

ISBN 978-958-98193-1-9

# Caracterización de la fertilidad de los suelos de la zona cafetera del Valle del Cauca

María Alejandra Patiño G.; Siavosh  
Sadeghian Kh.; Esther C. Montoya





## FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

### COMITÉ NACIONAL

Período 1° enero/07-diciembre 31/10

Ministro de Hacienda y Crédito Público  
Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural  
Ministro de Comercio, Industria y Turismo  
Director del Departamento Nacional de Planeación

Juan Camilo Restrepo Salazar  
Mario Gómez Estrada  
Carlos Alberto Gómez Buendía  
Carlos Roberto Ramírez Montoya  
César Eladio Campos Arana  
Dario James Maya Hoyos  
Jaime García Parra  
Héctor Falla Puentes  
Fernando Castrillón Muñoz  
Javier Bohórquez Bohórquez

---

#### **Gerente General**

GABRIEL SILVA LUJÁN

#### **Gerente Administrativo**

LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

#### **Gerente Financiero**

CATALINA CRANE ARANGO

#### **Gerente Comercial**

ROBERTO VÉLEZ VALLEJO

#### **Gerente Técnico**

ÉDGAR ECHEVERRI GÓMEZ

#### **Director Programa de Investigación Científica**

**Director Centro Nacional de Investigaciones de Café**

GABRIEL CADENA GÓMEZ

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.

## **UNA PUBLICACIÓN DE CENICAFÉ**

Editor: Héctor Fabio Ospina Ospina, I.A., MSc.  
Sandra Milena Marín López, I.A.  
Diseño y Diagramación: María del Rosario Rodríguez Lara  
Fotografía: Gonzalo Hoyos Salazar

---

Editado en Marzo de 2007  
1000 ejemplares



FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA

GERENCIA TÉCNICA  
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ  
"Pedro Uribe Mejía"

**Cenicafé**

# CARACTERIZACIÓN DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS DE LA ZONA CAFETERA DEL VALLE DEL CAUCA\*

*María Alejandra Patiño G.\*\**  
*Siavosh Sadeghian Kh.\*\*\**  
*Esther C. Montoya R.\*\*\*\**

---

\*Fragmento de la tesis "Caracterización de la fertilidad del suelo en la zona cafetera del departamento del Valle del Cauca", presentada a la Universidad de Caldas para optar al título de Ingeniera Agrónoma.

\*\*Ingeniera Agrónoma, Universidad de Caldas. Q.E.P.D

\*\*\*Investigador Científico II. Disciplina de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

\*\*\*\*Investigador Científico III. Disciplina Biometría. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Chinchiná - Caldas - Colombia

# CONTENIDO



Introducción .....	5
Variabilidad de las propiedades del suelo .....	6
Uso de la información histórica de los análisis de suelos .....	7
Clima y suelo para el cultivo de café .....	8

<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>9</b>
Descripción del área de estudio.....	9
Información .....	13
Análisis estadístico .....	13

<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>14</b>
Caracterización de la fertilidad de los suelos a escala departamental .....	14
Caracterización de la fertilidad de los suelos a escala municipal .....	20
Agrupación de los municipios por la metodología de análisis por cuartiles .....	25
• Indicadores de la acidez .....	25
• Bases intercambiables .....	32
Agrupación de los municipios por su fertilidad empleando el análisis multivariado .....	38

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>40</b>
---------------------------	-----------

<b>GLOSARIO .....</b>	<b>41</b>
-----------------------	-----------

<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>42</b>
------------------------------	-----------

<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>43</b>
--------------------------------	-----------

## Introducción

Las plantas requieren de elementos minerales y no minerales (carbono, hidrógeno y oxígeno) considerados esenciales para su crecimiento y desarrollo. Los nutrientes minerales, es decir, aquellos que provienen principalmente del suelo, pueden clasificarse en macroelementos y microelementos, de acuerdo a la cantidad demandada por la planta (14, 20). Dentro de los macroelementos se distinguen los elementos primarios nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), y los elementos secundarios calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Los microelementos corresponden al boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn) y molibdeno (Mo) (14). Cuando los suelos

son fértiles  
suministran  
estos

elementos en cantidades suficientes y de manera balanceada, para así satisfacer las necesidades de las plantas, y por tanto, no es necesario aplicarlos (13).

Para definir qué elementos se encuentran deficientes o no en el suelo es necesario realizar un diagnóstico de sus propiedades. La principal herramienta empleada en dicho diagnóstico es el análisis químico del suelo, que tiene como objetivo determinar el estado de la fertilidad del mismo en un momento dado, con el propósito de formular prácticas de fertilización o encalamiento tendientes a incrementar la productividad (18).

Debe aclararse que la garantía de obtener una respuesta efectiva a la aplicación de fertilizantes basada en la recomendación del análisis de suelos depende de la obtención de una buena muestra, que represente las condiciones físicas y químicas del lote, pues cuando se cometen errores en la toma de dichas muestras, se produce una incorrecta interpretación de los resultados (6).



## Variabilidad de las propiedades del suelo

---

Las propiedades físicas, químicas y biológicas sufren alta variabilidad, aún a cortas distancias, como consecuencia de la acción y la interacción de los factores y los procesos que intervienen en la formación de los suelos (2, 25, 33, 34), así como de las prácticas agronómicas que se desarrollan en ellos (10). Esta variabilidad puede observarse en los suelos de la zona cafetera colombiana donde la diversidad de materiales de origen, el relieve y los factores climáticos, le imprimen gran heterogeneidad a sus características (17).

La variabilidad del suelo ha sido caracterizada mediante levantamientos de tipo detallado, semidetallado, general y exploratorio, entre otros. Los levantamientos detallados son usados en la formulación de proyectos de uso intensivo de la tierra, para avalúos catastrales y para el estudio del potencial de producción; los semidetallados se emplean en la planeación técnica del uso y manejo del suelo y para los planes de ordenamiento territorial municipales; los de carácter general sirven

para la formulación de recomendaciones generales de manejo, diagnóstico y planes de ordenamiento territorial departamentales, y los exploratorios para la identificación de áreas con diferentes potenciales de uso (17, 25). Dentro de estos estudios de suelos también se encuentran los ultradetallados, que se emplean en la agricultura para el manejo de suelos por sitio específico (25).

La Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC) ha realizado estudios de carácter general y de cobertura regional, entre los que se encuentran: la zonificación de los suelos en los departamentos cafeteros para programas de diversificación (17); los estudios sobre Ecotopos Cafeteros, donde se dividió geográficamente el área sembrada en café teniendo en cuenta la oferta ambiental (16); y las investigaciones más detalladas relacionadas con la mapeación de la fertilidad del suelo en la zona cafetera del municipio de Chinchiná (Caldas), en un área total de 2.186 ha (28).

