macronutrients in Kambata Tembaro Zone, Southern Ethiopia. Advances in Plants & Agriculture Research 4(4):1-14. 2016.
9. LINCE S., L. A.; SADEGHIAN K., S. Producción de café (*Coffea arabica* L.) en respuesta al manejo específico de la fertilidad del suelo. Revista de Investigación Agraria y Ambiental 6(2):19-30. 2015.
10. MARO, G.; MSANYA, B.; MREMA, J. Soil Fertility Evaluation for Coffee (*Coffea arabica*) in Hai and Lushoto Districts, Northern Tanzania. International Journal of Plant and Soil Science 3(8):934-947. 2014.
11. MORA G., A. Characterization of the spatial variability of soil properties and Coffee fine roots in shade tree-coffee associations under organic and conventional management practices. Tropical Agriculture Research Centre (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 2011. 130 p. (Thesis Doctor of Philosophy).
12. MORA, A.; BEER., J. Geostatistical modeling of the spatial variability of coffee fine roots under *Erythrina* shade trees and contrasting soil management. Agroforestry Systems 87(2):365-376. 2013.
13. MOREIRADA SILVA, F.; MENEZES DE SOUZA, Z.; PEREIRA DE FIGUEIREDO, C.A.; MARQUES JÚNIOR, J.; VILLELA MACHADO, R. Spatial variability of chemical attributes and productivity in the coffee cultivation. Ciência Rural, Santa María, 37(2):401-407. 2007.
14. NORIEGA A., G.; CÁRCAMO RICO, B.; GÓMEZ CRUZ, M.A.; SCHWENTESIUS RINDERMANN, R.; CRUZ HERNÁNDEZ, S.; LEYVA BAEZA, J.; GARCÍA DE LA ROSA, E.; LÓPEZ REYES, U. I.; MARTÍNEZ HERNÁNDEZ, A. Intensification of production in organic agriculture: coffee case. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(1):163-169. 2014.
15. PANDA, S.; HOOGENBOOM, G.; PAZ, J.O. Remote Sensing and Geospatial Technological Applications for Site-specific Management of Fruit and Nut Crops: A Review. Remote Sensing (2):1973-1997. 2010.
16. SADEGHIAN K., S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. Boletín Técnico Cenicafé (Colombia). N° 32:9-12. 2008.
17. SILVA., S de A. Variabilidade espacial do estado nutricional de variedades de café arábica com base no índice DRIS. Revista Ceres, Viçosa 58(2):256-261. 2011.
18. SOUZA DA FONSECA., A.; SILVA, S.; XAVIER, A. C.; DRUMOND N., A. P. Spatial variability of the productivity and the nutritional condition of *Coffea canephora*. Coffee Science 10(4):420-428. 2015.
19. VALENCIA A., G.; CARRILLO P., I, F. Interpretación de análisis de suelos para café. Avances Técnicos Cenicafé (Colombia) N° 115:1-5. 1983.

MORFOLOGÍA DE *Castolus lineatus* (Hemiptera: Reduviidae) DEPREDADOR DE *Monalonia velezangeli* (Hemiptera: Miridae)

Laura Alexandra Laiton Jiménez*, Marisol Giraldo Jaramillo*, Dimitri Forero**,
Pablo Benavides Machado*

LAITON J., L.A.; GIRALDO J., M.; FORERO, D.; BENAVIDES M., P. Morfología de *Castolus lineatus* (Hemiptera: Reduviidae) depredador de *Monalonia velezangeli* (Hemiptera: Miridae). Revista Cenicafé 69(2):28-34. 2018

La chinche de la chamusquina del café, *Monalonia velezangeli*, es una plaga que afecta los cafetales del Sur de Colombia, de la cual se han registrado depredadores nativos de la familia Reduviidae. Se reporta por primera vez a la especie *Castolus lineatus* Maldonado habitando los cafetales del Huila. Con el fin de facilitar el reconocimiento morfológico de esta especie, se realizó la ilustración y descripción de sus estadios biológicos. Para ello, se recolectaron ninfas de *C. lineatus* en La Plata - Huila, y se alimentaron con *Galleria mellonella* hasta alcanzar el estado adulto en condiciones de laboratorio, obteniéndose posturas de las cuales emergieron ninfas. Se corroboró la morfología de los adultos y por primera vez se ilustran y describen el huevo y las ninfas. El huevo es alargado, de color café y con una sustancia mucilaginosa que recubre la masa de huevos. Las ninfas son de color naranja, con patas oscuras y a medida que van mudando aumentan de tamaño y se intensifica su tonalidad corporal. El quinto y último estadio ninfal presentó policromatismo, mostrando dos morfotipos: naranja y rojo.

Palabras clave: Plaga del café, enemigo natural, Harpactorinae, Huila, Colombia.

MORPHOLOGY OF *Castolus lineatus* (Hemiptera: Reduviidae) PREDATOR OF *Monalonia velezangeli* (Hemiptera: Miridae)

The Coffee Chamusquina bug, *Monalonia velezangeli*, is a pest affecting coffee crops in south Colombia, from which native Reduviidae predators have been reported. This is the first report of *Castolus lineatus* Maldonado inhabiting coffee crops in Huila. In order to facilitate the morphological identification of this species, we illustrate and describe its biological stages. For this, nymphs were collected in La Plata – Huila, and fed with *Galleria mellonella* until reaching adults stages under laboratory conditions, then egg masses were obtained where new nymphs emerged. The morphology of the adults was corroborated and for the first time the egg and the five nymphal stages are illustrated and described. Eggs are elongated, brown and coated with a mucilage-like substance. Nymphs are orange with dark legs, and become more intense in coloration while increasing in size. The fifth and last nymphal instar exhibited polychromatism, showing two morphotypes: orange and red.

Keywords: Coffee insect, Natural Enemy, Harpactorinae, Huila, Colombia.

*Asistente de Investigación, Investigador Científico I e Investigador Científico III, respectivamente. Disciplina de Entomología, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

**Profesor Asociado. Laboratorio de Entomología, UNESIS, Departamento de Biología, Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

La chinche de la chamusquina del café, *Monalonion velezangeli* Carvalho y Costa, 1988 (Hemiptera: Miridae), es una plaga del café que se alimenta de hojas, tallos, brotes y flores de café, causando daños que se manifiestan como manchas y quemazones, lo cual impide el normal desarrollo fisiológico de la planta y disminuye la producción (11). De acuerdo con las investigaciones realizadas en el Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé, se han reportado los siguientes hospedantes de *M. velezangeli*: cacao, *Theobroma cacao* (Malvaceae: Malvales); café, *Coffea arabica* (Rubiaceae: Gentianales); té, *Camellia sinensis* (Theaceae: Ericales); guayaba común, *Psidium guajaba* (Myrtaceae: Myrtales); aguacate, *Persea americana* (Lauraceae: Laurales) y eucalipto, *Eucalyptus* spp. (Myrtaceae: Myrtales) (6). Como plaga del café en Colombia, el insecto ha sido reportado atacando plantaciones en altitudes superiores a los 1.550 m, en varios municipios pertenecientes a los departamentos del Huila, Valle del Cauca y Cauca (2), con daños hasta de 25% en los cafetales.

El departamento del Huila posee el 81% de su área agrícola sembrada en café, localizada entre 1.400 y 2.000 m de altitud, rango que por sus condiciones climáticas resulta ideal para el desarrollo de la plaga (2); actualmente se reportan cerca de 6.000 ha de café afectadas en este departamento por la chinche de la chamusquina. Hasta hoy, la solución que tienen los caficultores es realizar aplicaciones generalizadas de insecticidas de amplio espectro, práctica que además de contaminar el medio ambiente y producir efectos negativos sobre la salud de quien se expone a ellos (13), afecta las poblaciones de enemigos naturales, lo que genera un impacto negativo sobre el control que estos podrían estar ejerciendo sobre la plaga.

En Colombia se ha observado en el campo la presencia de algunos enemigos naturales de ninfas y adultos de *M. velezangeli*, como arañas, hongos entomopatógenos (11) y con mayor frecuencia, insectos depredadores de la familia Reduviidae (Hemiptera) (5), llamados comúnmente chinches depredadoras o chinches asesinas. Las especies encontradas en cultivos de café pertenecen a la subfamilia Harpactorinae, tribu Harpactorini, una de las subfamilias más diversas biológica y morfológicamente de los Reduviidae, pero poco estudiada (3, 14, 12). Los Harpactorinae son insectos diurnos que pueden encontrarse en arbustos, matorrales y en diferentes cultivos (7). Son de hábitos polípagos y todas las especies son depredadoras de otros insectos, alimentándose principalmente de los órdenes Coleoptera, Lepidoptera y Diptera (8). Algunas especies son agentes potenciales de control biológico (1).

El género *Castolus* Stål, 1858 (Hemiptera: Reduviidae) está constituido por 14 especies, entre ellas *Castolus lineatus* Maldonado, 1976 (9), especie de distribución Neotropical, reportada en Panamá, Costa Rica y Colombia (9, 10). Hasta el momento, no existen estudios biológicos o morfológicos adicionales a las descripciones originales, para alguna de las especies que componen el género.

Dada la falta de conocimiento acerca de *C. lineatus*, especie que puede estar ejerciendo un control sobre *M. velezangeli* en su hábitat natural, el objetivo de este estudio fue ilustrar y describir las características morfológicas de los estadios de este depredador, con el fin de aportar a su reconocimiento y conservación en el campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El material biológico se recolectó en la finca Los Robles, localizada en la

vereda El Jazmín del municipio La Plata – Huila (Colombia), a 1.938 m de altitud (2°20'24,8" latitud N y -75°57'37,4 longitud Oeste) y temperatura promedio de 17,6°C.

Material biológico. Se recolectaron individuos de los primeros estadios ninfales de *C. lineatus*, sobre árboles de café afectados por *M. velezangeli*. Los individuos se separaron en cajas de acrílico con orificios de ventilación y se transportaron en frío (13°C) a las instalaciones de Cenicafé.

Cría y descripción morfológica. La cría se realizó en un cuarto climatizado de la Unidad de Control Biológico del Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé (Manizales, Caldas), a 25±3 °C, humedad relativa (HR) de 75±5% y fotoperiodo 12:12. Las ninfas fueron llevadas hasta adultos utilizando un método de cría diseñado por Gil y Constantino¹, con alimento de *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae). La identificación de la especie la realizó Forero utilizando una de las hembras obtenidas, la cual se preservó en el "Museo Entomológico Marcial Benavides" (MEMB), Centro Nacional de Investigaciones del Café (Cenicafé) en Manizales, Colombia, con el código MEMB 20559. Con el número de adultos obtenidos se conformaron parejas (una hembra y un macho) para cópula y oviposición. Una vez obtenidas las posturas, se recolectaron, se individualizaron y se mantuvieron en el laboratorio hasta su eclosión. Las ninfas emergidas permanecieron de forma gregaria durante todo su desarrollo. Durante el proceso de cría, se ilustraron los estadios inmaduros, determinando el cambio de estadio ninfal con la presencia de la exuvia. De esta manera, los individuos se fotografiaron en vivo y posteriormente se preservaron en alcohol

al 70%, para proceder con la descripción morfológica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción morfológica de *Castolus lineatus*

Los adultos de esta especie fueron originalmente descritos por Maldonado-Capriles (9); sin embargo, esta es la primera descripción del huevo y los estadios ninfales. A continuación, se presentan las características morfológicas determinadas al examinar los individuos en los diferentes estados de desarrollo.

Huevo (Figura 1A). Los huevos son depositados en masas. La postura tiene forma hexagonal, con presencia de una sustancia mucilaginosa que la recubre. Individualmente cada huevo es cilíndrico, alargado y de color café. El opérculo es café claro, presenta un poro en el centro y un anillo coriónico amarillo claro que lo rodea.

Primer estadio (Figura 1B). Cuerpo alargado de color naranja pálido. Cabeza piriforme y naranja pálido. Ojos prominentes, redondeados y rojos. Antenas elongadas, poco pubescentes, cilíndricas y filiformes, con cuatro segmentos, de color café, con el segmento I presentando coloración amarilla en los extremos basal y apical, los segmentos II y III de color café enteramente, y el segmento IV amarillo. Tórax de color café claro, con primordios alares ausentes. Patas poco pubescentes y de color café. Abdomen color naranja claro.

Segundo estadio (Figura 1C). Cabeza y cuerpo similar al primer estadio. Antenas y tórax con el color más acentuado que el anterior. Patas más pubescentes que en el

¹ Comunicación personal.

estadio anterior; fémures de color café claro; tibias café oscuro, con el extremo apical amarillo oscuro y más pubescentes que los fémures. Abdomen similar al estadio I.

Tercer estadio (Figura 1D). Cabeza y abdomen similar al estadio anterior, pero con el color más acentuado. El segmento I de la antena presenta una banda amarilla hacia la parte distal, los segmentos II y III son negros y el segmento IV amarillo. Patas negras y más pubescentes que en el estadio anterior. Primordios alares anteriores originándose cerca del margen posterior del mesonoto (primordios mesotorácicos), extendiéndose hasta la mitad de los primordios posteriores (primordios metatorácicos), los cuales se originan en el margen posterior del metanoto y se extienden hasta la mitad el primer segmento abdominal. Abdomen de color similar y más ancho que los estadios anteriores.

Cuarto estadio (Figura 1E). Cabeza de color rojo. Tórax de color café rojizo. Antenas similares y patas más pubescentes que el estadio anterior. Primordios alares anteriores y posteriores de color café rojizo, extendiéndose hasta el segundo segmento abdominal. El abdomen es similar al estadio anterior, pero con el color más acentuado.

Quinto estadio (Figura 1F). Cabeza y tórax similares al estadio IV. Antenas con los segmentos I y II negros, el segmento III es negro con la parte apical amarilla y segmento IV negro. Patas más pubescentes que en el estadio anterior, la pubescencia es de color amarillo claro. Los primordios alares anteriores y posteriores son negros y se extienden más allá del tercer segmento abdominal. Abdomen color naranja rojizo.

Hembra adulta (Figura 1G, 1H). Se corrobora la descripción de este estado de acuerdo a Maldonado-Capriles (1976). Cuerpo robusto.

Cabeza: cerca de un tercio de ancha que el pronoto, de color rojo claro y con una mancha semicircular negra sobre el margen anterior de la zona postocular; presenta un par de protuberancias en la zona postantenal. Antena: segmento I predominantemente negro con una banda blanca hacia el extremo apical, el segmento II es blanco con los extremos basal y apical negros, segmento III totalmente blanco y segmento IV de color amarillo claro. Tórax: color rojo, el pronoto se divide en dos lóbulos por una línea transversal negra, presenta un par de espinas humerales con proyección lateral aguda. El escutelo presenta una depresión dorsal. Alas anteriores de color naranja claro, las cuales se extienden más allá del ápice del abdomen. Patas: los fémures son blancos con presencia de manchas negras en la región apical y basal, una banda negra en la mitad y una fina línea longitudinal negra en la superficie anterior y posterior. Abdomen: color naranja en vista dorsal, con los segmentos conexivales del mismo color, expuestos y visibles en vista dorsal; blanco en vista ventral y lateral, cada segmento con una línea oscura transversal sobre el margen posterior.

Policromatismo en ninfas y adultos de *Castolus lineatus*

El quinto estadio ninfal de *C. lineatus* presentó policromatismo incluso en individuos emergidos de una misma masa de huevos. Se encontraron individuos con la cabeza, tórax y abdomen naranja (Figura 2A) o rojo (Figura 2B).

Los resultados obtenidos durante esta investigación facilitan el reconocimiento de una especie de Reduviidae poco conocida en Colombia, que se encuentra en cafetales afectados por *M. velezangeli* en el departamento de Huila como un potencial enemigo natural de esta plaga.

