

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

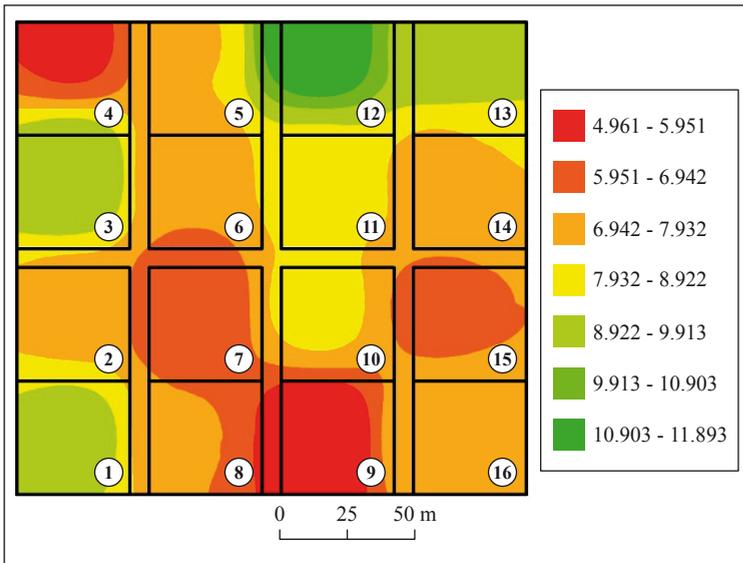


Figura 1. Distribución espacial de la producción en kilogramos de café cereza por parcela.

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 cmol₍₊₎ 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.