## Uso de la información histórica de los análisis de suelos

Havlin *et al.* (20), afirman que uno de los objetivos del análisis químico es el de evaluar el estado de la fertilidad del suelo en grandes áreas mediante el empleo de resúmenes. Sin embargo, Chirinos *et al.* (9), aclaran que estos resúmenes no sustituyen los análisis de suelos pero sirven para señalar tendencias generales de fertilidad por estados, regiones ecológicas o asociaciones de suelos, y pueden ser de utilidad en la planificación regional y el uso de recursos agrícolas; además de la obtención de mapas con los resultados de los contenidos de nutrimentos en diferentes subdivisiones geográficas (27).

Es así como los resultados de los análisis de suelos obtenidos, en un período de tiempo definido, han

sido utilizados con el fin de determinar para cada nutrimento el porcentaje de las muestras clasificadas en los niveles bajo, medio o alto en diversos cultivos y escalas de detalle (1, 9, 23, 29); medir la variación en los contenidos de los elementos a través del tiempo y agrupar regiones (26), y controlar la calidad de los análisis de suelos (5).

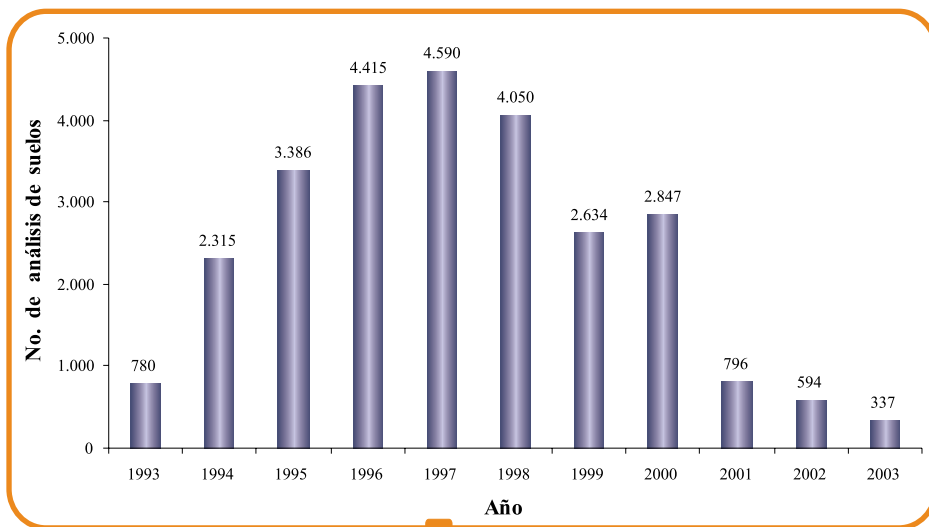
La FNC es consciente de la importancia de los análisis de suelos y por tanto, ha promovido su uso. En la actualidad existen registros históricos de los análisis realizados en los diferentes departamentos cafeteros. Esta información puede emplearse para el estudio de la variabilidad de la fertilidad del suelo de la zona cafetera colombiana en diferentes escalas de detalle.

Uno de los departamentos con mayor número de registros históricos es el Valle del Cauca, con cerca de 25.000 muestras analizadas entre 1993 y 2003 (Figura 1). En este período el uso de los análisis químicos fue variable y se incrementó a

partir de 1993, debido a las campañas de educación y promoción de la FNC. Entre los años de 1996 y 1998, la tendencia fue estable, con un incremento en 1997. Después de 1998 el uso de los análisis de suelos en este departamento disminuyó considerablemente.

De acuerdo con estos antecedentes y como respuesta al interés de la FNC de desarrollar estudios a partir de los resultados históricos de los análisis de suelos disponibles en los Comités Departamentales, se caracterizó la fertilidad del suelo en la zona cafetera del departamento del Valle del Cauca, con el objetivo de buscar las tendencias generales en sus 39 municipios cafeteros y agruparlas, para disponer de una herramienta para la toma de decisiones y guía racional para el uso y manejo de los suelos. Cabe resaltar que esta información no reemplaza los análisis de suelos, y más bien se constituye en un apoyo tanto para los Extensionistas como para los caficultores cuando no se dispone de ellos.





**Figura 1.** Análisis de suelos realizados en el Valle del Cauca entre 1993 y 2003.

## Clima y suelo para el cultivo de café

El cultivo del café se desarrolla adecuadamente en altitudes entre 1.000 y 2.000 m, en zonas con temperatura media entre 17 y 23°C, radiación solar de 300 a 450 cal.cm<sup>2</sup>día<sup>-1</sup>, con precipitación anual entre 1.800 y 2.800 mm/año, humedad relativa del 70 al 85%, evapotranspiración diaria de 3 a 4 mm y vientos menores a 5 km.hora<sup>-1</sup> (8).

Los suelos para cafetales a libre exposición solar, en general, deben tener buenas características físicas como una profundidad efectiva mayor de 50 cm, buena permeabilidad y adecuado drenaje natural que evite encharcamientos, suficiente

aireación y alta resistencia a la erosión, entre otras (15).

De acuerdo con las condiciones físico - químicas de suelos aptos para el establecimiento del café, presentados por Valencia y Carrillo (38), y con los criterios generales del programa de Reporte e Interpretación de Análisis de Fertilidad de Suelos (RIAFS) de Cenicafé, para la recomendación de fertilizantes y enmiendas en el cultivo de café en Colombia presentados por Sadeghian y Duque (32), se relacionan en la Tabla 1 los rangos de las propiedades químicas del suelo para dicho cultivo.

**Tabla 1.** Rangos de las propiedades químicas del suelo para el cultivo de café en Colombia.

Propiedad	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
pH	-	< 5,0	5,0 - 5,5	> 5,5	-
MO (%)	< 6,0	6,0 - 8,0	8,0 - 14,0	14,0 - 16,0	> 16,0
P (mg.kg <sup>-1</sup> )*	-	< 10,0	10,0 - 30,0	> 30,0	-
K (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )**	-	< 0,4	0,4 - 0,6	0,6 - 0,85	> 0,85
Ca (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )**	-	< 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0	-
Mg (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )**	-	< 0,4	0,4 - 0,6	> 0,6	-
Al (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )**	-	< 1,0	-	> 1,0	-

< Menor; > Mayor. Tomado y adaptado de Valencia y Carrillo (38) y, Sadeghian y Duque (32).

\* mg.kg<sup>-1</sup> es equivalente a mg/kg, o a ppm.