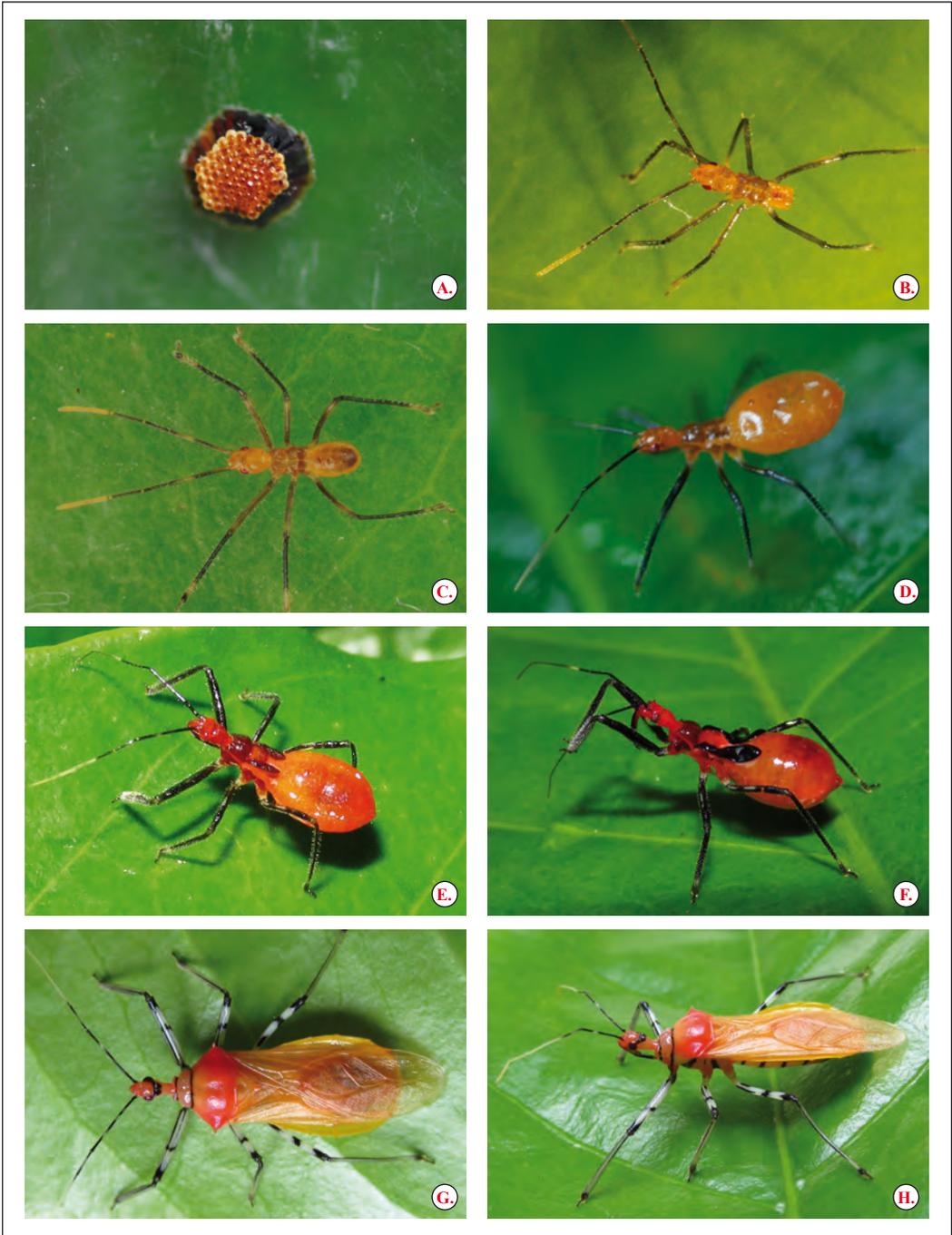


Figura 1. Estados biológicos de *Castolus lineatus*. **A.** Postura; **B-F.** Estadios ninfales. **B.** Estadio I; **C.** Estadio II; **D.** Estadio III; **E.** Estadio IV; **F.** Estadio V; **G-H.** Adulto ♀. **G.** Vista dorsal. **H.** Vista lateral.

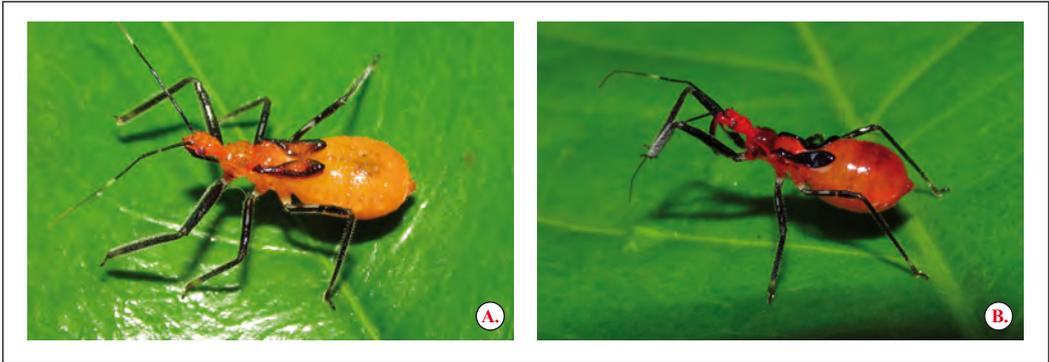


Figura 2. Morfotipos del estadio ninfal V de *Castolus lineatus*. **A.** Morfotipo de coloración naranja, **B.** Morfotipo de coloración roja.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio hizo parte del proyecto de investigación ENT107006, financiado con recursos del Sistema General de Regalías del departamento de Huila. Los autores agradecen a la investigadora Zulma Nancy Gil por sus aportes, que permitieron el establecimiento de la cría de *Castolus* sp. en condiciones de laboratorio; a Diego Alejandro Gómez y Jheferson Albeiro Sepúlveda por su colaboración en el mantenimiento de los insectos, y a Wilmar Osorio y Jonathan Muñoz por la ayuda en la recolección de los insectos en el campo.

LITERATURA CITADA

1. AMBROSE, D.P. Assassin bugs. New Hampshire : Science publishers, 1999. 337 p.
2. BENAVIDES M., P.; GIL P., Z.N.; CONSTANTINO C., L.M.; VILLEGAS G., C.; GIRALDO J., M. Plagas del café broca, minador, cochinillas harinosas, araña roja y Monalonion. p. 215-261. En: FNC. Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Chinchiná : Cenicafé, 2013. 3 vols.
3. CAI, W.; TOMOKUNI, M. *Campitibia obscura*, gen. and sp. n. (Heteroptera: Reduviidae: Harpactorinae) from China. European journal of entomology 100:181-185. 2003.
4. CENICAFÉ. Informe anual de actividades. Chinchiná : Cenicafé, 2008. 214 p.
5. GIRALDO J., M.; LEVA G., L.A.; BENAVIDES M., P.; FORERO, D. Aprenda a conocer las chinches depredadoras de plagas del café. Chinchiná : Cenicafé, 2011. 8 p. (Avances técnicos No. 412).
6. GIRALDO J., M.; BENAVIDES M., P. Conozca los hospedantes, sitios de alimentación y oviposición de la chinche de la chamusquina del café. Chinchiná : Cenicafé, 2012. 8 p. (Avances Técnicos No. 418).
7. HART, E.R. Genus *Zelus* fabricius in the United States, Canada and northern Mexico (Hemiptera: Reduviidae). Annals of the entomological society of America 79(3):535-548. 1986.
8. INSUASTY, O.; CUADROS, J. Manejo integrado de moscas de las frutas de la guayaba (*Anastrepha* spp.). Santander : CORPOICA : CIMPA, 2007.
9. MALDONADO C., J. Three new species of *Castolus* and a key to the species (Hemiptera: Reduviidae). Proceedings of the entomological society of Washington 78(4):435-446. 1976.
10. MALDONADO C., J. Systematic catalogue of the Reduviidae of the world. Caribbean journal of science (Special edition):1-694. 1990.

11. RAMÍREZ C., H.J.; BUSTILLO P., A.E.; GIL P., Z.N.; BENAVIDES M., P. La chinche de la chamusquina *Monalonion velezangeli*, una nueva plaga del café en Colombia. p. 374-380. En: BUSTILLO P., A.E. Los insectos y su manejo en la caficultura colombiana. Chinchiná : Cenicafé, 2008. 466 p.
12. WEIRAUCH, C.; BÉRENGER, J.M.; BERNIKER, L.; FORERO, D.; FORTHMAN, M.; FRANKENBERG, S.; FREEDMAN, A.; GORDON, E.; HOEY C., R.; HWANG W., S.; MARSHALL S., A.; MICHAEL, A.; PAIEROS., M.; UDAH, O.; WATSON, C.; YEO, M.; ZHANG, G.; ZHANG, J. An illustrated identification key to assassin bug subfamilies and tribes. Canadian journal of arthropod identification 26:1-115. 2014.
13. WHO. Public health impact of pesticides used in agriculture. Geneva : WHO, 1990. 129 p.
14. ZHANG, G.; WEIRAUCH, C. Molecular phylogeny of Harpactorini (Insecta: Reduviidae): Correlation of novel predation strategy with accelerated evolution of predatory leg morphology. Cladistics 30(4):339-351. 2013.

SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POTENCIALES EN EL SECTOR CAFETERO COLOMBIANO

Marisol González González*, César Alberto Serna Giraldo**

GONZÁLEZ G., M.; SERNA G., C. A. Servicios ecosistémicos potenciales en el sector cafetero colombiano. Revista Cenicafé 69(2):35-46. 2018

El objetivo del artículo es la identificación de las potencialidades del sector cafetero colombiano como ambiente propicio para la provisión de servicios ecosistémicos. En la medida que se integren acciones de conservación con el sistema de producción podrán proporcionarse servicios como protección de microcuencas, captura de carbono, conservación de la biodiversidad y suelo, belleza paisajística, polinización y fijación de nutrientes. Un mecanismo óptimo para integrar este tipo de acciones es la implementación de esquemas de pago por servicios ambientales - PSA, como instrumento de compensación voluntaria entre las partes interesadas en la conservación ambiental. Para cada tipo de servicio ambiental se describen proyectos ejecutados bajo el esquema PSA o similares, en la zona cafetera colombiana tales como Paisaje Cultural Cafetero®, pago por servicios ambientales hídricos -PSAH-, captura de carbono y programas de cafés especiales, que sirven como mecanismo para incentivar la producción sostenible desde lo económico, social y ambiental.

Palabras clave: Pago por servicios ambientales, Paisaje Cultural Cafetero-PCC®.

POTENTIAL ECOSYSTEM SERVICES IN THE COLOMBIAN COFFEE SECTOR

This document identifies the potentialities of the Colombian coffee sector as an enabling environment for the provision of ecosystem services. To the extent that conservation actions integrated with the production system, services such as micro-watershed protection, carbon capture, conservation of biodiversity and soils, landscape beauty, pollination and nutrient fixation can be provided. An optimal mechanism to integrate this type of actions is the implementation of Payments for Environmental Services - PES schemes, as a voluntary compensation instrument between the parties interested in environmental conservation. For each type of Environmental Service, projects executed under PES schemes or similar are described in the Colombian coffee region such as the Coffee Cultural Landscape PCC®, payments for water environmental services -PWES-, carbon capture and specialty coffee programs. These programs serve as mechanisms to encourage a sustainable production from an economic, social and environmental perspective.

Keywords: Payment for environmental services, Coffee Cultural Landscape PCC®.

*Asistente de Investigación (hasta abril de 2018). Disciplina de Economía, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

**Investigador Científico I. Disciplina de Economía, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

El desarrollo histórico de la conceptualización de los servicios ecosistémicos revisado por Gómez-Baggethun *et al.* (13), sugiere que la tendencia hacia la monetización y mercantilización de los servicios proporcionados por los ecosistemas es resultado de los cambios surgidos desde la economía clásica a la neoclásica. La economía clásica valoraba los beneficios de la naturaleza a partir del uso que podrían hacer de ellos, situando la tierra como factor independiente de producción y generador de riqueza (capital natural), considerando la fertilidad desigual de la tierra y su escasez, resaltando su importancia para la calidad de vida y las oportunidades para experimentar la belleza natural (15). En tanto, con la aparición de nuevas ideas y el desarrollo tecnológico del siglo XIX, los neoclásicos cambiaron la visión de la tierra concibiéndola como un factor sustituible por el capital manufacturado y excluyéndola como factor de producción (15). Según Daly y Cobb (7) la disminución de la importancia de la tierra se debió a la desaparición política de la clase terrateniente, (...) *“con el desarrollo del industrialismo, los capitalistas y el trabajo industrial se convirtieron en las clases dominantes, y la disciplina de la economía cambió su atención a la industria”* (15).

A través de Pigou, economista neoclásico, nació la economía ambiental como subdisciplina económica, para corregir las fallas de mercado asociadas a las externalidades negativas; sin embargo, la atención a los problemas ambientales estimuló nuevas perspectivas y conceptualizaciones del medio ambiente en el análisis económico, dando origen a la economía ecológica, que sin ser considerada como subdisciplina de la economía y la ecología, se institucionalizó en 1988 con el surgimiento de la Sociedad Internacional para la Economía Ecológica - SIEE. La SIEE amplió el alcance del análisis de la relación

entre la economía y el medio ambiente, reincorporando ideas de la economía clásica y neoclásica, en especial a partir del desarrollo de métodos para valorar e internalizar los impactos económicos en el medio ambiente y en la toma de decisiones (13, 20).

La economía ambiental y ecológica comparten en cierta medida el uso de técnicas y teorías (13), su diferencia radica en que la ambiental abarca únicamente la aplicación de la economía neoclásica a los problemas ambientales: racionalidad, marginalismo, eficiencia en la asignación de recursos y modelos de equilibrio general para analizar las cuestiones ambientales; en otras palabras, supone que los asuntos ambientales forman parte de las cuestiones económicas generales y, por lo tanto, estos pueden ser analizados mediante instrumentos y principios económicos neoclásicos que subvaloran las principales preocupaciones ecológicas; no obstante, es más eficaz para influir en la formulación de políticas (31). En tanto, la ecológica se ocupa ampliamente de los impactos humanos en los ecosistemas; su área de estudio implica una visión holística e interdisciplinaria de los vínculos entre los sistemas: ecológico y económico (6).

Una segunda controversia entre las dos posturas, se relaciona con la valoración de los servicios de los ecosistemas, para resaltar el valor social de las funciones de la naturaleza (13). En la neoclásica los valores económicos de los servicios ecosistémicos, son medidos a través de un análisis costo-beneficio, que a pesar de ser una medida real, subestima aquellos beneficios ambientales intangibles (14).

Para valorar económicamente los beneficios del ecosistema se identifican dos tipos de valor: valores de uso y no uso, que de forma conjunta permiten obtener el

valor económico total de los beneficios proporcionados. Un ejemplo es cuando el servicio o bien ecosistémico está presente en el mercado como la madera, su valor económico es el precio de mercado, pero esta cuantía no refleja el valor total, dejando de lado el valor social y ambiental por la estabilización del suelo, almacenamiento de agua, control de inundaciones, hábitat de especies, estética y control del clima, beneficios amplios y difíciles de cuantificar (11). Para ello se han desarrollado técnicas como precios hedónicos, costo evitado, costo de reemplazo, factor de ingreso, costo de viaje y valoración contingente, al igual que métodos de medición del valor extrafinanciero, es decir, el valor social y ambiental en relación a los recursos invertidos, como el SROI (*Social Return of Investment*).

El aumento de la investigación sobre el valor monetario de los servicios ecosistémicos contribuyó a atraer el apoyo de los actores políticos y de mercado, para abordar los problemas ambientales y contribuir en la conservación de los ecosistemas (13). Es allí donde se configura el esquema de pagos por servicios ambientales - PSA, instrumento empleado dentro de política pública en algunos países y sectores, que propone compensar a los usuarios de la tierra por las externalidades ambientales positivas que generan a través de la adopción de prácticas agrícolas sostenibles.

En Colombia este tipo de esquema ha sido empleado como política pública para la protección de ecosistemas hídricos que proveen agua a los acueductos municipales, y también por el sector cafetero como herramienta de incentivo a la conservación y producción sostenible. En el desarrollo de este tipo de mecanismos la población rural que emplea el suelo como principal factor de producción, juega un papel relevante en la

prestación de bienes y servicios ambientales, pues muchos ecosistemas de interés para la conservación son ocupados por comunidades para producción agropecuaria, y es por medio de los esquemas de compensación o PSA que se pretende destacar e incorporar a la comunidad rural en la preservación, provisión y prestación de estos servicios.

Este documento identifica potencialidades del territorio cafetero y la comunidad rural como entorno propicio para la provisión de servicios ambientales. Para el desarrollo del artículo se definen los servicios ambientales y los tipos existentes, además se identifican aquellos que puede proveer el ecosistema cafetero basados en las potencialidades y experiencias previas. Se define el esquema de PSA y su normativa en Colombia, y finalmente se expone el papel de los cafés especiales como mecanismo de PSA.

Servicios Ambientales

Los servicios ambientales o también llamados servicios ecosistémicos son los beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad (4), generados principalmente por bosques y sistemas productivos ambientalmente sostenibles (28). Los servicios ecosistémicos tienen como principal función ayudar a prevenir, limitar y mitigar el impacto ambiental de externalidades negativas de las acciones realizadas por el hombre (2). Estos servicios proporcionados por el ecosistema son necesarios para la supervivencia, al proveer elementos para la vida como alimentos, agua pura, regulación del clima, formación de suelo. Los servicios ambientales se dividen en cuatro clases según su beneficio y funcionalidad (9):

Servicios de provisión. Se refieren a bienes proporcionados por los ecosistemas como agua, alimentos, recursos genéticos, fibras y medicinas naturales.