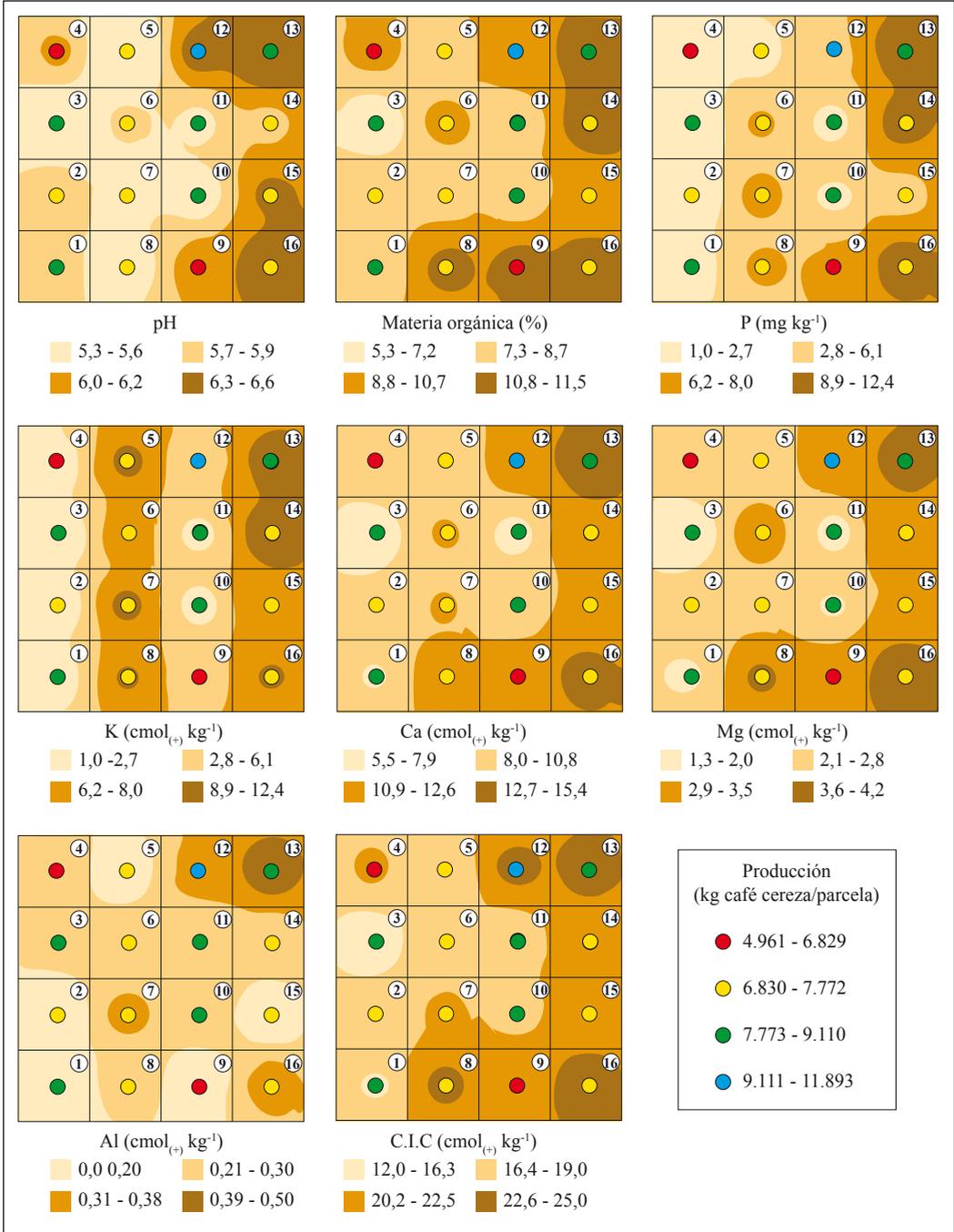


Figura 2. Distribución especial de nutrientes en el suelo, pH y producción en un lote de 3,2 ha. Finca El Roble, municipio Los Santos, Santander-Colombia.

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

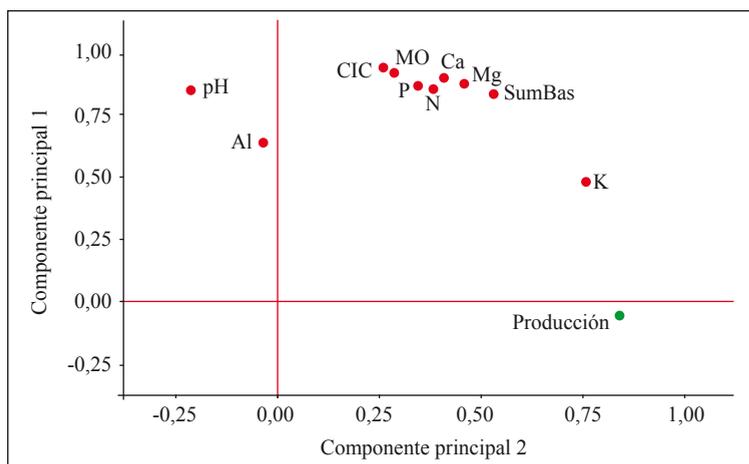


Figura 3. Análisis de Componentes Principales (ACP) de las variables químicas del suelo.

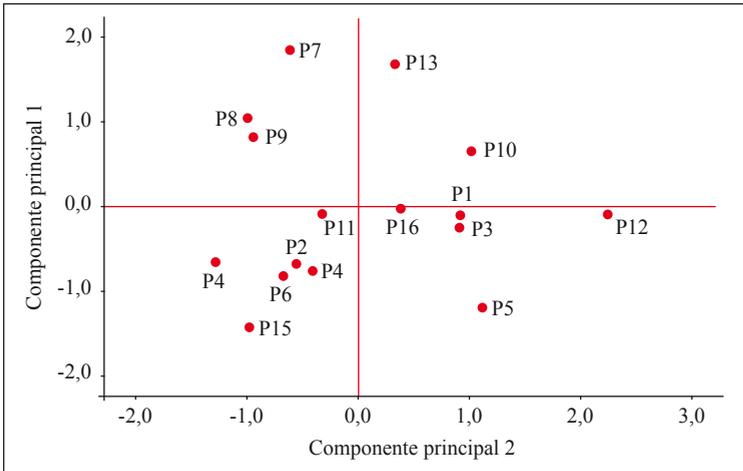


Figura 4. Análisis de Componentes Principales (ACP) para la variable producción en kilogramos de café cereza por parcela.

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

- 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.
- 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.
- 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.
- CIAT. Agricultura específica por sitio compartiendo experiencias (AESCE) aplicada a la producción de frutales en Colombia. CIAT, Palmira, Colombia. 2010. 53 p.
- 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).
- FARFÁN V., F. F.; SÁNCHEZ A., P. M. Producción sostenible de café bajo estructura arbórea diversa. Revista Cenicafé 65(1):27-33. 2014.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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).
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- SADEGHIAN K., S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia. Boletín Técnico Cenicafé (Colombia). N° 32:9-12. 2008.
- 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.
- 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.
- VALENCIA A., G.; CARRILLO P., I. F. Interpretación de análisis de suelos para café. Avances Técnicos Cenicafé (Colombia) N° 115:1-5. 1983.