\*\* cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> es equivalente a cmol<sub>(+)</sub>/kg, o a me/100g

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El área de estudio correspondió a la zona cafetera del Valle del Cauca, con una extensión aproximada de 89.569 ha, equivalentes al 4,2% de la superficie total del departamento (21.240 km<sup>2</sup>). La zona cafetera se encuentra ubicada entre la vertiente oriental de la cordillera Occidental y la

vertiente occidental de la cordillera Central, con un 31,07% de las áreas con cafetales tradicionales (27.831 ha) y un 68,93% en cafetales tecnificados (61.738 ha), que abarcan 39 municipios del departamento (11, 12).

En la Tabla 2 se muestran los datos sobre el área sembrada para cada uno de los municipios del departamento, y el número de lotes en café. En la Figura 2, se observa la distribución

espacial del área cafetera del Valle del Cauca.

En su mayoría, los suelos de este departamento son derivados de cenizas volcánicas, que recubren materiales ígneos, sedimentarios y metamórficos. En la Tabla 3 se describen los Ecotopos Cafeteros localizados en el Valle del Cauca y las características del suelo más relevantes, así como los municipios pertenecientes a cada uno (15).

**Ecotopo Cafetero:** "Región agroecológica delimitada geográficamente según las condiciones predominantes de clima, suelo y relieve, donde se obtiene una respuesta similar del cultivo de café" (15).

**Tabla 2.** Área sembrada y número de lotes con café distribuidos en los municipios del Valle del Cauca.

Municipio	Área	Lotes en café
Cali	853,4	1.072
Alcalá	2.227,3	1.550
Andalucía	361,6	315
Ansermanuevo	6.473,5	3.476
Argelia	3.482,8	1.623
Bolívar	2.525,0	2.556
Buga	932,8	995
Bugalagrande	2.557,1	2.248
Caicedonia	6.726,9	3.001
Cartago	813,1	624
Dagua	2.061,4	2.429
Darién	859,8	781
El Águila	6.710,7	3.612
El Cairo	4.888,5	2.484
El Cerrito	218,8	195
El Dovio	1.760,1	1.201
Florida	1.081,1	1.309
Ginebra	1.090,5	1.127
Guacarí	749,6	722
Jamundí	1.535,8	2.127
La Cumbre	1.457,7	1.486
La Unión	878,1	751
La Victoria	1.071,1	626
Obando	1.789,3	1.354
Palmira	544,1	639
Pradera	410,0	461
Restrepo	1.075,1	1.327
Riofrío	4.261,2	4.218
Roldanillo	1449,0	1.076
San Pedro	612,2	812
Sevilla	9.322,5	4.771
Toro	2.149,1	1.045
Trujillo	5.157,4	3.301
Tuluá	3.859,2	4.339
Ulloa	1.572,3	998
Versalles	2.144,5	1.513
Vijes	972,3	1.170
Yotoco	1.779,17	1.542
Yumbo	552,4	623

Fuente: Sistema de Información Cafetera – SICA (12).

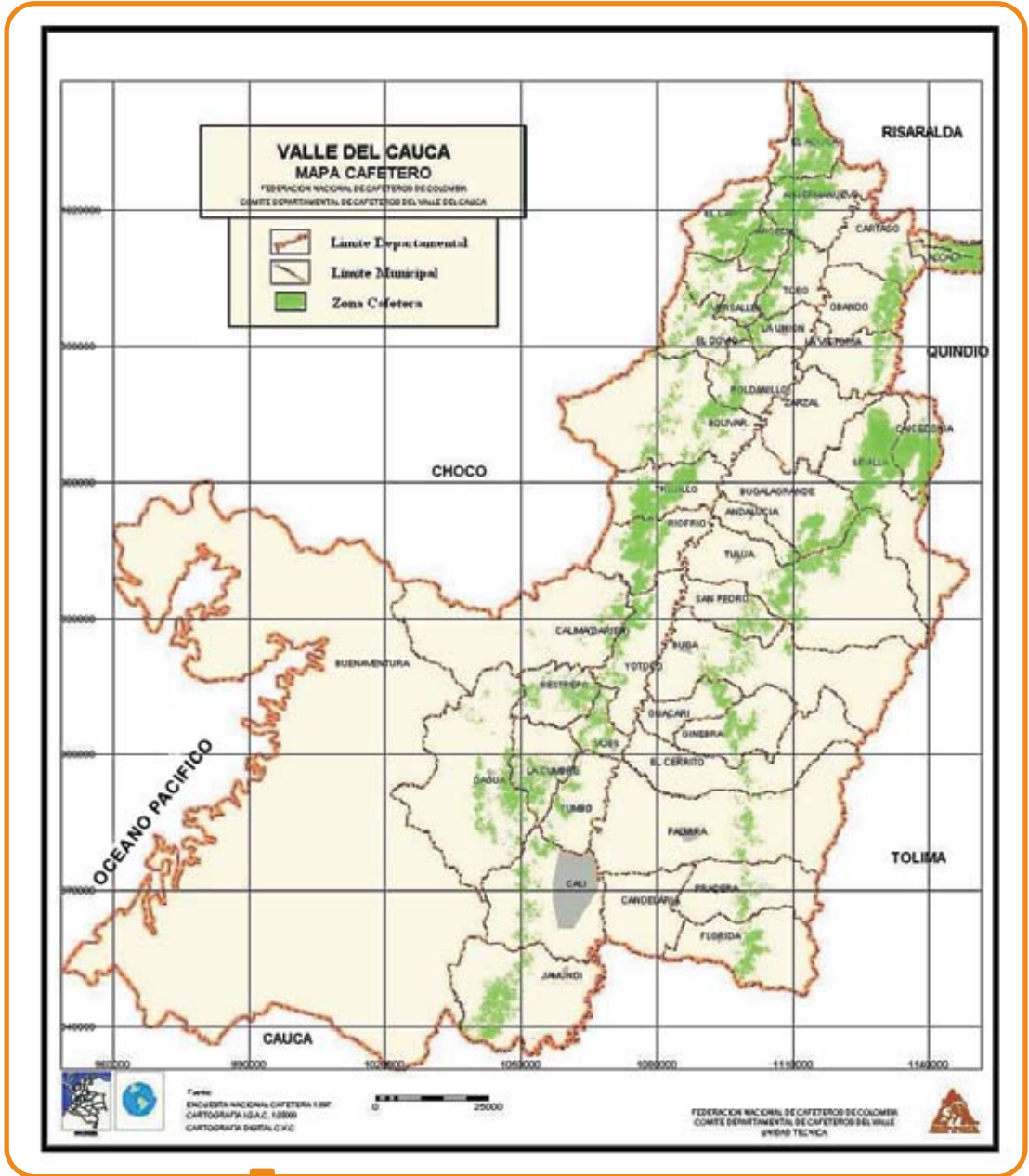


Figura 2. Mapa cafetero del departamento del Valle del Cauca (Fuente: Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca, 2003).