Servicios de regulación. Son los obtenidos a partir del balance de los procesos ecosistémicos como la calidad del aire, regulación y purificación del agua, regulación del clima, control de erosión y deslizamientos, control biológico, mitigación de riesgos y regulación de enfermedades humanas.

Servicios culturales. Se refieren a beneficios no materiales, que enriquecen la calidad de vida, como la diversidad cultural, los valores religiosos y espirituales, inspiración, valores estéticos, descubrimiento científico, valores de patrimonio cultural, recreación y ecoturismo.

Servicios de soporte. Son necesarios para producir los anteriores servicios, lo cual incluye la formación de suelo, producción de oxígeno, producción primaria, provisión de hábitat, polinización, retención de suelos y ciclo de nutrientes.

En la Tabla 1 se presentan los 21 servicios ambientales potenciales que pueden aportar los agroecosistemas cafeteros, clasificados según la división anterior.

Esquema de pagos por servicios ambientales

Para que los servicios generados por el ecosistema sean negociados, en 1997 surgió un esquema de pagos, que consiste en pagar o compensar a usuarios de la tierra por los servicios que presten, incentivando así un uso sostenible de los recursos naturales. La razón por la cual se paga al beneficiario es por restringir las alternativas de uso del suelo (21). Este sistema inició en Costa Rica como solución a la tala de bosques, que redujo el 40% del área boscosa del país, afectando los servicios hidrológicos proporcionados por el ecosistema (21); a partir del surgimiento de este mecanismo diversos países han optado por trabajar en proyectos similares.

Para que un esquema de compensación sea considerado estrictamente PSA debe cumplir con las siguientes condiciones (32):

- *Una transacción voluntaria.*
- *Un servicio ambiental bien definido (uso de la tierra que asegure este servicio).*
- *Es adquirido por al menos un comprador de servicios ambientales.*
- *A por lo menos un proveedor de servicios ambientales.*
- *Solo si el proveedor asegura la provisión del servicio ambiental transado.*

El desarrollo del esquema PSA busca promover por medio de incentivos la adopción de prácticas de uso y manejo del suelo sostenible con el ecosistema (23). Para el sector cafetero colombiano aplicar este mecanismo resulta conveniente, por las ventajas que pueden obtener tanto los cafeteros como los beneficiarios del servicio ambiental a partir de su implementación. Según la FAO (10), los PSA basados en la adopción de prácticas agrícolas sostenibles pueden no solo contribuir a la prestación del servicio, sino también al aumento de la productividad agrícola.

Marco legal en Colombia. En Colombia, desde el año 1993, se cuenta con un marco normativo que legisla los incentivos económicos que el Estado debe ejecutar en acciones asociadas con la prevención, restauración o conservación del medio ambiente (20). El artículo 210 de la Ley 1450 de 2011 estableció que, al menos el 1% de los ingresos corrientes de los municipios deben invertirse cada año en áreas de importancia estratégica para la conservación del recurso hídrico, en especial aquellos que surten los acueductos municipales (20).

Tabla 1. Servicios ambientales aportados por los agroecosistemas cafeteros.

No.	Servicio ambiental	Clase de servicio
1	Materia orgánica de la pulpa descompuesta del café contribuye a mejorar las condiciones físicas del suelo.	Provisión
2	Madera proveniente de la renovación del cafetal.	
3	Conservación de guaduales y bosques para aprovisionamiento de agua.	
4	Semillas forestales.	
5	Alimento vegetal, principalmente café y cultivos asociados.	
6	Regulación del clima mediante la implementación de sistemas agroforestales.	Regulación
7	Regulación de la calidad del aire. La vegetación a través de la fotosíntesis convierte el dióxido de carbono en oxígeno.	
8	Regulación en los flujos de agua y protección de cuencas y mejoramiento en la calidad del agua.	
9	Polinización del cultivo.	
10	Control de plagas y enfermedades.	
11	Tratamiento de aguas residuales, los humedales actúan como un filtro por la actividad de microorganismos del suelo que descomponen desechos.	
12	Biodiversidad y belleza paisajística.	
13	Conservación de los bosques nativos preservando su valor paisajístico.	Cultural
14	Actividades recreativas en senderos ecológicos con flora y fauna de la zona.	
15	Conservación de la arquitectura tradicional de las fincas cafeteras.	
16	Promoción de ecoturismo para recreación y deporte.	
17	Conservación de saberes ancestrales ligados al sistema cafetero y al cultivo.	
18	Provisión de hábitat para refugio de la biodiversidad.	Soporte
19	Incorporación de materia orgánica con el fin de incrementar la productividad del suelo y disminuir el uso de agroquímicos.	
20	Protección del suelo como mecanismo de retención de sedimentos y aporte a su fertilidad. La vegetación a través de la sujeción de raíces en los taludes provee un sistema que evita deslizamientos y erosión que llevan a pérdida de nutrientes.	
21	Fijación y reciclaje de nutrientes, en sistemas agroforestales ciertos árboles son fijadores de nitrógeno.	

Estos recursos abren la posibilidad de implementar esquemas para el pago por servicios ambientales que sean sostenibles, ya que parte de su eficacia y sostenibilidad depende de los recursos con los cuales se cuenta para implementarlo y que continúe su desarrollo después de ser establecido. De allí que, determinar la viabilidad económica de un PSA es de especial relevancia para su sostenibilidad. Además, es necesario realizar una valoración económica ambiental para establecer y cuantificar los beneficios que generan los servicios ambientales brindados por los ecosistemas, así como los costos que debe asumir quien se encarga de proveerlos a través de la recuperación, protección y conservación (20). Para Colombia la guía metodológica para el diseño e implementación del incentivo económico de PSA, diseñada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, contempla que los análisis y estimaciones económicas para evaluar la viabilidad económica del esquema se realice bajo el método de costo de oportunidad, el cual permite contabilizar los costos que asume el productor por su decisión de conservar y recuperar los recursos naturales (20).

Decreto 870 de 2017

Este Decreto crea el PSA orientado al cierre de la frontera agrícola y a la protección de zonas de reserva; surge como respuesta al conflicto entre la vocación de la tierra y su uso real, al plantear el PSA para prevenir y solucionar esos conflictos.

El Decreto propone como mecanismo de compensación el costo de oportunidad de las actividades representativas del área, al que sólo podrán acceder los agricultores propietarios de tierras de acuerdo al código civil, además de posibles beneficiarios de adjudicación de baldíos (Ley 160 de 1994). Los principios del esquema por PSA propuestos se centran en la

focalización de áreas estratégicas, armonización y complementariedad con otros programas, relación costo beneficio y construcción de paz, solidaridad y territorialidad. Establece que antes del 2019 debe existir un plan de zonificación ambiental para delimitar la frontera agrícola y zonas de manejo ambiental, especialmente zonas de reserva forestal y biodiversidad estratégicas con relación al recurso hídrico.

Tipos de Servicios Ambientales y su aplicación al sector cafetero

A partir de los servicios ambientales y sus categorías, se conforman y destacan cuatro tipos.

1. Secuestro y almacenamiento de carbono.

La provisión de este servicio ambiental se da por medio de la fotosíntesis, a través de la cual los bosques absorben el carbono presente en la atmósfera en forma de gas carbónico y conjuntamente con el agua de las lluvias más la luz del sol se transforma en fotoasimilados, transferidos a todas las partes de la planta para el crecimiento y producción de flores y frutos. La negociación de estos servicios ambientales se da cuando una organización compensa a caficultores por plantar y mantener árboles, incentivando sistemas de producción con sombrío o el establecimiento de linderos, cercas vivas y áreas de conservación.

El sector cafetero como mecanismo de adaptación a la variabilidad climática formuló el programa de compensación de emisiones de Gases Efecto Invernadero - GEI, que tuvo como propósito generar incentivos económicos mediante el PSA en busca de favorecer la conservación de la biodiversidad y el mejoramiento de los ingresos para el productor cafetero. Las acciones realizadas para acceder a la compensación se limitaron a labores de

reforestación y manejo mejorado de bosques, cultivos y pastizales que contribuyeran a la captura de carbono (8).

Como balance de compensación por la emisión de GEI, la tostadora Colcafé en 2013 compró certificados de captura por 6.725 toneladas de carbono, que beneficiaron a 381 pequeños caficultores. Así mismo, la empresa de Energía del Quindío compró un equivalente de 938 toneladas de carbono, beneficiando a 116 familias cafeteras. Estas compensaciones contribuyen al logro de una caficultura sostenible y al posicionamiento del Café de Colombia y sus marcas, en mercados cada vez más interesados en la preservación del medio ambiente. A su vez se reconoce al caficultor el esfuerzo por ofrecer café de alta calidad y su contribución a la conservación de la biodiversidad y del paisaje cafetero.

2. Protección de la biodiversidad. Por biodiversidad se entiende la variabilidad entre seres vivos sin importar su origen, es decir, refleja la variedad de los organismos vivos. En términos de Cordero *et al.* (5), la biodiversidad se constituye a partir de tres elementos: 1) la diversidad genética dentro de las especies, 2) la diversidad entre las especies, y 3) la diversidad de ecosistemas. Para promover la conservación de la biodiversidad, se destaca una herramienta llamada servidumbre ecológica como mecanismo de acuerdo voluntario privado, donde el propietario limita los usos de su tierra con el objetivo de conservar, preservar y proteger los ecosistemas. En Colombia, el ecosistema cafetero a pesar de ser intervenido, mantiene altos niveles de heterogeneidad; se estima que la zona cafetera posee las siguientes especies: 596 de aves, 50 de murciélagos, 600 de plantas, 25 de mamíferos, 372 de mariposas, 145 de hormigas y 21 de abejas (30).

En los agroecosistemas cafeteros son varios los aportes que la biodiversidad genera a la comunidad y al mismo cultivo. Ejemplos del valor aportado por este servicio al café son desarrollados por Ricketts *et al.* (26), Rapidel (25) Imbach *et al.* (16), quienes encontraron que el rendimiento del cultivo de café puede aumentar entre 20% y 25% cuando las abejas están presentes en la polinización, además la calidad puede mejorar alrededor de un 27% a raíz de menos granos deformados. Estos resultados se obtuvieron en cafetales cerca de bosques a 1 km, propicio para el hábitat de abejas nativas. Esta polinización representó un ingreso adicional de 128 USD por hectárea, tomando como referencia el precio del mercado del café en el año 2002-2003 en Costa Rica. Similares resultados fueron reportados para Indonesia (18).

Investigaciones recientes advierten que el cambio climático va a afectar la distribución tanto del café como de las abejas y, por ende, el servicio de polinización, pero en el caso colombiano, mencionan ligeros aumentos en la aptitud del café en áreas montañosas, donde se espera que las temperaturas beneficien la producción de café y existan poblaciones de abejas más robustas (16). En esta misma ruta de investigación, desde Cenicafé y con el apoyo de la empresa Alemana Bayer AG, se busca confirmar la importancia de las abejas como agente polinizador en el cultivo del café, para determinar su efecto en la producción y calidad.

Otro beneficio que puede generar la protección y conservación de fragmentos de bosque o corredores biológicos cerca de los cafetales, se asocia al control y regulación de plagas por parte de algunas aves que establecen su hábitat allí. Para el caso de la broca del café (*Hyphotenus hampei*), aves como el ticotico gorgiclaro (*Automolus ochrolaemus*), cucarachero pechirrufo (*Pheugopedius rutilus*),

reinita coronirufa (*Basileuterus rufifrons*), esmeralda coliblanca (*Elvira chionura*) y la reinita del manglar (*Setophaga petechia*), se alimentan de estos insectos. Un estudio desarrollado en Coto Brus - Costa Rica, encontró que la presencia de estas aves reduce en 45% la infestación de broca en el café, y que el efecto es mayor cuando los parches están más cerca de los cafetales y superan más de una hectárea; en términos monetarios el servicio de control de plagas representó costos evitados de 75 USD a 310 USD por ha/año (17, 19).

3. Protección de cuencas hidrográficas.

Los servicios ambientales hídricos pueden definirse como los beneficios proporcionados por los ecosistemas de una cuenca hidrográfica, para el bienestar de la naturaleza y el hombre. Los servicios usualmente se refieren a la disponibilidad y calidad del agua, control de sedimentos y mantenimiento de hábitats acuáticos; los proveedores son aquellos usuarios de tierras aguas arriba, cuyo uso del suelo se desea modificar o conservar, y los compradores son los consumidores del recurso hídrico, sean particulares o empresas.

En sistemas agroforestales, el manejo agronómico y la diversidad biológica presente en las zonas altas de una cuenca incide en la calidad del agua de las zonas bajas, al manejar menor intensidad en productos fitosanitarios y fertilizantes, se evita la contaminación del agua por escorrentía. La diversidad de plantas que extraen nutrientes del suelo también puede disminuir la concentración de estos elementos en el agua que drena hacia los acuíferos (25); Babbar y Zak (1) afirman que las pérdidas de nitrógeno por lixiviación son menores en sistemas agroforestales (5 a 9 kg ha-año⁻¹) que en cultivos de café a plena exposición solar (24 kg ha-año⁻¹).

En la zona cafetera colombiana se han implementado dos esquemas de compensación o pago para protección de cuencas hidrográficas. Uno de ellos fue bajo el proyecto de “Incorporación de la biodiversidad en el sector cafetero en Colombia”, al implementar un esquema piloto de Compensación de Servicios Ambientales Hídricos como estrategia para la preservación de la microcuenca Toro, municipio de Ansermanuevo-Valle del Cauca. Mediante el reconocimiento en especie que compensara la implementación de Herramientas de Manejo de Paisaje - HMP, conservación de cobertura boscosa y adopción de sistemas agroforestales se logró un cambio voluntario en los caficultores; los servicios ambientales obtenidos fueron la mejora en la calidad del agua, la regulación hídrica y el control de sedimentación. Los factores causantes del deterioro de la microcuenca eran la deforestación, la erosión, la pérdida de la cobertura vegetal, la contaminación hídrica por el beneficio del café y el déficit en el balance hídrico (29).

El segundo esquema de protección de microcuenca se implementó en la zona cafetera de Nariño en las microcuencas Sánchez y Las Palmas, de los municipios de Colón y San Pablo, respectivamente. Estas microcuencas fueron intervenidas por la importancia que tiene para la Central Eléctrica de Nariño-Cedena la regulación hídrica y control de sedimentos, por incrementar los costos de generación de energía, que sólo para los años 2009 a 2013, de acuerdo con una valoración económica, presentó pérdidas por \$12.950 millones a causa de la suspensión de labores por la alta concentración de sedimentos.

4. Belleza paisajística o escénica. Hace referencia a la provisión de un espacio para la recreación y el turismo, puede referirse tanto a un panorama escénico general, como al avistamiento de una especie silvestre exótica.

En el sector, este servicio ambiental está ligado a la idiosincrasia de la cultura cafetera, su gente y el Paisaje Cultural Cafetero–PCC®, en virtud de ello *Fromer's*, la guía de turismo más importante de los Estados Unidos, destaca el PCC® como el mejor destino a visitar en 2018 al resaltar la naturaleza, cultura y hospitalidad de sus habitantes.

El PCC® está ubicado en los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca que, por razones de clima, suelos e hidrografía, han consolidado una vocación no mecanizada para la siembra y el cultivo del café; ofrece una gran variedad de perspectivas visuales haciéndolo una pieza paisajística destacable en el mundo, por la presencia de bosques nativos y corredores biológicos que le aportan valores naturales y estéticos. El café producido cuenta con la certificación Café de Colombia como denominación de origen protegida (22).

Si bien el PCC® no fue creado como un esquema de PSA este instrumento en sí mismo constituye una estrategia para la conservación y sostenibilidad del paisaje. Algunas características destacables que se asemejan a un PSA son: 1) Voluntariedad de las personas que producen el café bajo ciertas condiciones, 2) Quien lo compra valorando el café no sólo como producto sino además reconociendo las condiciones bajo las cuales es producido, 3) El medio de pago o compensación es el sobreprecio del café y, 4) La belleza del entorno del PCC® se valora a través del ecoturismo fundamentado en la cultura autóctona y biodiversidad del ecosistema cafetero.