**Tabla 3.** Ecotopos Cafeteros del departamento del Valle del Cauca, clasificación de los suelos y los municipios pertenecientes a cada uno.

Ecotopo	Rango altitudinal (m)	PPT (mm)	Material parental de suelo	Unidad cartográfica de suelo	Clasificación taxonómica	Municipios
103A	1.000 – 1.700	1.400 – 1.700	Cenizas volcánicas Rocas sedimentarias – esquistos talcoso biotítico	Chinchiná, Fondesa Catarina	Melanudands Dystropepts	El Cairo, Argelia, Versalles, La Unión (Parte), Bolívar, Roldanillo, Dovio
104A	1.400 – 1.800	2.500 – 2.800	Cenizas volcánicas Rocas ígneas – basaltos	Chinchiná 200	Melanudands Troporthent, Dystropept	Darién, Yotoco
105A	1.200 – 1.800	1.200 – 1.500	Cenizas volcánicas Rocas ígneas	Chinchiná Dovio	Melanudands Troporthent, Dystropept	Restrepo, Vijes (parte), Dagua, La Cumbre (parte)
108B	1.200 – 1.900	1.800 – 2.400	Cenizas volcánicas Rocas sedimentarias – esquistos Rocas ígneas – basaltos Rocas metamórficas – Chert	Chinchiná Catarina 200 Balboa	Melanudands Troporthent, Dystropept	El Águila, Ansermanuevo
109B	1.500 – 1.900	1.200 – 1.600	Cenizas volcánicas Rocas ígneas – diabasas	Fondesa Dovio	Melanudand Troporthent	Toro, La Unión (parte), Roldanillo, Bolívar
110B	1.300 – 1.800	1.700 – 1.200	Cenizas volcánicas Rocas ígneas – basaltos	Chinchiná 200	Melanudands Eutropept, Dystropept, Troporthent	Trujillo, Riofrío
111B	1.200 – 1.900	1.000 – 1.500	Rocas ígneas – diabasas	Dovio	Troporthent	Yotoco (parte), Vijes (oriental)
112B	1.200 – 1.700	2.500 – 2.800	Cenizas volcánicas y esquistos	Piendamó	Melanudands, Dystropept	Cali (sur), Jamundí
209A	1.200 – 1.700	1.800 – 2.200	Cenizas volcánicas	Chinchiná, Malabar	Melanudand, Tropudalf	Alcalá, Ulloa
211A	1.200 – 1.800	1.700 – 1.200	Cenizas volcánicas	Chinchiná	Melanudands	Sevilla (Cumbarco), Caicedonia (Parte)
212A	1.200 – 1.700	1.400 – 1.700	Rocas metamórficas – areniscas y conglomerados Cenizas volcánicas	La Estrella Chinchiná	Troporthent, Ustorthents Melanudands	Cartago, Obando, La Victoria, Zarzal
213A	1.200 – 1.900	1.700 – 2.000	Cenizas volcánicas Rocas ígneas – basaltos	Chinchiná 200	Melanudands Dystropepts	Sevilla (parte), Caicedonia (parte)
214A	1.400 – 1.900	1.700 – 2.200	Rocas ígneas – basaltos Cenizas volcánicas	200 Chinchiná	Dystropepts – Troporthents Melanudands	Bugalagrande, Andalucía, Tuluá, San Pedro, Buga
215A	1.000 – 1.800	1.700 – 2.300	Rocas ígneas – basaltos y esquistos Cenizas volcánicas	200 Chinchiná	Troporthents Melanudands	Cuacari, Ginebra, El Cerrito, Palmira, Pradera, Candelaria, Florida

**Fuente:** Gómez et al. (15).

## Información

---

Se empleó una base de datos de 24.834 registros de análisis de suelos realizados entre julio de 1993 y septiembre de 2003, en lotes cafeteros del Valle del Cauca, proporcionada por el Comité Departamental. Para analizar la información no se distinguió entre los sistemas de manejo de los cafetales ni en los parámetros empleados para tomar las muestras de suelos en café (6), como son: recorrido en zigzag dentro del lote y toma de submuestras de suelo a 20 cm (horizonte superficial) para conformar una muestra compuesta, entre otros.

La base de datos contaba con la información correspondiente a la procedencia o municipio al que pertenecía la muestra de suelo y los resultados del análisis químico para:

- pH: método potenciómetro, con una suspensión suelo - agua en relación 1:1.
- Materia orgánica (MO): método de Walkey - Black, por colorimetría en espectrofotómetro de luz ultravioleta a 585 nm.
- Fósforo (P): método

de Bray II, por colorimetría medida en espectrofotómetro a 660 nm.

- Potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg): extracción con acetato de amonio 1N, pH 7 y determinación por espectrofotometría de absorción atómica.
- Aluminio (Al): extracción con KCl 1N y valoración por espectrofotometría de absorción atómica.

## Análisis estadístico

---

Con el software SAS V8 se realizó un análisis estadístico descriptivo para cada una de las propiedades químicas, a nivel departamental y municipal. Además, se agruparon los municipios mediante dos metodologías: análisis de cuartiles y análisis multivariado.

En el análisis de cuartiles se emplearon los promedios por municipio para todas y cada una de las propiedades químicas. Con la distribución de frecuencias acumulada de cada propiedad, se

agruparon los municipios en cuatro categorías o cuartiles.

La metodología de análisis multivariado se empleó para agrupar los municipios por su fertilidad (conjunto de propiedades químicas del suelo). Este consistió en un análisis de componentes principales, en el que se identificaron el 50% de las propiedades químicas que más influían en la variabilidad de la fertilidad del suelo. Luego, con las propiedades identificadas y de acuerdo con un análisis de cluster, se agruparon los municipios en tres categorías. Para cada grupo y cada propiedad se estimó el promedio y se construyó el intervalo de confianza al 95%.

Los grupos de municipios conformados se representaron en mapas mediante el sistema de información geográfico ILWIS 3.1, empleando información digitalizada concerniente a la división municipal y su correspondiente zona cafetera, suministrada por el Comité de Cafeteros.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización de la fertilidad de los suelos a escala departamental

En la Tabla 4 y la Figura 3 se presentan los valores de la media, la mediana y la moda, y los coeficientes de asimetría y curtosis, de las características químicas de los suelos. Los resultados muestran una distribución simétrica del pH y una distribución asimétrica a la derecha, cerca al origen, de las demás propiedades químicas; este último resultado es similar al obtenido por Scott (33), quien afirma que las propiedades del suelo no se distribuyen normalmente.