Café: Sostenibilidad ambiental y competitividad

El cultivo del café en Colombia, al establecerse en un ecosistema con diferentes condiciones

climáticas, de suelos y pisos térmicos, flora y fauna, brinda la oportunidad de proveer servicios ambientales. La oferta real de las externalidades positivas radica en el manejo del ecosistema en el cual se establece el cultivo y la manera en que se integren las medidas de conservación y el sistema de producción. Las relaciones entre los caficultores y la gestión de los recursos naturales pueden potencializarse bajo estrategias con organizaciones públicas y privadas que cuenten con interés en la preservación de los bienes y servicios ecosistémicos.

La implementación de sistemas agroforestales en café aporta a la sostenibilidad, conservación de la biodiversidad, incremento de la productividad y rentabilidad del sector (3). Según Ponte (24) la sostenibilidad toca aspectos como viabilidad económica para los cultivadores, justicia, conservación ambiental y responsabilidad social, además de la calidad del café como piedra angular del negocio; esto permite al productor escalar en la cadena de valor y diferenciación a través de los cafés especiales.

Los mercados y certificaciones verdes crean una conexión entre consumidores dispuestos a pagar más por un café amigable con el medio ambiente y los caficultores que promueven la sostenibilidad ambiental en su finca. El 90% de la producción de café tiene lugar en países en desarrollo, mientras el consumo sucede principalmente en economías industrializadas (24), por lo cual podría ser un mercado atractivo para el café con el propósito de brindarle un mayor valor agregado, por los servicios ecosistémicos que genera a través de una producción responsable con el medio ambiente.

La Federación Nacional de Cafeteros - FNC cuenta con tres grandes categorías en su portafolio de cafés especiales: cafés

de origen, cafés sostenibles y cafés de preparación; el área cultivada en Colombia con cafés especiales representa 44% del total de hectáreas cultivadas (12). Los beneficios de la adopción de esta estrategia han sido evidentes para miles de productores, al obtener primas de calidad y bonificaciones por los cafés especiales, estimadas por la FNC en más de USD 125 millones entre el año 2003 al año 2011 (12).

Como alternativa a una compensación económica directa a los productores, Rosa *et al.* (27) proponen alternativas de gestión que involucren en su mayoría compensaciones o no pagos directos:

- *Impuestos y subsidios*: se enfoca a caficultores que realicen acciones productivas sostenibles para el mantenimiento e incremento en los servicios ambientales.
- *Pago de transferencias*: incentiva a los caficultores para que inviertan en prácticas más sostenibles.
- *Mercados de productos con atributos ambientales, certificados y sellos*: bajo este mecanismo los consumidores reconocen un valor adicional a los productos, generados bajo procesos productivos amigables con el medio ambiente y tipifican un mercado ecológico donde el valor adicional pagado representa en cierto modo la voluntad para pagar por servicios ambientales.
- *Apoyo a programas comunitarios de ecoturismo*: las comunidades que cuenten con potencial turístico, pueden valorizar los servicios ambientales de su territorio con el apoyo de empresas u organizaciones comunitarias rurales.

La realidad de la comercialización de los servicios ambientales del sector

cafetero es limitada y corta ante las amplias posibilidades de acceder a mercados de estas características. En la Tabla 2 se ejemplifica el funcionamiento de un esquema PSA, considerando las partes involucradas, roles y algunos resultados esperados.

CONCLUSIONES

La implementación de esquemas de PSA en la actividad cafetera han sido empleados como mecanismo para la preservación del ecosistema, producción sostenible y adaptación tecnológica, generando incentivos para la adopción de estrategias amigables con el medio ambiente. Además, la producción y venta de cafés especiales son una alternativa interesante para el desarrollo de mecanismos PSA, pues ganan los consumidores a través de la valoración que ellos le dan a los atributos por los cuales están dispuestos a pagar un sobreprecio, los caficultores obteniendo un excedente por su producto y el medio ambiente a través de una producción sostenible.

Una forma de evidenciar el valor aportado por los PSA desde lo económico, ambiental y social es mediante técnicas que cuantifiquen la relación beneficio/costo, para evaluar viabilidad y sostenibilidad de este mecanismo. Para esto existen metodologías como la del Retorno Social de la Inversión - SROI (por sus siglas en inglés), que permite medir y valorar en términos monetarios los beneficios asociados a la implementación del esquema en el bienestar de la comunidad intervenida y los servicios ambientales proporcionados. Para que esto sea posible, es necesario fortalecer la agenda de investigación en estos temas, que argumenten bajo términos estudiados el valor que pueden otorgar los sistemas forestales en la productividad y rentabilidad obteniendo una sostenibilidad ecológica y financiera en el mediano y largo plazo para el caficultor.

Tabla 2. Esquema de operación de un esquema PSA en la caficultura.

Participantes	Rol	Resultado esperado	
		Mediano plazo	Largo plazo
Proveedor servicio ambiental: caficultor que afecta o puede afectar negativamente el ecosistema. Mediante un acuerdo voluntario modifica las acciones que impactan de manera negativa en el ecosistema, por lo cual es compensado.	Conservar o restaurar el ecosistema mediante acuerdo voluntario para proveer los servicios ambientales pactados, para lo cual adopta prácticas sostenibles en la producción de café.	Ganancias o equilibrio entre el costo de oportunidad y el pago recibido.	Caficultor con un sistema de cultivo sostenible ambiental y socialmente, que compensa sus costos.
Beneficiario servicio ambiental: Persona natural o jurídica que compensa al caficultor por adoptar prácticas sostenibles y recibe el beneficio ambiental.	Compensar al caficultor por la adopción de prácticas sostenibles. El servicio ambiental puede ser comprado por empresas públicas o privadas como mecanismo de responsabilidad social y ambiental.	Reconocimiento social por su contribución voluntaria a la sostenibilidad ambiental.	Recibe unos beneficios ambientales por el pago realizado.
Veedor: Persona natural o jurídica que vela por el cumplimiento de lo acordado por las partes.	Gestionar el pago directo en efectivo o especie al prestador del servicio ambiental, previa verificación de cumplimiento del acuerdo de voluntades.	Organismo reconocido por ofrecer bajos costos de transacción a grupos de interés y pequeños caficultores.	Institución posicionada para gestionar proyectos de PSA.

LITERATURA CITADA

- BABBAR, L.I.; ZAK, D.R. Nitrogen cycling in coffee agroecosystems: Net N mineralization and nitrification in the presence and absence of shade trees. *Agriculture, ecosystems & environment* 48(2):107-113. 1994.
- CARBAL H., A. La valoración económica de bienes y servicios ambientales como herramienta estratégica para la conservación y uso sostenible de los ecosistemas: Caso Ciénaga y Caimanera, Coveñas-Sucre. Bogotá : Universidad Libre de Colombia, 2009.
- CARDONAT., H. Gestión de los servicios ecosistémicos que presta la flora de los agroecosistemas de la cuenca del río La Vieja, eje cafetero, Colombia. Bogotá : Pontificia universidad Javeriana, 2011. Tesis: Maestría en desarrollo rural.
- CECCON, E.; PÉREZ, D.R. Más allá de la ecología de la restauración: Perspectivas sociales de América Latina y Caribe. Buenos aires : Vázquez Mazzini, 2016. 384 p.
- CORDERO, D.; MORENO D., A.; KOSMUS, M. Manual para el desarrollo de mecanismos de Pago/Compensación por servicios ambientales. Quito : GTZ, 2008.
- COSTANZA, R. What is ecological economics? *Ecological economics* 1(1):1-7. 1989.
- DALY, H.E.; COBB, J.B. For the common good: Redirecting the economy towards community, the environment, and a sustainable future. Boston : Beacon press, 1989.
- DUQUE V., A.; PARDO M., P.; RUBIANO D., J. Compensación de gases efecto invernadero (GEI) en paisajes cafeteros de Colombia. Bogotá : FNC, 2014. 18 p.
- EVALUACIÓN ECOSISTEMAS DEL MILENIO. *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington : Island press, 2005.
- FAO. Inversión en servicios ambientales agrícola. [en línea]. Roma : FAO, (s.f.). Disponible en internet: <http://www.fao.org/nr/aboutnr/servicios-ambientales/es/>. Consultado el 17 de abril de 2014

11. FARBER, S.C.; COSTANZA, R.; WILSON, M.A. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological economics* 41(3):375-392. 2002.
12. FNC. FNC produce y exporta cada vez más cafés especiales. [En línea]. Bogotá : La Federación, (s.f.). Disponible en internet: http://www.cafedecolombia.com/ci-fnc-es/index.php/comments/fnc_produce_y_exporta_cada_vez_mas_cafes_especiales. Consultado en noviembre de 2013.
13. GÓMEZ B., E.; GROOT, R. DE; LOMAS, P.L.; MONTES, C. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological economics* 69(6):1209-1218. 2010.
14. GOODLAND, R.; LEDEC, G. Neoclassical economics and principles of sustainable development. *Ecological modelling* 38(1/2):19-46. 1987.
15. HUBACEK, K.; VAN DEN BERGH, J.C. Changing concepts of 'land' in economic theory: From single to multi-disciplinary approaches. *Ecological economics* 56(1):5-27. 2006.
16. IMBACH, P.; FUNG, E.; HANNAH, L.; NAVARRO R., C.E.; ROUBIK, D.W.; RICKETTS, T.H.; HARVEY, C.A.; DONATTI, C.I.; LÄDERACHA, P.; LOCATELLI, P.; ROEHRDANZ, P.R. Coupling of pollination services and coffee suitability under climate change. *Proceedings of the national academy of sciences* 114(39):10438-10442. 2017.
17. KARSTEN, H.; VANEK, S.; ZIMMERER, K.; RICHARD, G. Natural ecosystem and agroecosystem comparison. [En línea]. *Natural Ecosystem and Agroecosystem Comparison*. Pennsylvania : PennState, 2016. Disponible en internet: <https://www.e-education.psu.edu/earth131/node/1183>
18. KLEIN, A.M.; STEFFAN D., I.; TSCHARNTKE, T. Bee pollination and fruit set of *Coffea arabica* and *C. canephora* (Rubiaceae). *American journal of botany* 90(1):153-157. 2003
19. MARTÍNEZ R., M.R.; VIGUERA, B.; DONATTI, C.I.; HARVEY, C.A.; ALPÍZAR, F. La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura: Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA (Conservación Internacional-CATIE). Turrialba : CATIE, 2017. 40 p.
20. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Guía metodológica para el diseño e implementación del incentivo económico de pago por servicios ambientales PSA: Documento para discusión. Bogotá : El Ministerio, 2012.
21. PAGOLOLA, S. Pago por servicios hidrológicos en Centroamérica: Enseñanzas de Costa Rica. p. 77-116. En: PAGOLOLA, S.; BISHOP, J.; LANDELL M., N. La venta de servicios ambientales forestales: Mecanismos basados en el mercado para el desarrollo y la conservación. México : Earthscan, 2006.
22. PAISAJE CULTURAL CAFETERO®. Excepcional fusión entre naturaleza, cultura y trabajo colectivo. Bogotá : FNC, 2014.
23. PNUD. Guía de diagnóstico de las condiciones mínimas requeridas para el desarrollo de esquemas de cobro y pago por servicios ambientales: Caso del recurso hídrico para consumo humano en el ámbito local. New York : PNUD, 2008
24. PONTE, S. Estándares, comercio y equidad: Lecciones de la industria de los cafés especiales. Copenhague : Economía mundial del café : Centro de investigaciones para el desarrollo, 2002.
25. RAPIDEL, B. Bienes y servicios ambientales de la cafcultura. Turrialba : CATIE, 2008. 19 p.
26. RICKETTS, T.H.; DAILY, G.C.; EHRLICH, P.R.; MICHENER, C.D. Economic value of tropical forest to coffee production. *Proceedings of the national academy of sciences of the United states of America* 101(34):12579-12582. 2004.
27. ROSA, H.; KANDEL, S.; DIMAS, L. Compensación por servicios ambientales y comunidades rurales; lecciones de las Américas y temas críticos para fortalecer estrategias comunitarias. 1a. ed. Salvador : Prisma : Programa salvadoreño de investigación, 2004.
28. RÜGNITZ, T.M. Aprendiendo sobre pagos por servicios ambientales: Fundamentos para la elaboración de proyectos de carbono forestal. Washington : Forest trends, 2010. 48 p.
29. SOSA, C.; MORENO, C. Esquema de compensación por servicios ambientales hídricos en el sector productivo cafetero: Caso microcuenca Toro, Valle del Cauca. Cali : FNC : PNUD, 2014. 32 p.
30. UNIVERSIDAD DEL ROSARIO. Café, sostenibilidad ambiental, cambio climático y competitividad. [En línea]. Bogotá : La Universidad, (s.f.). Disponible en internet: <http://www.urosario.edu.co/Home/Principal/Orgullo-Rosarista/Adjuntos/Mision-del-Cafe/La-Dimension-Ambiental-en-Caficultura-Colombiana-A/>
31. VENKATACHALAM, L. Environmental economics and ecological economics: Where they can converge? *Ecological economics* 61(2):550-558. 2007.
32. WUNDER, S. Pagos por servicios ambientales: Principios básicos esenciales. Yakarta : Centro internacional de investigación forestal, 2006.

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO A NIVEL DE LOTE EN CAFÉ

Alveiro Salamanca Jimenez*, Luz Adriana Lince Salazar**, Norbey Antonio Álzate Sánchez***

SALAMANCA J., A.; LINCE S., L. A.; ALZATE S., N. A. Variabilidad espacial de la densidad aparente del suelo a nivel de lote en café. Revista Cenicafé 69(2):47-59. 2018

La densidad aparente (D_a) se relaciona con las propiedades físicas y químicas del suelo, brinda información de su uso y manejo, y tiene un efecto directo en el crecimiento de las plantas. La variabilidad espacial (vertical y horizontal) de la D_a a nivel de lote cafetero se estudió en dos unidades cartográficas de suelo, un andisol ubicado en la Estación Experimental La Catalina, denominado unidad Chinchiná, y un inceptisol derivado de basaltos ubicado en el municipio de Marsella, denominado unidad 200. En cada sitio se seleccionó un lote de 2,5 ha (210 x 120 m), se realizó un muestreo sistemático en cuadrícula cada 30 m, y se midió la D_a en profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 y 20-30 cm. Los datos se analizaron por medio de estadística descriptiva y geostatística. Se determinaron los respectivos semivariogramas ajustados a modelos del tipo esférico y se generaron los mapas de variabilidad por interpolación por Kriging. Los análisis realizados permitieron encontrar mayor variabilidad horizontal que vertical y que la distancia de muestreo para hallar variabilidad espacial de la D_a para las profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, y 20-30 cm, es de 288, 149, 123 y 113 m en la unidad Chinchiná y de 93, 113, 112 y 103 m en la unidad 200 respectivamente. Los mapas generados pretenden orientar actividades de manejo específico a nivel de lote buscando optimizar la producción del cultivo.

Palabras clave: Geostatística, Andisol, unidad Chinchiná, Inceptisol, unidad 200.

SPATIAL VARIABILITY OF SOIL BULK DENSITY AT COFFEE-CROP PLOT LEVEL

Bulk density (Bd) relates to other soil physical and chemical properties, provides information about its use and management, and affects directly plant growth. The spatial variability (vertical and horizontal) of Bd at coffee-crop plot level was studied in two cartographic soil units, an andisol at the experimental station La Catalina known as Chinchina, and an inceptisol located in Marsella municipality known as 200. In each site a plot of 2.5 ha (210 x 120 m) was selected for a systematic grid sampling every 30 m, and measurement of Bd at depths of 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm. The data were analyzed using descriptive statistics and geostatistics. The respective semivariograms were determined and later adjusted using mostly spherical models; then the variability maps were generated by interpolation using Kriging. The analyses allowed to find greater horizontal variability than vertical. and sampling distances to find spatial variability of Bd at the depths of 0-5, 5-10, 10-20, and 20-30 cm, were respectively 288, 149, 123 and 113 m in Chinchina, and 93, 113, 112 and 103 m in the 200 soil unit. These maps aim to guide specific management activities at the plot level in order to optimize crop production.

Keywords: Geostatistics, Andisol, Chinchina unit, Inceptisol, 200 unit.

*Investigador Científico I. Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia, hasta 2017.

**Investigador Científico I. Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Manizales, Caldas, Colombia.

***Extensionista. Comité de Cafeteros de Risaralda. Santa Rosa de Cabal, Colombia.

Una de las propiedades físicas más importantes del suelo es la densidad aparente (Da), la cual se define como la relación entre la masa del suelo (M_s) y su volumen total (V_t), es decir, el volumen ocupado por las partículas y el espacio poroso ($Da = M_s/V_t$) (1).

La importancia de la Da radica en su relación con otras propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y como indicador de su uso y manejo. La Da se utiliza para calcular la porosidad total del suelo y la relación suelo-agua (7), brinda información sobre la compactación de los suelos, permitiendo determinar condiciones adecuadas para el crecimiento y exploración de las raíces (14) y, además, sirve para determinar las características de permeabilidad y aireación relacionadas con la macroporosidad, que a su vez depende de la estabilidad de los agregados (19).

La Da tiene un efecto directo en el crecimiento de las plantas y la producción de los cultivos. Para mencionar algunos ejemplos, Venanzi *et al.* (23) encontraron que valores de Da mayores a $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ redujeron la biomasa de las raíces del trigo, y que a partir de $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ se disminuyó el crecimiento de los tallos y el área foliar, lo cual según Reichert *et al.* (15) y Suzuki (20) puede asociarse con una aireación insuficiente ($<0,1 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) y una alta resistencia a la penetración ($>2 \text{ MPa}$). Efectos similares se encontraron en un suelo de la unidad San Simón, donde incrementos en la Da afectaron negativamente el crecimiento y desarrollo del café en la etapa de almácigo (17). Los mismos autores reportan que en un suelo derivado de cenizas volcánicas, incluso un valor bajo ($0,57 \text{ g cm}^{-3}$) puede ser limitante para el crecimiento de las raíces, porque se disminuye su contacto con las partículas del suelo y se afecta la nutrición de las plantas.

Las condiciones propicias o desfavorables que presentan los suelos para el crecimiento de los cultivos también se asocian con una característica dominante como es su heterogeneidad, la cual dificulta hacer generalizaciones y predicciones. La variabilidad del suelo es una condición inherente que se presenta en sus propiedades aun en cortas distancias (9), como resultado de sus factores y procesos de formación.

Usowicz y Lipiec (21), citando a varios autores, coinciden en afirmar que se debe evaluar y entender la variabilidad tanto espacial como temporal de las propiedades del suelo y de la producción de los cultivos, para determinar las prácticas de manejo que permitan mejorar la cantidad y calidad de las cosechas, siendo ambientalmente sostenible. Y es aquí donde el análisis geoestadístico facilita la identificación de la variabilidad del suelo en un campo evaluado (13) y aumenta la precisión al modelar el comportamiento de las propiedades objeto de estudio (3).

La variabilidad de la Da derivada de la heterogeneidad misma de los suelos, puede asociarse con otras propiedades como la textura, donde altos contenidos de arenas la aumentan y bajos contenidos la disminuyen (2), y con la humedad y la materia orgánica cuyos contenidos también pueden modificarla notablemente (10, 16).

Ramírez-López *et al.* (14) afirman que, para entender mejor el comportamiento de la Da como una de esas propiedades que afecta directamente el desarrollo y exploración de raíces, es conveniente estudiar su variabilidad y dependencia espacial utilizando herramientas como la geoestadística, la estadística clásica y el Kriging, que permitan identificar zonas compactadas y, por lo tanto, realizar un manejo más localizado de este problema. Por ello, el presente estudio buscó determinar la

variabilidad espacial horizontal y vertical de la *Da* en la estación La Catalina (Pereira-Risaralda) y en el municipio de Marsella (Risaralda), con el fin de generar mapas y estudiar la viabilidad de enfocar labores específicas de manejo a nivel de lote en la finca cafetera.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en dos lotes de café de 2,5 ha (210 x 120 m) localizados en el Ecotopo 209A. El primero ubicado en la Estación Experimental La Catalina (Pereira, Risaralda), a una latitud de 4° 45' N, una longitud de 75°44' W y una altitud de 1.321 m; y el segundo en el municipio de Marsella (Risaralda), con una latitud de 4°57' N, una longitud de 75°45' O y una altitud de 1.420 m.

Los suelos objeto de estudio fueron seleccionados con base en su representatividad y su importancia para el cultivo del café en la zona cafetera central. El suelo Andisol de La Catalina pertenece a la unidad Chinchiná (*Melanudand*), la cual como su nombre lo indica es derivada de cenizas volcánicas que le confieren un alto contenido de arcilla amorfa, altos contenidos de materia orgánica, una elevada porosidad total (65%-75%), una baja *Da* (0,6 a 0,8 g cm⁻³) y una alta retención de humedad. En cambio, el suelo inceptisol de Marsella corresponde a la unidad 200 (*Eutropept*), originada de basalto hornbléndico biotítico que le confiere una textura franco arcillosa-limosa o arcillosa, una alta retención de humedad, un color pardo grisáceo muy oscuro o rojo amarillento, un tamaño de poros finos, bajos contenidos de materia orgánica, una fertilidad media y una *Da* promedio de 1,1 a 1,2 g cm⁻³ (6).

En cada unidad de suelo se seleccionó un lote con historial de uso cafetero, donde se

trazaron cinco transectos de 210 m, con una separación de 30 m y se hizo un muestreo cada 30 m para un total de 40 puntos separados, en una cuadrícula de 30 por 30 m, dentro de un área de 25.200 m² (Figura 1). Dado el tamaño determinado, el lote de la unidad Chinchiná comprendía dos áreas establecidas con café variedad Castillo®, de tres y cuatro años, con pendientes entre 5% y 30%, mientras que el lote de muestreo en la unidad 200 correspondió a cuatro áreas, una con café variedad Castillo® de 3 años de edad, una con café Castillo® de primer año y dos áreas de barbecho, todas con pendientes mayores al 40%.

Cada punto se georreferenció con un GPS submétrico Trimble y en cada uno de ellos se muestreó el suelo a cuatro profundidades: 0-5, 5-10, 10-20 y 20-30 cm. Las muestras no disturbadas se tomaron utilizando un barreno de núcleo y cilindros de acero de 5 cm, para un volumen aproximado de 90,5 cm³ y se llevaron al laboratorio donde se determinó el peso del suelo seco a 105°C. A partir de cada peso, se estimó la *Da* por el método del cilindro (11) y la humedad del suelo por el método gravimétrico (11). La humedad se midió como variable complementaria, porque juega un papel preponderante en los procesos de expansión-contracción del suelo, que influyen de forma directa en los valores de *Da* del suelo (10).

Los datos obtenidos fueron inicialmente analizados por medio de estadística descriptiva; se estimaron la media, la desviación estándar, la mediana, el coeficiente de variación, y se hizo un análisis de asimetría, curtosis y distribución de frecuencias de los datos para verificar si seguían una distribución normal.

Por medio del programa de ArcGis 10.1 *Geostatistical Analyst Extension* se realizó

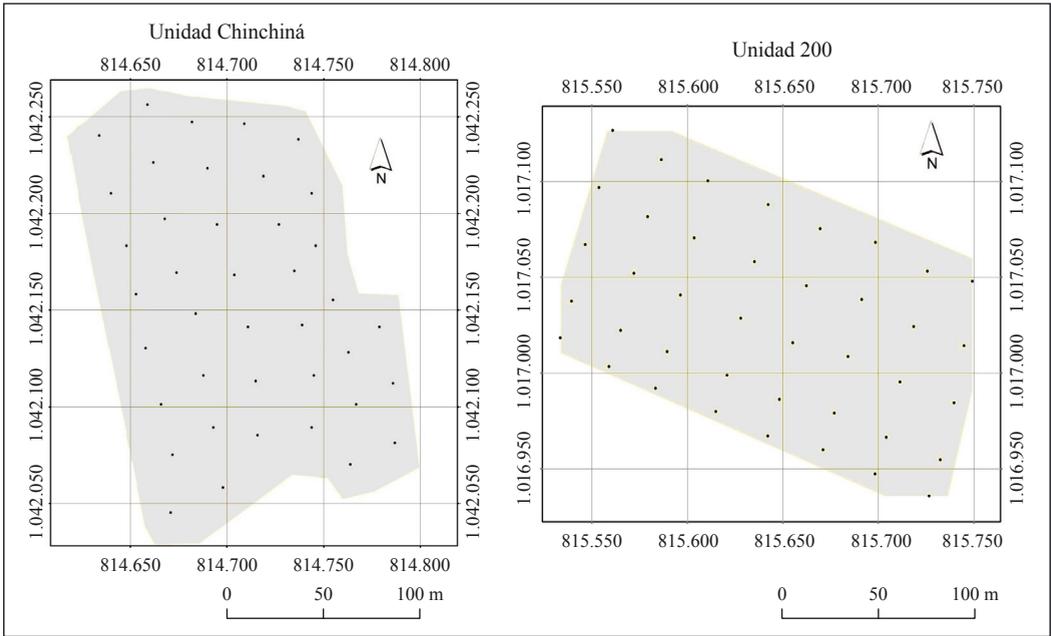


Figura 1. Distribución de los sitios de muestreo donde se midió la Da en cuatro profundidades del perfil.

un análisis exploratorio de los datos, con el fin de comprobar los supuestos (normalidad, estacionariedad y tendencia) necesarios para llevar a cabo los análisis de semivarianza, generar los semivariogramas y determinar el modelo de ajuste. Una vez comprobados los supuestos y la dependencia espacial, se generaron los mapas de distribución espacial para la Da por profundidad en cada unidad de suelo, a partir de la estimación de este atributo en los lugares no evaluados mediante interpolación por Kriging.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Unidad Chinchiná. En la Tabla 1 se presentan los valores generados por el análisis estadístico para la Da del suelo, en cada una de las profundidades de la unidad Chinchiná.

A partir de la Tabla 1 se observa la poca variación de la Da en esta unidad de

suelo, entre profundidades, con coeficientes menores del 9%, al igual que una distribución normal de los datos indicados por los bajos valores de asimetría y curtosis, con lo que se cumplen los supuestos necesarios para aplicar geoestadística. Estos resultados son similares a los presentados por Ramírez-López *et al.* (14) y por Barrios y Florentino (2).

En la Figura 2 se presentan los valores de la Da y la humedad a través de la profundidad del perfil de suelo. Se observa la poca variabilidad a través del perfil y una ligera tendencia de la Da a aumentar con la profundidad, asociada con la diferencia de humedad entre las dos primeras profundidades (0-10 cm) y las dos segundas (10-30 cm), como posible consecuencia de la evaporación y/o una mayor extracción de agua por las raíces de las plantas en las profundidades de 0-5

Tabla 1. Estadística descriptiva para los datos de *Da* registrados por cada profundidad, en la unidad Chinchiná.

Estadístico	Profundidad (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
Media	0,74	0,74	0,73	0,76
Error estándar	0,01	0,01	0,01	0,01
Mediana	0,73	0,74	0,73	0,76
Desviación estándar	0,06	0,05	0,06	0,07
Coficiente variación	7,42	7,05	8,42	8,67
Mínimo	0,62	0,60	0,63	0,58
Máximo	0,88	0,85	0,84	0,87
Asimetría	0,08	0,69	-1,09	0,40
Curtosis	0,36	-0,20	-0,10	-0,68

y 5-10 cm, que disminuyó la humedad del suelo al momento del muestreo, al igual que con los mayores contenidos de materia orgánica que tienden a disminuir los valores de *Da* en las capas superiores.

A partir de este resultado, se sugiere que para futuros estudios de variabilidad espacial vertical la toma de solo dos muestras, una de 0-10 cm y la otra de 10-30 cm, puede ser suficiente para tener una buena estimación de esta propiedad en la zona de raíces de la planta de café.

Los semivariogramas de la *Da* para la unidad Chinchiná mostraron aumentos de la semivarianza al incrementar la distancia hasta estabilizarse, lo cual corrobora la dependencia espacial. Semivariogramas similares son reportados por Ramírez-López (14), explicando que en ellos se refleja la participación de al menos tres fuentes de variación, la distancia de muestreo, la heterogeneidad del suelo, y una posible variación antrópica. No obstante, en la unidad Chinchiná, la mayor variabilidad estuvo asociada con las distancias de muestreo como se indica en la Tabla 2.

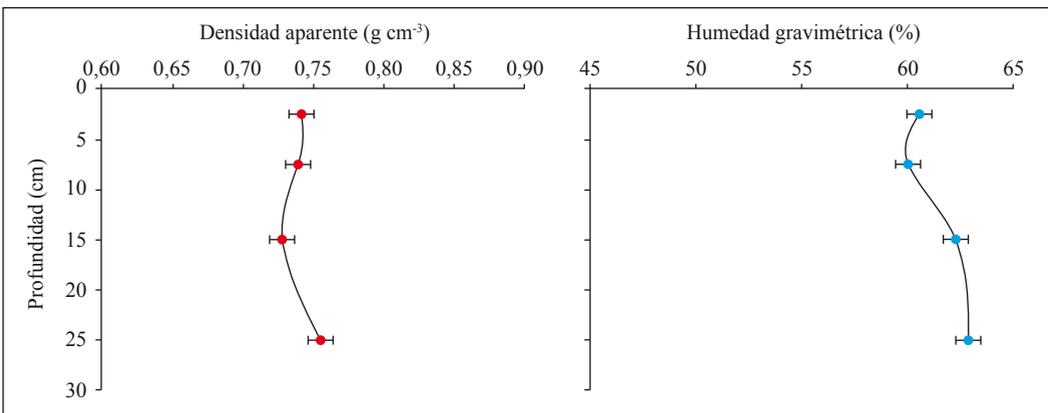


Figura 2. *Da* y humedad gravimétrica del suelo a través del perfil en la unidad Chinchiná (las barras corresponden al error estándar para cada profundidad).

Tabla 2. Parámetros de los semivariogramas para la *Da* en la unidad Chinchiná.

Prof (cm)	Modelo	Rango	Varianza aleatoria	Varianza parcial	GDE*	Dependencia espacial
0-5	Esférico	288	0,0024	0,0012	200	Débil
5-10	Esférico	149	0,0015	0,0016	94	Débil
10-20	Esférico	123	0,0022	0,0020	120	Débil
20-30	Esférico	113	0,0029	0,0018	160	Débil

* GDE: Grado de dependencia espacial según Cambardella *et al.* (5).

Con respecto al rango o distancia de muestreo que determina la variabilidad espacial de la *Da*, los valores obtenidos en el suelo de la unidad Chinchiná presentados en la Tabla 2 muestran que, a mayor profundidad fue menor el rango de muestreo. Para la profundidad de 0-5 cm se encontró el mayor rango, de 288 m, el cual fue inferior al encontrado por Vásquez *et al.* (22), quienes reportaron un valor de 594 m. No obstante, el grado de dependencia espacial, para las cuatro profundidades es débil, debido a los bajos valores de la varianza parcial generados por el modelo, lo cual indica que futuros estudios de la *Da*, para similares condiciones de suelo, pueden cubrir mayores áreas de terreno y con ello determinar un adecuado manejo agronómico del cultivo.

A partir de estos parámetros y con el argumento que la variabilidad del suelo se comporta isotrópicamente en el sentido horizontal, en la Figura 3 se representa la distribución espacial horizontal de la *Da*, para las cuatro profundidades.

Los primeros 5 cm exhibieron menor variabilidad con valores entre 0,72 y 0,79 g cm⁻³, los cuales según Salamanca *et al.* (17) estarían por encima del rango óptimo (0,66 - 0,72 g cm⁻³) para el crecimiento del café en la unidad Chinchiná, con posibles efectos negativos en la producción de biomasa de la planta y el peso seco de las raíces. No obstante, el extremo Sureste (SO) del lote

presentó valores desde 0,65 hasta 0,72 g cm⁻³, los cuales estarían relacionados con una zona de acumulación de materia orgánica, que estaría favoreciendo el normal crecimiento del cultivo del café en esta parte del lote.

En la profundidad de 5-10 cm se observa mayor variabilidad espacial de la *Da* con valores mayores a 0,79 g cm⁻³, en la parte Noreste (NO) del lote, siendo similares a los encontrados por Salamanca y Sadeghian (18) en estudios realizados en otros suelos de la unidad Chinchiná, y que según Salamanca *et al.* (17) serían desfavorables para el desarrollo radical y crecimiento del café. La parte central del lote presentó valores de *Da* entre 0,72 y 0,79 g cm⁻³, los cuales según Salamanca *et al.* (17), en suelos de la unidad Chinchiná dificultan la absorción de nutrientes como Ca, Mg y Cu en el cultivo del café. En casi toda la parte Sur (S) se encontraron densidades entre a 0,65 y 0,72 g cm⁻³, consideradas dentro del óptimo para el crecimiento del café en esta unidad de suelo (17).

En la profundidad de 10-20 cm hubo variabilidad de la *Da* hacia el centro y sur del lote, con valores entre 0,65 y 0,72 g cm⁻³, los cuales están dentro del rango óptimo para el crecimiento del cultivo del café. En las partes N y SE del lote los valores hallados fueron similares (0,72-0,79 g cm⁻³) a los observados en las profundidades superiores, los cuales son reportados en este tipo de suelos como limitantes para el crecimiento

óptimo y la adecuada absorción de nutrientes del cultivo del café (17).