De acuerdo con los rangos de fertilidad para el cultivo de café en Colombia (Tabla 1), la información de las propiedades químicas del suelo en todo el departamento (Tabla 4) indica lo siguiente:

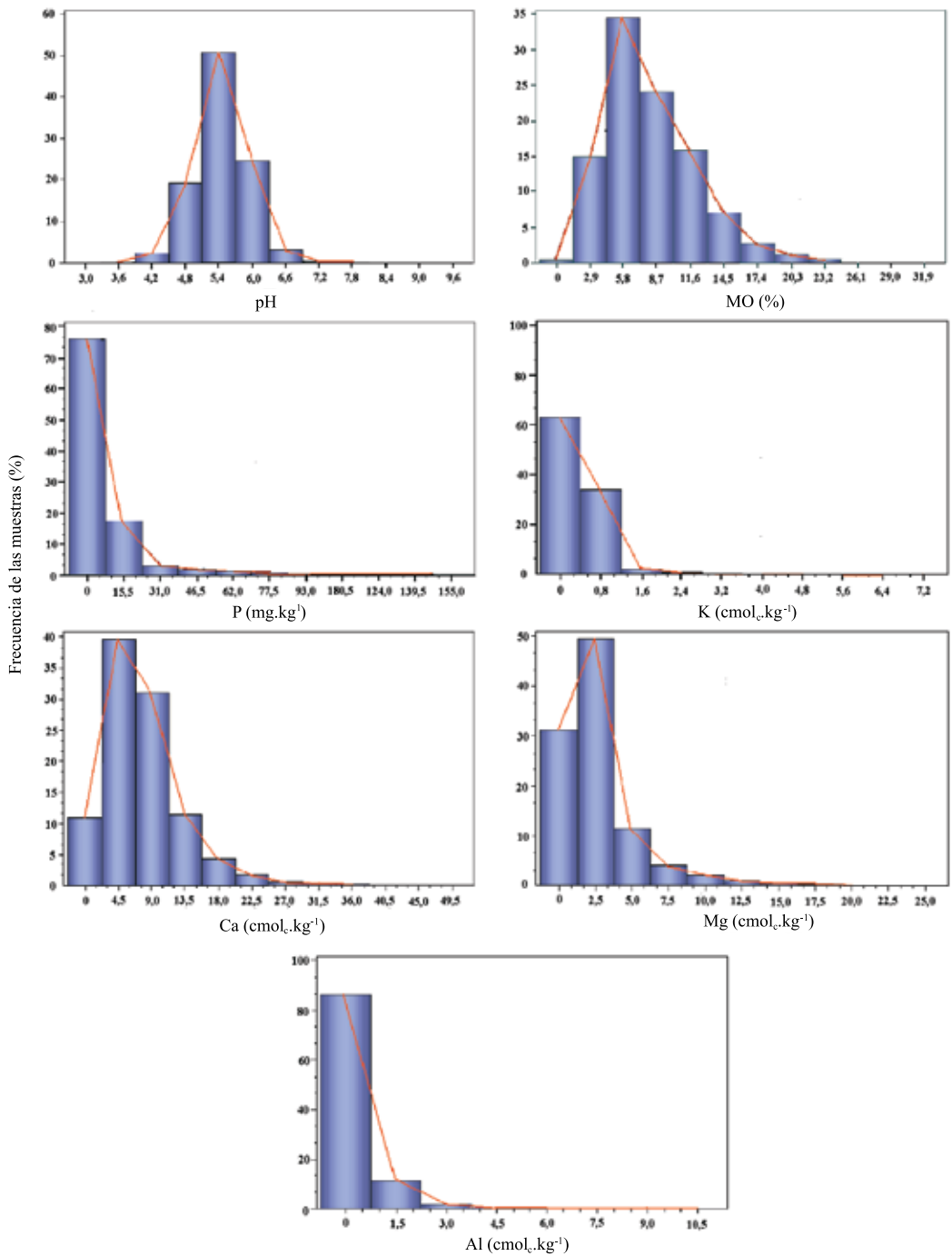
**pH:** su valor medio es de 5,4; el cual a pesar de encontrarse en un nivel adecuado para el cultivo, tiende a ser ligeramente alto, con un coeficiente de variación de 8,75%. Los valores mínimo y máximo observados son 3,4 y 8,3, respectivamente. Solamente el 15,3% de las muestras analizadas tienen un pH bajo (menor que 5,0), el 47,43% tienen un pH adecuado (entre 5,0 y 5,5), mientras que en el 37,25%

de éstos es superior a 5,5. Lo anterior revela que es mayor el número de lotes con posibles problemas de alcalinidad para café que de acidez.

**Materia Orgánica (MO):** el porcentaje de MO varía desde 0 hasta 31%, niveles muy altos y poco comunes en la zona cafetera, con un promedio que se ubica en el límite entre bajo y medio (8,1%). En el 35,3% de las muestras los niveles de MO fueron muy bajos (<6%), para los cuales según Sadeghian y Duque (32), es necesario adicionar junto con las máximas dosis de fertilizantes nitrogenados pulpa descompuesta para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas

**Tabla 4.** Medidas de tendencia central, dispersión, asimetría y curtosis para las características del suelo evaluadas en el departamento del Valle del Cauca (n=24.834).

Parámetro	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al
		(%)	(mg.kg <sup>-1</sup> )	(cmol.kg <sup>-1</sup> )			
Media	5,40	8,01	8,83	0,40	7,64	2,66	0,34
Mediana	5,40	7,30	4,00	0,31	6,70	1,90	0,10
Moda	5,40	5,50	2,00	0,18	3,70	0,60	0,00
Mínimo	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Máximo	8,30	31,00	160,00	6,80	50,00	25,90	10,00
Asimetría	0,24	0,88	4,83	4,41	1,59	2,51	4,48
Curtosis	1,23	0,73	27,33	42,87	4,21	8,41	30,77
CV (%)	8,75	47,32	193,31	86,67	68,65	96,76	198,02



**Figura 3.** Histogramas de frecuencia para las propiedades químicas evaluadas en el departamento del Valle del Cauca.



del suelo. En el 22,35% de las muestras el contenido de materia orgánica es bajo (entre el 6 y 8%), el 34,7% corresponde a muestras con niveles medios, el 4,17% a muestras con porcentajes altos y, sólo el 3,53% mostró niveles muy altos, con valores superiores a 16%.

La variación registrada está relacionada con el clima, el uso y manejo del cultivo y el material de origen. En cuanto al clima se refiere, Henao (21) encontró que el contenido de MO y la relación carbono nitrógeno (C/N) estaban directamente relacionados con la altitud, ya que a mayor valor de ésta la temperatura promedio es menor, y en consecuencia la actividad microbiana y la mineralización son bajas.

El cultivo del café en Colombia se caracteriza por estar establecido bajo dos sistemas de producción: café a libre exposición solar y bajo sombra. Cardona y Sadeghian (4), encontraron que en suelos con cafetales bajo sombra la humedad es mayor y la temperatura es menor que en cafetales a libre exposición. Este microclima influye en la menor mineralización de la MO en el sistema de cafetales con sombrío.

Igualmente, la diversidad del material de origen da

como resultado unidades cartográficas contrastantes en esta característica. En este sentido la FNC (11) reporta para las unidades de suelos Chinchiná, Fondesa y Malabar, con el horizonte A1 derivado de cenizas volcánicas, altos niveles de MO (7,6, 14,1 y 5,7% respectivamente), frente a los suelos de las unidades 200 y Dovio derivados de rocas ígneas con porcentajes de 4,8 y 4,6%, respectivamente. Otro factor determinante en la variación de la MO, se relaciona con los procesos erosivos como la ausencia de prácticas de conservación de los suelos.

En el suelo, la MO es considerada la principal reserva de nitrógeno para las plantas. En estudios realizados por Carrillo y Estrada citados por Valencia (37), y en evaluaciones desarrolladas por Sadeghian (31), se registraron relaciones muy estrechas entre estas variables y se observó un comportamiento de tipo cuadrático con un coeficiente de determinación de 0,89 para el último estudio. En otras investigaciones, Uribe y Mestre (36) evaluaron el efecto de la aplicación de N en ocho localidades de la zona cafetera colombiana, y encontraron respuesta positiva de la producción acumulada en siete de las localidades, y en

una localidad solo hubo respuesta en una de las cuatro cosechas. Sadeghian (30) señala que este nutriente es el más limitante para la producción de café en Colombia, y registró las mayores reducciones al excluirlo de los planes de fertilización cuando los contenidos de MO son inferiores al 8%, tal como ocurre en la zona de estudio.

**Fósforo (P):** es uno de los elementos de mayor variación, con un promedio relativamente bajo para café, y que se caracteriza por valores que van desde 0 hasta 160 mg.kg<sup>-1</sup>. El 81,03% de las muestras analizadas tiene bajos niveles de P para el cultivo de café, en el 13,1% de los casos este valor es medio y sólo en el 5,87% es considerado alto. Sin embargo, esta condición no es alarmante para el cultivo pues la respuesta a su aplicación se considera eventual y de poca magnitud (35, 36).

Los suelos cafeteros de Colombia derivados de cenizas volcánicas tienen alta capacidad de fijación de fósforo. Bravo y Gómez (3) estudiaron dicha retención en seis unidades de suelo de origen volcánico, y encontraron que para las unidades Chinchiná, Fondesa y Malabar eran fijados 1.800, 1.200 y 600 mg.kg<sup>-1</sup> del P adicionado, respectivamente,

lo cual explica el contenido de Al ( $0,33 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ) en la primera unidad, y el de Fe en el suelo en las otras dos unidades ( $291$  y  $194 \text{ mg}.\text{kg}^{-1}$ , respectivamente).

**Potasio (K):** presenta un nivel medio de acuerdo a los rangos para café en Colombia, con valores que van desde cero hasta  $6,8 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , y un coeficiente de variación relativamente alto (Tabla 4). Dentro de dicha distribución, el  $63,05\%$  de las muestras se encuentra en un nivel bajo para el cultivo,  $18,22\%$  corresponde a niveles medios, el  $10,16\%$  a niveles medio - altos, y sólo en el  $7,97\%$  son muy altos y no requieren la aplicación de fertilizantes potásicos.

La mayor parte de unidades de suelo del departamento del Valle del Cauca tienen niveles bajos de potasio (menores a  $0,3 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ), entre las que se destacan las unidades Chinchiná, Malabar, 200, Catarina y Balboa (11), y coinciden con el mayor porcentaje de muestras con bajos contenidos de este nutrimento; por el contrario, muestras con altos contenidos de K, pueden ser el reflejo de las aplicaciones de fertilizantes potásicos y su efecto residual. Sadeghian (31), al evaluar el efecto de la fertilización con N, P, K y Mg en diferentes suelos cultivados en café

en Colombia, encontró que las aplicaciones de K después de dos años incrementaban los niveles del elemento en el suelo, pues los valores iniciales aumentaban hasta tres veces ( $1,21 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ) cuando se aplicaba K en ausencia de N, y aumentaban el doble ( $0,81 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ) al suministrar tanto N como K.

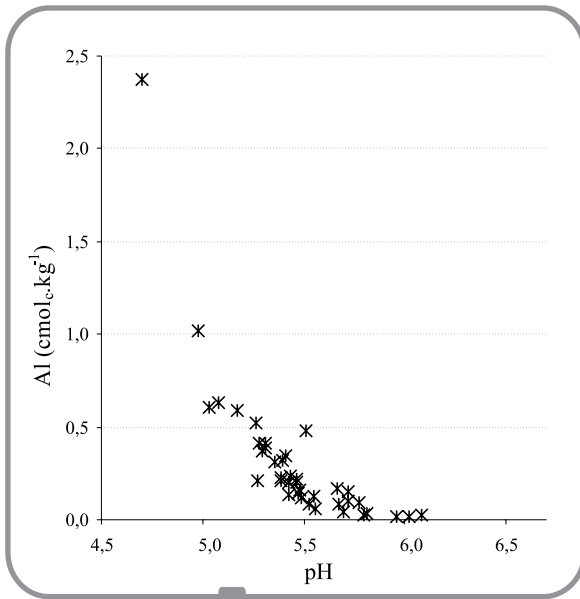
**Calcio (Ca):** este elemento presenta un valor promedio de  $7,64 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , con valores que varían desde 0 hasta  $50 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ . En el Valle del Cauca el  $5,22\%$  de las muestras tienen bajos niveles de Ca, el  $12,26\%$  medios y el  $85,52\%$  corresponden a niveles altos, para los que no se requiere de la aplicación de enmiendas. Los altos contenidos observados podrían estar relacionados con la presencia de rocas básicas reportadas en este departamento por la FNC (11).