En la profundidad de 20-30 cm se observó la mayor variabilidad espacial de la *Da*, con valores entre 0,72 y 0,79 g cm⁻³ en las partes

SO, N, centro y SE, similar a los encontrados de 10-20 cm; las densidades más altas (> 0,79 g cm⁻³) se encontraron en las partes NO y N E, mientras que en una mínima porción de la parte S del lote se hallaron los valores óptimos para el crecimiento del café (0,65-0,72 g cm⁻³) (17).

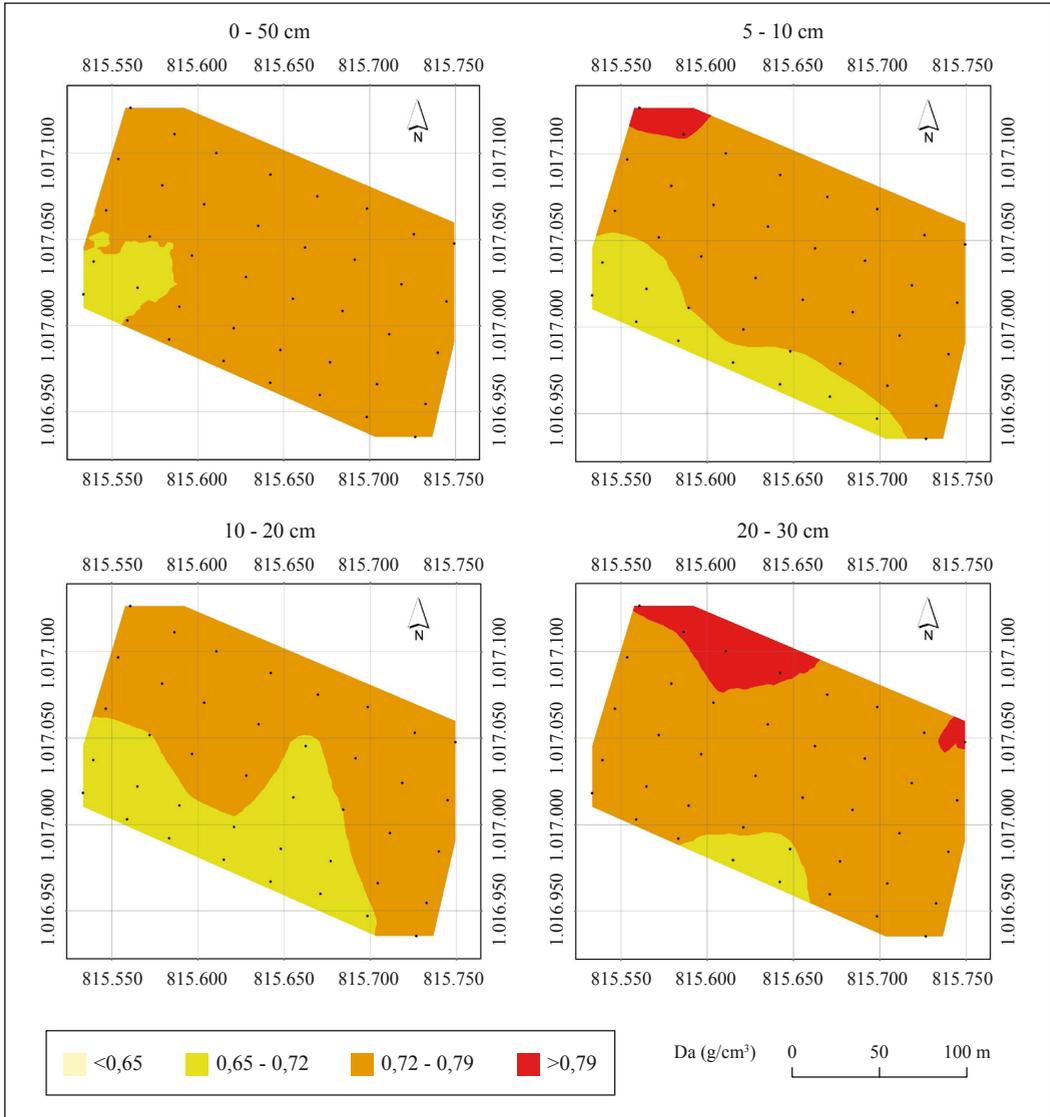


Figura 3. Mapas de variabilidad espacial de la *Da* para cuatro profundidades en un lote de café ubicado en suelo de la unidad Chinchiná.

En general, la distribución vertical de la variabilidad de la *Da* en la unidad Chinchiná, muestra gran homogeneidad a través del perfil (vertical) y una ligera tendencia a aumentar tanto sus valores como la variabilidad misma al profundizar el perfil, con valores más bajos hacia el S y valores más altos en la parte N del lote. Esta tendencia puede asociarse en parte con la topografía del lote, que presenta una pendiente desde el SE hacia el NO, y que a través del tiempo ha dado lugar a una mayor acumulación de materia orgánica en las partes bajas y, por ende, a una menor *Da* o viceversa, una menor acumulación de materia orgánica con incrementos en la *Da* en ciertos sectores del lote.

Dado que para los cultivos ya establecidos es menos factible modificar la *Da* del suelo, en busca de brindar condiciones más favorables para futuras plantaciones, para aquellas zonas indicadas mas limitantes se recomienda la aplicación de material orgánico o vegetal en el hoyo, que permita reducir los valores de *Da* hasta aquellos considerados óptimos para el desarrollo de raíces y, por consiguiente, obtener una mejor producción del cultivo. Lo anterior, siguiendo las recomendaciones

para una implementación de manejo por sitio específico, de aquellas limitaciones que afectan el rendimiento como lo señala Bertsch *et al.* (4).

Unidad 200. En la Tabla 3 se presentan los estadísticos determinados para los valores de *Da* evaluados en cada una de las profundidades estudiadas en el suelo de la unidad 200.

En comparación con el suelo de la unidad Chinchiná, en este suelo se encontraron mayores valores de *Da* a través del perfil y una mayor variación de los datos con coeficientes entre 18% y 23%. No obstante, los valores de asimetría y curtosis cercanos a cero, permiten afirmar que los datos se encontraron dentro de una distribución normal y que es posible aplicar herramientas geoestadísticas para su explicación.

Los promedios de los valores de *Da* para este suelo también presentaron pocas variaciones a través de las profundidades estudiadas (primeros 30 cm) (Figura 4), mientras que la humedad gravimétrica se incrementó al profundizar el perfil, como posible consecuencia de una mayor extracción

Tabla 3. Estadística descriptiva para los datos de *Da* registrados por cada profundidad en la unidad 200.

Estadístico	Profundidad (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-30
Media	0,84	0,83	0,83	0,84
Error estándar	0,02	0,03	0,03	0,03
Mediana	0,85	0,84	0,83	0,83
Desviación estándar	0,16	0,19	0,18	0,19
Coefficiente variación	18,79	22,64	21,64	22,31
Mínimo	0,57	0,51	0,54	0,56
Máximo	1,13	1,22	1,30	1,31
Asimetría	-1,28	-0,98	-0,10	-0,39
Curtosis	0,02	0,16	0,47	0,35

del agua por las raíces, unida a una mayor evaporación en las capas superficiales, asociada a la mayor pendiente del terreno y los menores contenidos de materia orgánica determinados en algún grado por la mayor exposición de la superficie a la acción del sol.

Los semivariogramas obtenidos para la *Da* en este suelo determinaron un mayor grado de dependencia espacial en todas las profundidades evaluadas, asociada principalmente con la distancia de muestreo (Tabla 4).

Los valores del rango o distancia de muestreo en la horizontal requerida para hallar variabilidad espacial en el suelo de

la unidad 200, indican que este valor fue menor en la horizontal pero más variable en la vertical, en comparación con la unidad Chinchiná. Todos estos valores son bajos si se comparan con el rango de 540 m reportado por Vásquez *et al.* (22), pero similares a aquellos reportados por Usowicz y Lipiec (21), con valores alrededor de 120 m. Los modelos de mejor ajuste para los semivariogramas fueron del tipo esférico, lo que concuerda con lo propuesto por Barrios y Florentino (2) en cuanto a modelos para explicar la variación de la *Da* tanto en sentido horizontal como vertical.

Los mapas correspondientes a la variabilidad horizontal de la *Da* y obtenidos mediante

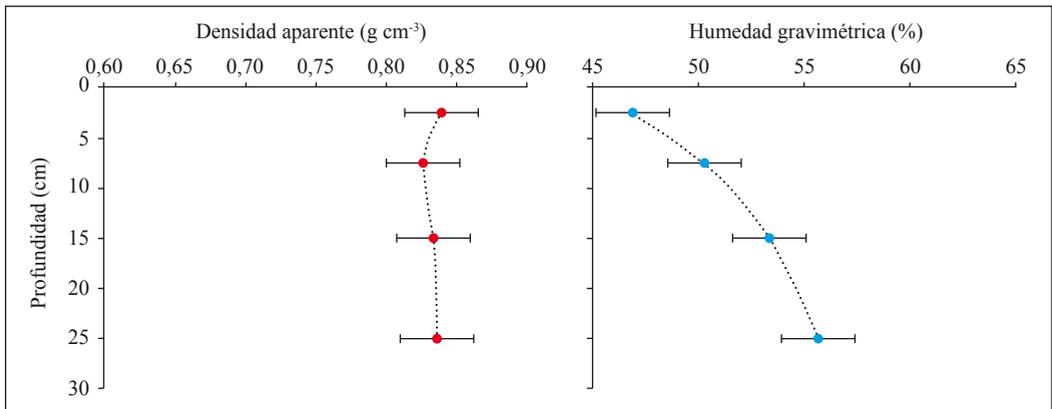


Figura 3. *Da* y humedad gravimétrica del suelo a través del perfil en la unidad 200 (las barras corresponden al error estándar para cada profundidad).

Tabla 4. Parámetros de los semivariogramas para la *Da* en la unidad 200.

Prof (cm)	Modelo	Alcance	Varianza aleatoria	Varianza parcial	GDE* %	Dependencia espacial
0-5	Esférico	92	0,0041	0,0258	16	Fuerte
5-10	Esférico	113	0,0088	0,0324	27	Moderada
10-20	Esférico	112	0,0075	0,0304	25	Fuerte
20-30	Esférico	103	0,0131	0,0256	51	Moderada

* GDE: Grado de dependencia espacial según Cambardella *et al.* (5).

extrapolación para cada una de las profundidades en la unidad 200 se presentan en la Figura 4. Para la profundidad de 0-5 cm, se encontró una mayor variación hacia las partes N, S y SE, con valores entre 0,9 y 1,1 g cm⁻³, los cuales podrían considerarse altos para este tipo de suelos. Los valores inferiores a 0,7 g cm⁻³ se registraron en la parte central del lote y estuvieron relacionados con la topografía del lote, ya que en esta parte se encuentra una depresión natural del terreno que se convierte en zona de acumulación de materia orgánica y que conlleva a disminuir su *Da* (12).

En las profundidades de 5-10, 10-20 y 20-30 cm se encontró una variación espacial de la *Da* similar a la mencionada en la profundidad de 0-5 cm, donde en las partes N, S y SE, se encontraron valores entre 0,9 a 1,1 g cm⁻³, y hacia el centro valores por debajo de 0,7 g cm⁻³, los cuales, a su vez, se encuentran por debajo de los promedios reportados para esta unidad de suelo (6).

Similar a lo reportado por Fu *et al.* (8) en otros sitios, la variabilidad en esta unidad de suelo puede asociarse con la pendiente del terreno y el manejo mismo de los lotes, ya que los valores más altos se observaron en las áreas de mayor pendiente hacia la parte N del lote, sin que existan reportes o evidencias de limitaciones para las raíces del café.

Para las dos unidades de suelo a pesar de haber una tendencia de aumento de la *Da* a través de las profundidades esta variación vertical no fue significativa, por lo que para condiciones similares a los lotes estudiados en las unidades Chinchiná y 200 no es necesario tomar varias muestras de la *Da* a diferentes profundidades; incluso con la toma de una sola muestra de 0-30 cm

se podría estimar la variabilidad espacial de la *Da* en la zona de crecimiento de raíces del café.

Los semivariogramas revelaron un menor grado de dependencia espacial en los valores de la *Da* en el suelo de la unidad Chinchiná, en comparación con aquellos de la unidad 200. Dicha variación horizontal fue asociada con los contenidos de materia orgánica, que en las zonas de alta pendiente tienen menor acumulación, lo cual aumenta la densidad, mientras que en los puntos de menor pendiente hay mayor acumulación de la materia orgánica y donde la *Da* tiende a ser menor.

Los modelos teóricos para todas las profundidades en los dos suelos fueron del tipo esférico y de acuerdo con los valores del rango, la distancia óptima de muestreo que define la variabilidad espacial de la *Da* en el suelo de la unidad Chinchiná es de 289, 148, 123 y 113 m, para las profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 y 20-30 cm, respectivamente, mientras que en el suelo de la unidad 200 dichos valores corresponden a 92, 112, 112 y 103 m, en las profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 y 20-30 cm, respectivamente.

Tal como lo afirman Barrios y Florentino (2) y Usowicz y Lipiec (21), los mapas obtenidos utilizando Kriging permiten identificar lugares donde pueden concentrarse factores adversos para la producción de los cultivos, permiten determinar estrategias de manejo por sitio específico y hacer que su aplicación a nivel de lote cafetero sea más efectiva. En este sentido, para zonas con altas densidades de los dos suelos estudiados, se considera una oportunidad para que en futuras siembras lleguen a incorporarse cantidades importantes de materiales orgánicos en el hoyo, con el fin de reducir tales limitaciones y mejorar el desempeño de las plantas durante todo el ciclo del cultivo.

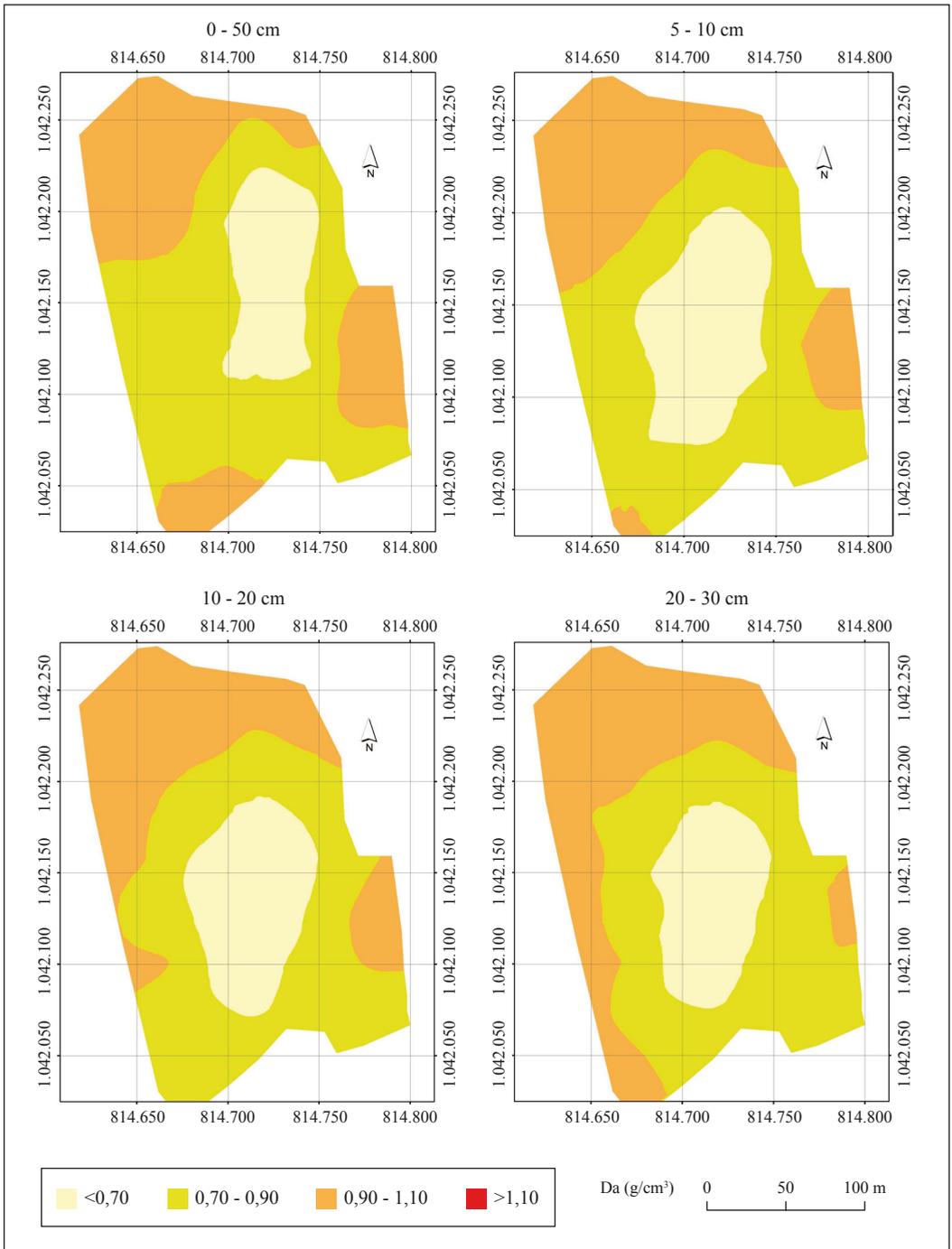


Figura 4. Mapas de variabilidad espacial de la Da para cuatro profundidades a nivel de lote cafetero ubicado en un suelo de la unidad 200.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a aquellas instituciones y personas que contribuyeron para la realización de este estudio, especialmente a la ONG Solidaridad Andes (doctor Carlos Isaza) por la cofinanciación, al Comité Departamental de Cafeteros de Risaralda por el apoyo, a los propietarios de la finca en Marsella por la colaboración, y a los compañeros de la Disciplina de Suelos de Cenicafé que ayudaron con la obtención de las muestras y la especialización de los datos.