**Magnesio (Mg):** presenta una tendencia similar al Ca. El contenido de este elemento en suelos sembrados en café va desde 0 a  $25,9 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , entre los cuales el  $4,06\%$  se encuentran en un rango bajo para café, el  $15,56\%$  presentan un nivel medio y un  $80,38\%$  corresponden a niveles altos y, por ende, no

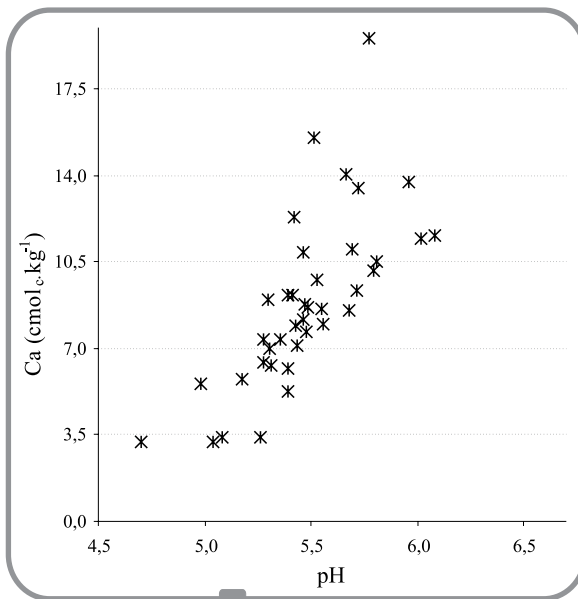
es necesaria la adición de este elemento en el suelo. Estos resultados pueden ser atribuidos a la presencia de rocas básicas reportadas en este departamento por la FNC (11).

**Aluminio intercambiable (Al):** presenta un promedio de  $0,34 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ , y varía desde 0 hasta  $10 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ . El  $89,83\%$  de las muestras tienen niveles inferiores a  $1 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  y sólo el  $10,17\%$  tiene contenidos superiores a este valor. Esta propiedad mostró los mayores valores de variación con  $198\%$ . Sadeghian (31), al evaluar el efecto de la fertilización con N, P, K y Mg reporta para este elemento coeficientes de variación altos (mayores al  $100\%$ ) en los tratamientos evaluados.

**Relaciones entre las propiedades del suelo.** El contenido de Al disminuyó conforme al aumento del pH (Figura 4). Sadeghian (31), para suelos de la zona cafetera colombiana encontró que el Al intercambiable no excedía a  $1 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$  cuando el pH era mayor de 5,0, resultados similares a los encontrados en este estudio. Además, puede observarse que el Al es prácticamente inexistente cuando el suelo tiene valores de pH superiores a 6,0.



**Figura 4.** Contenido de aluminio intercambiable en función del pH.

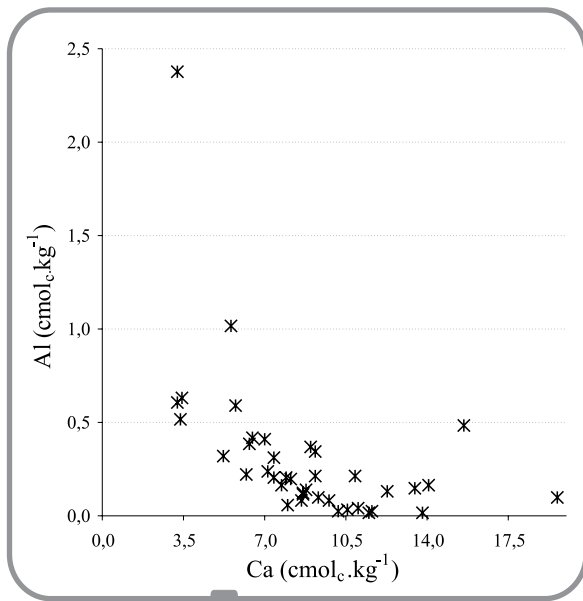


**Figura 5.** Contenido de calcio en función del pH.

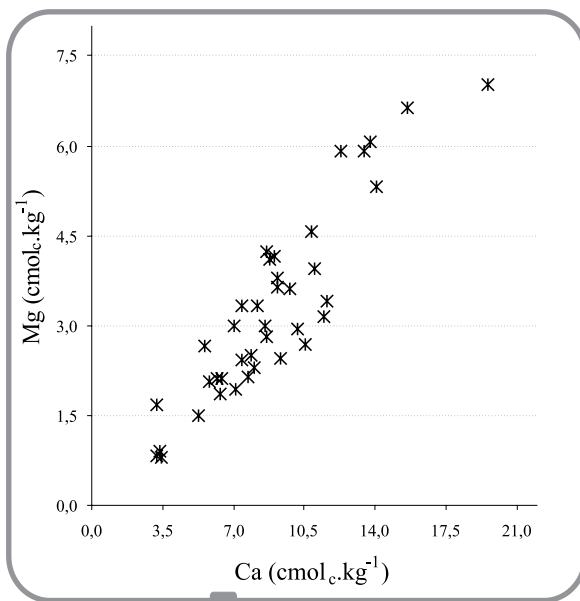
El contenido de Ca se incrementó al reducir la acidez (Figura 5). Havlin *et al.* (20), indican que la disponibilidad de Ca para las plantas depende entre otros factores, del nivel de pH; adicionalmente, altos contenidos de este elemento en el suelo reducen su acidez y favorecen el crecimiento de las plantas y la actividad microbiana.

En la Figura 6 se observa una relación inversa entre el calcio y el aluminio intercambiables, pues la deficiencia de Ca puede deberse a los altos niveles de Al en el suelo (20).

Existe una relación lineal entre el contenido de Mg y Ca (Figura 7). Según Carvajal (7) la relación adecuada entre estos cationes, conocida como relación Ca/Mg, debe estar entre 2 y 4 para el cultivo del café. La pendiente del modelo permite calcular dicha relación, que es para este caso de 2,45, y coincide con el rango mencionado. Cabe resaltar que a nivel nacional las investigaciones no han demostrado que exista un efecto de la relación Ca/Mg sobre la producción de café.



**Figura 6.** Contenido de aluminio intercambiable en función del calcio.



**Figura 7.** Contenido de magnesio en función del contenido de calcio.

## Caracterización de la fertilidad de los suelos a escala municipal

En la Tabla 5 se incluyen el número de registros, los promedios y los coeficientes de variación por municipio para las propiedades químicas objeto de análisis. Las distribuciones por municipio/lote fueron corroboradas con lo descrito en el análisis general. De esta manera el pH tuvo una distribución simétrica y los elementos químicos estudiados mostraron asimetrías a la derecha; además se observaron las siguientes tendencias:

- Se encontraron el menor promedio de pH en Jamundí y el mayor en El Dovio.
- La Victoria tuvo el menor porcentaje de MO y Darién el más alto. Este último municipio mostró el coeficiente de variación más bajo para esta característica.
- El mayor contenido de fósforo se encontró en El Cerrito y el más bajo en Vijes.
- En Florida se observaron los niveles más bajos de K, contrario a El Cairo, que además mostró una variación mayor al 100%.
- El menor contenido de Ca se presentó en Jamundí, y los menores contenidos de Mg en los municipios de Alcalá y Ulloa.