LITERATURA CITADA

1. ALVARADO, A.; FORSYTHE, W. Variación de la densidad aparente en órdenes de suelo de Costa Rica. *Agronomía costarricense* 29(1):85-94. 2005.
2. BARRIOS, R.; FLORENTINO, A. Variabilidad espacial de las propiedades físicas de dos suelos cultivados con palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela. *UDO Agrícola* 9(4):912-924. 2009.
3. BEHERA, S.K.; SINGH, M.V.; SINGH, K.N.; TODWAL, S. Distribution variability of total and extractable zinc in cultivated acid soils of India and their relationship with some selected soil properties. *Geoderma* 162:242-250. 2011.
4. BERTSCH, F.; HENRÍQUEZ, C.; RAMÍREZ, F.; SANCHO, F. Site-specific nutrient management in the highlands of Cartago province. *Better crops international* 16(1):16-19. 2002.
5. CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil of soil properties in central Iowa soils. *Soil science society America journal* 58(5):1501-1511. 1994.
6. FNC. Estudio de zonificación y uso del suelo en la zona cafetera del departamento de Risaralda. *Manizales: Cenicafé*, 1988. 265 p.
7. FORSYTHE, W.; DÍAZ R., R. La densidad aparente del suelo y la interpretación de análisis de laboratorio para el campo. *Turrialba* 19(1):128-131. 1969.
8. FU, W.; TUNNEY, H.; ZHANG, C. Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. *Soil and tillage research* 106:185-193. 2010.
9. HENRÍQUEZ, M.; VILORIA, J. Numero de observaciones para obtener semivariogramas de algunas propiedades de suelo y distancia de muestreo. *Agronomía tropical* 49(1):5-17. 1999.
10. HOSSNE, G.; AMERICO, J. La densidad aparente y sus implicaciones agrícolas en el proceso expansión/contracción del suelo. *Terra latinoamericana* 26(3):195-202. 2008.
11. IGAC. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 6a. ed. Bogotá: IGAC, 2009. 648 p.
12. MURRAY, R.; BOJÓRQUEZ, J.; HERNÁNDEZ, A.; OROZCO, M.; GARCÍA, J.; GÓMEZ, R.; ONTIVEROS, H.; AGUIRRE, J. Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México. *Bio ciencias* 1(3):27-35. 2011.
13. NIELSEN, D.; WENDROTH, O. Spatial and temporal statistics: Sampling field soils and their vegetation. *Reiskirchen : Catena-Verlag*, 2003. 614 p.
14. RAMÍREZ L., L.; REINA S., A.; CAMACHO T., J.H. Variabilidad espacial de atributos físicos de un Typic Haplustox de los Llanos orientales de Colombia. *Engenharia agrícola* 28(1):55-63. 2008.
15. REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil tillage research* 102:242-254. 2009.
16. SADEGHIAN K., S. La materia orgánica: Componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. *Manizales: Cenicafé*, 2010. 61 p.
17. SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S.; AMÉZQUITA, C. Densidad aparente de dos suelos de la zona cafetera y efecto sobre el crecimiento del café. *Cenicafé* 55(4):330-340. 2004.
18. SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 56(4):381-379. 2005.
19. SEGUEL, O.; GARCÍA, V.; CASANOVA, M. Variación en el tiempo de las propiedades físicas de un suelo con adición de enmiendas orgánicas. *Agricultura técnica* 63(3):287-291. 2003.

20. SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Degree of compactness, soil physical properties and yield of soybean in six soils under no-tillage. *Soil research* 51:311-321. 2013.
21. USOWICZ, B.; LIPIEC, J. Spatial variability of soil properties and cereal yield in a cultivated field on sandy soil. *Soil and tillage research* 174:241-250. 2017.
22. VÁSQUEZ, J.; BAENA, D.; MENJIVAR, J. Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la universidad del Magdalena (Santa Marta, Colombia). *Acta agronómica* 59(4):449-456. 2010.
23. VENANZI, S.; VALLATI, A.; KRUGER, H. Crecimiento temprano en trigo en función de la densidad aparente del suelo. [En línea]. Buenos Aires: Agrositio, 2001. Disponible en internet: <http://www.agrositio.com/vertext/vertext.php?id=75010&se=19>. Consultado en junio de 2018.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA
GERENCIA TÉCNICA
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
Centro Nacional de Investigaciones de Café
“Pedro Uribe Mejía”

DIRECCIÓN

Álvaro León Gaitán B., Microbiólogo, Ph.D.
Ángela Jaramillo G., Prof. en Comercio Internacional, Esp.

DISCIPLINAS DE INVESTIGACIÓN

Calidad

Gloria Inés Puerta Q., Ing. Química, Ing. Alimentos, M.Sc.
Valentina Osorio P., Ing. Alimentos, Esp.
Claudia Patricia Gallego A., Bacterióloga
Luz Fanny Echeverry G., Química
Jenny Paola Pabón U., Ing. Agrícola, M.Sc.
Claudia Rocío Gómez P., Tecnóloga Química
Alexis Urriago Y., Técnico en Producción Agrícola
Paola Andrea Calderón T., Tecnólogo en Producción Agropecuaria Ecológica

Fisiología Vegetal

José Ricardo Acuña Z., Biólogo Ph.D.
Aristóteles Ortiz., Químico, M.Sc.
Carlos Andrés Unigarro M., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Natalia Catalina Flechas B., Bióloga
Mauricio Jiménez S., Ing. Agrónomo
Marlío Fernando Abella D., Agrónomo
Marta Bibiana Escobar P., Tecnóloga Química
Claudia Patricia Valencia V., Técnico en producción de café
Claudia Marcela Mora A.
Mario Franco A.
Sebastián Grajales H., Pasante Universitario
Sebastián Quiceno G., Pasante Universitario

Suelos

Siavosh Sadeghian K., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Hernán González O., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Luis Fernando Salazar G., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Luz Adriana Lince S., Ing. Agrónomo, Geóloga, M.Sc.
Vanessa Catalina Díaz P., Química, Esp.
Víctor Félix Alarcón T., Ing. Agrícola
Leina Carina Vitobis A., Agrónomo
Johan Cuervo C., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Juan Carmilo Rey S., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Claudia Marcela Ospina F., Tecnóloga Química
Rigoberto Ochoa I., Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias
Stephanía Rincón B., Tecnóloga Química
Sebastián García B. Tecnólogo en Gestión de Recursos Naturales
Arturo Gómez V.
Laura Marcela Restrepo P., Aprendiz Universitario

Fitotecnia

Francisco Fernando Farfán V., Ing. Agrónomo, M.Sc.
José Raúl Rendón S., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Fabio Alexis Torres A., Ing. Agrónomo, Esp.
Jorge Alexis Ramos P., Ing. Agrícola, Esp.
Cristian Salomón Rodríguez V., Ing. Agrónomo
Andrés Felipe León B., Ing. Agrónomo
Rocío Espinosa A., Médico Veterinario y Zootecnista
Andrés Mauricio López L., Médico Veterinario y Zootecnista, M.Sc.
Carlos Augusto Ramírez C., Técnico Profesional en Técnicas Forestales
Gabriel Santiago Gil M., Tecnólogo en Producción Agrícola
Juan Gilberto Vargas P., Tecnólogo en Producción Agrícola
Diego Javier Trujillo A., Tecnólogo en Producción Agrícola

Mejoramiento Genético

Claudia Patricia Flórez R., Ing. Agrónomo Ph.D.
Diana María Molina V., Bacterióloga Ph.D.
María del Pilar Moncada B., Ing. Agrónomo Ph. D
Carlos Ernesto Maldonado L., Ing. Agrónomo M.Sc.
Juan Carlos Arias S., Ing. Agrónomo M.Sc.
Andrea Valencia O., Bióloga M.Sc.
Hernando A. Cortina G., Ing. Agrónomo M.Sc
Julio Quiroga C., Ing. Agrónomo M.Sc
Luisa Fernanda López M., Ing. Agrónomo
Conrado Antonio Quintero D., Administrador Financiero
Carlos Augusto Vera A., Administrador Financiero
Jairo Jaramillo O., Ing. Mecatrónica
Gilbert Rodríguez Q., Técnico Profesional en Desarrollo de Producción Pecuaría
Jhon Esteban Cuintero A., Técnico en Producción de Café
Jhon Jairo Cuellar V., Tecnólogo en Producción Agrícola
Hernán Díaz C.
Cruz Elena Díaz M.
Omar Villarreal
Jesús David Gómez P., Pasante Universitario
Lorena Muñoz A., Pasante Universitario
Marcela Escudero C., Pasante Universitario

Entomología

Pablo Benavides M., Ing. Agrónomo Ph.D.
Carmenza E. Góngora B., Microbióloga Ph.D.
Zulma Nancy Gil P., Ing. Agrónomo Ph.D.
Marisol Giraldo J., Ing. Agrónomo Ph.D.
Flor Edith Acevedo B., Ing. Agrónomo Ph.D.
Lucio Navarro E., Biólogo, Ph.D
Luis Miguel Constantino C., Biólogo Entomólogo, M.Sc.
Leidy Johanna Tapias I., Química Industrial, M.Sc.
Aníbal Arcila M., Ing. Agrónomo
Ferny López F., Ing. Agrónomo/Contador
Laura Alexandra Laiton J., Ing. Agrónomo
Jorge Luis Jaramillo G., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Jesús Hernando Gómez L., Biólogo
Juan Diego Maldonado C., Biólogo
Mauricio Jiménez Q., Agrónomo

Adriana Paola Gómez C., Tecnólogo en Administración y Producción Limpia de Café
Juan Paulo Pimentel S., Tecnólogo en Administración de Empresas Agropecuarias
Diana Soraya Rodríguez A., Técnico en Producción de Café
Wilmar Osorio C., Tecnólogo en Gestión de Empresas Agropecuarias
Luis Eduardo Escobar S., Tecnólogo en Gestión Agropecuaria
Juan Carlos Ortiz F.
Carlos Alberto Quintero A.
Claudia Bibiana Tabares B.
Faber de Los Ríos P.
Diana Marcela Giraldo V.

Agroclimatología

Juan Carlos García L., Ing. Agrónomo, Ph.D
Álvaro Jaramillo R., Ing. Agrónomo, M.Sc
Ninibeth Gibelli Sarmiento H., Ing. Agrícola
Pablo Jaramillo R., Ing. Ambiental
Stephan Andrés Salazar A., Ing. Agrícola
Jonnier Alejandro Hoyos A., Tecnólogo en Gestión Agropecuaria
Wilmar A. Rendón G., Tecnólogo en Sistemas Informáticos
Myriam Giraldo M.
Luis Gonzaga Henao R.
Luis Fernando Torres Q.
Orlando Salazar G.

Fitopatología

Carlos Ariel Ángel C., Ing. Agrónomo, Ph.D.
Rosa Lilia Ferrucho, Ing. Agrónoma, Ph.D.
Nancy del Carmen Arciniegas B., Ing. Agrónoma, M.Sc.
Gustavo Adolfo Marín R., Ing. Agrónomo, M.Sc
Carlos Alberto Rivillas O., Ing. Agrónomo, M.Sc.
Carlos Mario Calle, Ing. Agrónomo, M.Sc.
Isabel Cristina Ramírez P., Ing. Agrónomo
Carlos Alberto Zuluaga E., Técnico en Mantenimiento de Computadores y Redes de datos.
Alejandro Gallego O., Tecnólogo en Gestión Agropecuaria
Carlos Arturo González V.
Jorge Dicksson Ocampo M.
Jaroliver Cardona G.
Alexander Jaramillo J.
Luisa Fernanda Silva G., Aprendiz

Poscosecha

Juan Rodrigo Sanz U., Ing. Mecánico, Ph.D.
Carlos Eugenio Oliveros T., Ing. Agrícola, Ph.D.
Nelson Rodríguez V., Ing. Químico, Ph.D.
Paula Jimena Ramos G., Ing. Electrónico, Ph.D
César Augusto Ramírez G., Arquitecto, M.Sc.
Aída Esther Peñuela M., Ing. Alimentos, M.Sc.
Juan Carlos López N., Microbiólogo, M.Sc
Álvaro Guerrero A., Ing. Electrónico/Electricista, M.Sc
Diego Antonio Zambrano F., Ing. Químico
Laura Vanessa Quintero Y., Ing. Química, M.Sc
Carlos Alfonso Tibaduiza V., Ing. Agrícola, M.Sc
Ricardo José Grisales M., Tecnólogo en Electrónica
Jorge Alexander Londoño C., Técnico en Soldadura por Arco y por Soplete
Mario Espinosa G.
Javier Velásquez H.
Samuel Castañeda
Andrés Felipe Rincón H., Aprendiz

EXPERIMENTACIÓN

Carlos Gonzalo Mejía M., Administrador de Empresas Agropecuarias, M.Sc.
José Farid López D., Tecnólogo en Administración Agropecuaria
Yolanda Castaño G.

Estación Experimental Naranjal

Jhon Félix Trejos P., Ing. Agrónomo
Melsar Danilo Santamaría B., Ing. de Alimentos
Tito Alberto Ramírez S.

Estación Experimental El Tambo

Hernán Darío Menza F., Ing. Agrónomo, M.Sc.

Estación Experimental El Rosario

Carlos Mario Ospina P., Ing. Forestal, M.Sc.

Estación Experimental La Catalina

Diego Fabián Montoya., Agrónomo
Francisco Javier Álzate O.
Vidal de Jesús Largo T.

Estación Experimental La Trinidad

Carlos Julio Ramírez Q., Ing. Agrónomo

Estación Experimental Paraguaito

Myriam Cañón H., Ing. Agrónomo
Daniel Antonio Franco C., Agrónomo

Estación Experimental Pueblo Bello

José Enrique Baute B., Ing. Agrónomo

Estación Experimental San Antonio

Carlos Roberto Ariza O., Ing. Agrónomo, Esp.

APOYO A LA INVESTIGACIÓN

Biometría

Rubén Darío Medina R., Estadístico M.Sc.
Esther Cecilia Montoya R., Estadístico M.Sc.
Hernando García O., Ing. Agroforestal

Economía

Hugo Mauricio Salazar E., Ing. Agrónomo, M.Sc.
César Alberto Serna G., Contador, M.Sc.
Juan Carlos Gómez S., Contador, Ing. Agrónomo, M.Sc

Divulgación y Transferencia

Sandra Milena Marín L., Ing. Agrónoma, M.Sc.
Jair Montoya T., Administrador de Empresas, M.Sc.
Carmenza Bacca R., Diseñadora Visual
Óscar Jaime Loaiza E., Diseñador Visual
Luz Adriana Álvarez M., Diseñadora Visual
Paula Andrea Salgado V., Administrador Financiero
Valentina Núñez P., Aprendiz

Unidad de Gestión de Proyectos

Cristy Mayerly González D., Ing. Ambiental
Josué David Espitia F., Economista

Tecnología de la Información y Comunicaciones

Luis Ignacio Estrada H., Ing. Químico
Carlos Hernán Gallego Z., Ing. de Sistemas, Esp.

Alma Patricia Henao T., Lic. en Lenguas Modernas, Bibliotecóloga, Esp.
Elkin Marcelo Valencia L., Ing. de Sistemas, Esp.
Daniel Orozco J., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
Leonardo Adolfo Velásquez N., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
Kevin Adolfo Hincapié V., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
Andrés Felipe Ramírez M., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
José Rubiel Castrillón G., Ing. de Sistemas y Telecomunicaciones, Esp.
Auberto Quiroga M., Biólogo, Esp.
Juan Camilo Espinosa O., Ing. Topográfico, Esp.
Juan Pablo Carvajal B., Ing. Electrónico
Luz Ángela Fernández R., Licenciada en Psicopedagogía
Jorge Wilmar Valencia G., Tecnólogo en Análisis y Desarrollo de Sistemas de Información

UNIDAD ADMINISTRATIVA Y FINANCIERA

Luz Miryam Corredor R., Administradora de Empresas, Contador Público, Esp.
Rufina Perdomo G.
Nancy Elena Pérez M., Contador

Gestión Contable y Tributaria

Martha Elena Vélez H., Contadora, Esp.
Jesús Danilo González O., Contador, Esp.
Luis Alfredo Amaya F., Administrador Público
Daniela López O., Contadora, Esp.
Diana Marcela Buitrago R., Administración de empresas
Lina Marcela Patiño G., Tecnóloga en Gestión Administrativa
Verónica Alejandra Velásquez B., Aprendiz
Carlos Felipe Galvis C., Aprendiz

Gestión de Bienes y Servicios Contratación

Juan David Álzate O., Economista, M.Sc.
Mauricio Loaiza M., Ing. Industrial
Juan Manuel Meza S., Administrador de empresas, Esp.
Lina María Giraldo, Administrador financiero
Diego Alejandro Muñoz G., Economista

Luz Stella Duque C., Tecnóloga en Administración de Negocios

Jesús Alberto Vergara T., Técnico en Sistemas
Gabriel Antonio Melo P.
Francy Giraldo G., Aprendiz
Gelen Eliana Arias R., Aprendiz

Gestión de Bienes y Servicios-Mantenimiento

Óscar Fernando Ramírez C., Ing. Mecatrónica
Paulo Alejandro Arias C., Ing. Electricista, Esp.
Cristian Andrés Chica G., Ing. Mecatrónica
Robinson Guzmán G., Técnico Electricista
Jorge Hernán Marulanda E., Tecnólogo en Electrónica
Gabriel Hernando Ortiz C., Tecnólogo en Gestión Bancaria y Financiera
Albert Johanne Agudelo L. Tecnólogo en Electrónica
Uriel López P.
Rogelio Rodríguez G.
Eduardo Villegas A.
Fredy Hernán Osorio C.
Jhon Fredy Rojo G.
Jorge Eduardo Sepúlveda V.
Jorge Antonio Arias A.
Carlos Andrés Hernández G.
Fabián Sánchez L.
Mario López L.
Natalia Rengifo G., Aprendiz

Gestión de Tesorería

Carlos Andrés Pineda M., Contador Esp.

Gestión del Talento Humano

Érica Mayerly Galvis R., Trabajadora Social, M.Sc.
Elsa Natalia Quintero C., Profesional en Salud Ocupacional, M.Sc.
Luz Yaneth Guarín C., Tecnóloga en Administración de Negocios
Germán Uriel Granada, Administrador de Empresas, Esp.
Esteban Mejía N., Aprendiz Universitario

Planeación Financiera y Presupuesto

Jesús Alberto Cardona L., Ing. Industrial, M.Sc. PMP®
Juan Manuel Muñoz O., Administrador de empresas, M.Sc
Valentina Sepúlveda C., Ingeniera Industrial, Esp. PMP®
Astrid Yuliana Ortiz R., Administradora de Empresas, Esp.

Instructivo para la elaboración de los artículos de la Revista Cenicafé

TEXTOS

- Digite los textos, no los diagrame
- Cuando cite la palabra Cenicafé, escriba la primera letra en mayúscula y las siguientes en minúsculas
- Los nombres científicos se escriben en letra itálica o cursiva; la primera letra debe ir en mayúscula, ejemplo: *Beauveria bassiana*
- Las palabras *et al.*, *in vitro* y cualquier otra locución latina se escriben en letra itálica o cursiva
- El estilo de escritura debe ser absolutamente impersonal, en tiempo gramatical pasado, evitando la conjugación de verbos en primera o tercera persona del singular o el plural
- Las ecuaciones deben nombrarse y enumerarse mediante el siguiente modelo matemático <>:
 $A = R \times K \times S \times L \times C \times P <1>$
- Si se emplean siglas y abreviaturas poco conocidas, se indicará su significado la primera vez que se mencionen en el texto y en las demás menciones bastará con la sigla o abreviatura
- Evite al máximo el uso de nuevas siglas poco conocidas

TABLAS Y FIGURAS

- Elabore las tablas en el formato de tabla de word o de excel
- No las incluya en el documento como fotos o imágenes
- Las cifras decimales sepárelas con una coma, no con punto
- Las tablas deben titularse en la parte superior y al enunciarla en el texto, la palabra se debe escribir con la primera letra en mayúscula, ejemplo: Tabla 10
- Las tablas deben crearse en blanco y negro
- Como norma general, las figuras deben titularse en la parte inferior, y cuando enuncie la figura en el texto, la palabra se debe escribir con la primera letra en mayúscula, ejemplo: Figura 10
- Las fotografías se deben tomar con el mayor tamaño (número de píxeles) y la mejor calidad (Fine) posibles, ya que esto asegura mejores impresiones de informes, pósteres o publicaciones
- Las fotografías deben nombrarse con el autor y su descripción
- Las tablas y figuras deben presentarse en archivos independientes y con numeración consecutiva (Tabla 1... Tabla n; Figura 1... Figura n, etc.)
- Los textos y tablas deben presentarse en el procesador de palabra Word
- Las tablas y los diagramas de frecuencia (barras y torta) originales deben suministrarse en el archivo del manuscrito y también en su original de Excel
- Otras figuras, como fotografías sobre papel y dibujos, se pueden enviar en originales o escanearlas y remitirlas en el formato digital de compresión JPG, preferiblemente con una resolución de 600 x 600 dpi (mínimo 300 dpi)

ECUACIONES

- Use una sola letra para denotar una variable y emplee subíndices para particularizar
- Para las variables utilice letra itálica
- El producto no se denota con *. Use solamente espacios
- Las matrices y vectores se denotan con letra en negrilla e itálica

SISTEMA DE UNIDADES

- En los productos de investigación a divulgar se utiliza exclusivamente el Sistema Métrico Decimal (SI), además de las unidades específicas de mayor uso por parte de la comunidad científica.
- Los puntos de multiplicación y los números superíndice negativos pueden ser usados solamente con unidades del SI (por ejemplo, $m^3 \cdot s^{-1}$ y no m^3s^{-1} , que podría indicar milisegundos).

- No se debe interrumpir la notación de unidades del SI con símbolos que no corresponden a unidades del sistema internacional ni con palabras diferentes, porque las unidades son expresiones matemáticas. Reordene la frase apropiadamente, por ejemplo así:
 - _ El rendimiento en peso seco fue de 5 g.día⁻¹, y no 5 g de peso seco.día⁻¹
 - _ Se aplicaron 25 g.ha⁻¹ del ingrediente activo, y no 25 g i.a./ha
 - _ Cada planta recibió 20 g.ha⁻¹ de agua, y no 20 g H₂O/ha por planta
- Use la línea oblicua o *slash* (/) para conectar unidades del SI con unidades que no son del SI (por ejemplo: 10 °C/h ó 10 L/materia)
- Nunca use el punto elevado (.) y el *slash* en la misma expresión. Si se hallan mezcladas unidades del SI con unidades que no son del SI, use primero el slash y luego la palabra 'por' en segundo término.
- Nunca utilice dos o más líneas oblicuas o *slashes* (/) o la palabra 'por' más que una vez en la misma frase, pues estos dos términos son equivalentes; por ejemplo en cepilladas/día por planta, redacte la frase así: cada planta fue cepillada dos veces al día. Para unidades totalmente verbales, use un slash, como en 3 flores/planta ó 10 frutos/rama
- Use la misma abreviatura o símbolo para las formas en singular o plural de una unidad determinada (por ejemplo, 1 kg y 25 kg). Deje un espacio entre el valor numérico y el símbolo (por ejemplo, 35 g y no 35g). En una serie de medidas ponga la unidad al final (excepto para el signo de porcentaje) así: entre 14 y 20°C o hileras a 3, 6 y 9 m, pero 14%, 16% y 18%
- En las publicaciones se emplea la coma (,) para separar decimales y el punto (.), para separar miles y millones

BIBLIOGRAFÍA

Antes de enviar las propuestas de publicaciones tenga en cuenta los siguientes modelos para citar las bibliografías, de acuerdo con los criterios determinados por el Comité Editorial de Cenicafé.

Libros, folletos y monografías

- Autor(es) . Título : Subtítulo. No. de edición. Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs.

Partes o capítulo de un libro

- Autor(es) del capítulo o parte. Título del capítulo o parte : Subtítulo. Paginación de la parte citada. En: Compilador(es) o editor(es) del trabajo general . Título del trabajo general: Subtítulo. No. de edición. Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs. del libro.

Ponencias

- Autor(es) ponencia, congreso, etc . Título de la ponencia, etc. : Subtítulo. Paginación de la parte citada. En: Título oficial del congreso, simposio, etc . (No. arábigo correspondiente al congreso : fecha y año de realización : ciudad donde se realizó). Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs.

Trabajos de grado

- Autor(es) del trabajo. Título : Subtítulo. Ciudad : Institución universitaria que otorga el título. Facultad o Escuela, Fecha. No. total de págs. Trabajo de grado: título recibido.

Congresos, Seminarios, Simposios

- Nombre del congreso en mayúscula sostenida la primera palabra : Memorias, Actas, Procedimientos, etc. (No. Arábigo correspondiente al congreso : fecha y año de realización : ciudad donde se realizó). Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs.

Artículos de revistas

- Autor(es) . Título del artículo : Subtítulo . Título de la revista. Volumen(número):Pág. inicial-pág.final del artículo. Año

Separatas y reimpresos

- Autor(es). Título de la separata : Subtítulo. En: Título de la publicación de la cual se extrae la separata Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha) si es un libro, o, Volumen y/o número si es una revista Año. (separata). No. Total de págs.

Boletines y Publicaciones en serie

- Autor(es) . Título : Subtítulo . Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). No. total de págs. (Avances Técnicos, Boletín Técnico, Circular, etc. No. 00).

Normas

- Autor(es). Título : Subtítulo. Pie de imprenta (Ciudad : Editorial, Fecha). (NTC 000). No. de págs.

Documentos electrónicos

- Autor(es). Título : Subtítulo. [En línea]. Lugar de publicación : Publicador, fecha. Disponible en internet: <http://www. ...> . Parte de un documento electrónico o registro de base de datos Consultado el ...Fecha de la consulta.

ESTRUCTURA DEL ARTÍCULO CIENTÍFICO

El artículo postulado para su publicación debe ser original o inédito, y de igual manera no puede estar postulado para su publicación en otras revistas

Título – Máximo 16 palabras

- Que sea breve y preciso
- Que identifique el aporte del estudio, es decir, hágalo interesante pero preciso.
- Si se incluye el nombre común o el binomial (científico) de una especie en el título, utilice uno de los dos pero nunca ambos.
- No prometa más de lo que va a entregar
- Evite el uso de subtítulos
- Evite abreviaturas, paréntesis, fórmulas, caracteres desconocidos
- Nombre del (los) autor (es)
- Se debe incluir la profesión y demás títulos obtenidos
- Si el autor o alguno de los autores ya no se encuentra trabajando en Cenicafe, se debe incluir la fecha de retiro (mes y año)
- Proeveer una versión del título en inglés

Resumen – Máximo 250 palabras

- El resumen debe señalar de manera concisa los objetivos, resultados y conclusiones del estudio.
- No debe contener referencias bibliográficas
- Su contenido se debe entender sin tener que recurrir al texto, tablas y figuras
- Al final del resumen deben incluirse de 3 a 6 palabras claves que describan los tópicos más importantes del trabajo, con el fin de facilitar la inclusión en los índices internacionales; las palabras claves no deben estar incluidas en el título

Abstract - Máximo 250 palabras

- Es la versión del resumen traducida al inglés. Debe ser preparado por el autor y debe incluirse

Introducción - Máximo 1.000 palabras

Debe incluir:

- La naturaleza del problema, de manera concisa
- El estado del problema (revisión de literatura)
- Solo deben citarse las referencias estrictamente pertinentes
- No debe incluir datos, ni conclusiones del trabajo
- El propósito de la investigación

Materiales y métodos - Máximo 1.100 palabras

Debe escribirse de tal manera que un investigador con conocimiento del tema pueda repetirlo, que informe al lector cómo fue realizado el estudio y proporcione suficiente información para interpretarlo y evaluarlo.

Esté seguro de no omitir información que pueda afectar la interpretación de los resultados, es decir:

- Describa las condiciones experimentales, precisa y concisamente
- Los detalles del medio ambiente, especímenes, técnicas, materiales y equipos deben considerarse en esta sección del artículo
- Haga énfasis en hechos que sean nuevos
- No entre en detalle cuando se trate de métodos estandarizados de investigación
- Use citas de literatura si son pertinentes
- Si un método estándar ya publicado ha sido modificado, describa la naturaleza de los cambios
- Describa los métodos en la secuencia que va a describir los resultados
- La primera vez que mencione un nombre científico utilice el binomial con el clasificador, ejemplo: *Coffea arabica* L.; de allí en adelante sólo use el género abreviado y escriba la especie, ejemplo: *C. arabica*

- Siempre use el tiempo pasado
- Defina técnicamente las variables y cómo se obtienen
- Describa el diseño experimental o soporte estadístico, de acuerdo con el tipo de investigación
- Describa el análisis de la información
- Describa los criterios de decisión

Resultados y discusión – Máximo 2.500 palabras

En este capítulo se presentan los análisis y la interpretación de los datos obtenidos en la investigación, discutidos según los resultados anteriores. Como guías deben tenerse en cuenta las siguientes:

- Presente los datos en la secuencia abordada en la metodología
- Use tablas o figuras (ilustraciones y gráficas)
- No repita los datos en distintas formas. O están en figuras o en las tablas o en el texto
- Si el contenido total de la tabla puede ser descrito con claridad en el texto, no la presente. La tabla debe contener, al menos una medida de tendencia central, una medida de dispersión o intervalo de confianza, si requiere la prueba de comparación estadística. Al pie de la tabla indicar la prueba de comparación, con su nivel de significación y la descripción de las abreviaturas utilizadas en ella
- Utilice la figura para ilustrar en forma rápida un resultado complejo
- En el caso de ilustrar promedios, utilice los intervalos de confianza. No incluya en las figuras los datos de promedios ni las letras asociadas a la prueba de comparación
- En una misma figura no incluya dos variables dependientes diferentes. Utilice correctamente el plano cartesiano
- Las descripciones de figuras y tablas deben contener la información suficiente para entender los resultados descritos en ellas, sin tener que acudir al texto
- El mensaje central debe ser suficientemente claro
- Indique la aplicación de los resultados
- Interprete los resultados
- Discuta hechos controversiales con objetividad
- Permítale al lector seguir su línea de pensamiento
- Identifique resultados que abran nuevas posibilidades de estudio
- No se sienta obligado a escribir una explicación positiva para cada faceta del estudio
- Nunca utilice “se necesita hacer más trabajo. . .”
- No haga discusión trivial

Agradecimientos – Máximo 70 palabras

Con esta sección se pretende abrir un espacio lo suficientemente notable para que se tengan en cuenta las personas que con sus aportes colaboraron a guiar o desarrollar las investigaciones o a redactar y revisar el manuscrito que se somete a consideración, y que de no existir una sección como ésta, el autor en ocasiones se ve forzado a considerarlas como coautoras del artículo. Además, debe incluir la fuente de financiación de la investigación que originó el artículo, como el código de la misma

Literatura citada

- Se deben colocar en esta Sección sólo las referencias citadas
- No más de 50 citas bibliográficas
- La literatura se debe organizar en estricto orden alfabético y se debe enumerar siguiendo un orden ascendente Las referencias deben citarse en el texto utilizando el número correspondiente al orden alfabético

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Secretaría Técnica Comité Editorial,
revisión de textos y corrección de estilo: Sandra Milena Marín López Ing. Agr. MSc.

Diseño y diagramación: Luz Adriana Álvarez Monsalve

Fotografías: Archivo Cenicafé

Impresión:

1.200 ejemplares

Para canjes con esta publicacion dirigirse a:
Centro de Documentación
Centro Nacional de Investigaciones de Café
Cenicafé
Manizales - Caldas - Colombia
Biblioteca.Cenicafe@cafedecolombia.com



Cenicafé

Al servicio de los caficultores colombianos, desde 1938

www.cenicafe.org