Los coeficientes de variación observados para los elementos en cada municipio, coinciden con registros de Henao y Hernández (22), quienes al estudiar tres unidades de suelos derivadas de cenizas volcánicas en cuatro localidades, encontraron que las propiedades de menor variabilidad eran el pH y la MO, y atribuyeron a las fertilizaciones continuas la mayor variación de los cationes intercambiables (Ca, Mg y K).

Entre los coeficientes de variación encontrados se destacan casos como el de Cali y Jamundí que tuvieron una variación mayor que los demás municipios para los contenidos de Ca y Mg, valores que pueden estar indicando que la aplicación de correctivos, especialmente de caliza dolomítica (fuente de calcio y magnesio), para reducir la acidez (pH bajo y Al alto), generan condiciones contrastantes de fertilidad entre los lotes con y sin corrección, e incrementan la variabilidad en los contenidos de estos nutrimentos, situación que se ve reflejada en el mayor coeficiente de variación, y que paradójicamente disminuye la variabilidad del Al.

En la Tabla 6 se presenta el porcentaje de muestras por característica en cada

municipio, de acuerdo a los rangos para café en Colombia. Se observa que en la mayoría de los suelos se presentan valores de pH mayores a 5,5, considerados ligeramente alcalinos para café. Como caso particular se encontraron en Jamundí, en el 77,55% de las muestras valores de pH menores que 5,0, considerados como ácidos para el cultivo; así mismo, el 79,90% de éstas mostraron contenidos altos de Al ( $> 1,0 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ ), y el 43,05% contenidos de calcio menores que  $1,5 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ . Estos porcentajes ratifican la acidez de los suelos en dicho municipio.

En La Unión y La Victoria, el 70,18 y el 93,31% de las muestras, respectivamente, presentaron contenidos de MO menores que 6%. En todos los municipios del Valle del Cauca, más del 66% de las muestras tuvieron bajos contenidos de P ( $< 10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), mientras que para el calcio, la mayoría de las muestras tuvo contenidos con valores superiores a 3; este comportamiento sugiere que solo una porción reducida de los lotes requieren de encalado. Las demás características exhiben las tendencias ya descritas, donde la mayoría de las muestras tienen altos contenidos de Mg, bajo K y niveles adecuados de Al.

**Tabla 5.** Promedios ( $\bar{x}$ ) y coeficientes de variación (C.V. (%)) de las características químicas evaluadas en cada uno de los municipios.

Municipio	No. Muestras	pH		MO		P		K		Ca		Mg		Al	
		$\bar{x}$	C.V. (%)	$\bar{x}$	C.V. (%)	$\bar{x}$	C.V. (%)	$\bar{x}$	C.V. (%)	$\bar{x}$	C.V. (%)	$\bar{x}$	C.V. (%)	$\bar{x}$	C.V. (%)
Alcalá	848	5,07	7,43	9,34	35,03	14,02	163,40	0,43	74,50	3,41	60,41	0,80	75,21	0,62	101,10
Andalucía	58	5,46	8,07	7,37	48,37	8,13	227,70	0,35	197,10	8,77	60,06	4,11	93,68	0,13	134,00
Ansermanuevo	1.069	5,48	7,52	8,01	42,85	8,95	187,90	0,47	72,80	7,69	43,02	2,13	51,64	0,16	225,80
Argelia	766	5,71	7,29	8,65	37,26	10,54	167,50	0,54	86,60	9,32	44,37	2,44	47,12	0,09	431,80
Bolívar	757	5,79	6,82	5,68	41,02	10,12	169,80	0,43	77,70	10,20	38,72	2,94	57,35	0,02	435,20
Buga	286	5,42	7,71	9,97	48,13	6,61	190,70	0,35	71,40	7,90	63,32	2,49	96,31	0,20	188,40
Bugalagrande	638	5,39	7,82	6,13	52,20	7,17	226,10	0,29	81,20	9,18	61,81	3,78	70,14	0,21	246,60
Caicedonia	3.111	5,31	7,27	6,85	41,37	11,99	160,10	0,41	66,30	6,32	63,90	1,84	95,92	0,38	165,60
Cali	338	4,97	9,40	9,61	41,22	9,45	229,50	0,33	94,70	5,55	99,86	2,65	120,50	1,01	105,10
Cartago	282	5,35	6,79	6,12	48,13	6,73	139,30	0,37	64,50	7,39	53,96	3,33	66,86	0,31	179,50
Dagua	698	5,46	10,05	7,09	38,36	8,23	227,80	0,43	70,40	8,15	66,75	3,32	84,09	0,19	178,40
Danién	433	5,26	6,03	14,20	27,69	4,49	209,70	0,29	120,30	3,37	75,07	0,90	120,80	0,51	82,66
El Águila	1.224	5,43	7,08	9,80	43,79	10,16	197,10	0,41	80,40	7,10	60,36	1,92	86,12	0,23	185,70
El Cairo	801	5,81	6,72	8,75	37,44	11,23	166,50	0,67	104,10	10,50	40,60	2,68	48,76	0,03	427,70
El Cerrito	69	5,72	9,84	7,87	40,66	16,53	178,50	0,38	76,80	13,40	57,20	5,91	51,01	0,15	164,70
El Dovio	234	6,08	7,50	5,60	44,76	11,86	180,20	0,46	74,70	11,50	43,90	3,40	54,39	0,02	860,30
Florida	236	5,66	8,43	5,78	39,36	12,72	156,80	0,25	79,00	14,00	56,20	5,30	66,60	0,16	345,40

Continúa...

...Continuación

Municipio	No. Muestras	pH		MO		P		K		Ca		Mg		Al	
		$\bar{x}$	C.V. (%)	$\bar{x}$	C.V. (%)	$\bar{x}$	C.V. (%)	$\bar{x}$	C.V. (%)	$\bar{x}$	C.V. (%)	$\bar{x}$	C.V. (%)	$\bar{x}$	C.V. (%)
Cinebra	406	5,52	5,96	7,16	44,73	5,58	257,80	0,30	88,60	9,77	39,88	3,61	57,60	0,08	268,90
Guacarí	287	5,27	6,63	8,09	45,66	4,05	184,60	0,31	69,60	7,38	49,31	2,43	77,53	0,20	183,10
Jamundí	597	4,70	7,89	9,47	33,56	5,25	288,90	0,26	71,20	3,22	119,90	1,68	151,90	2,37	68,19
La Cumbre	465	5,38	6,99	10,3	35,52	4,63	216,50	0,38	74,20	6,21	49,17	2,11	71,88	0,22	144,20
La Unión	218	5,95	7,80	4,93	41,21	11,46	199,20	0,46	85,70	13,70	51,88	6,06	66,95	0,01	688,80
La Victoria	254	5,29	8,30	3,77	38,90	13,77	173,20	0,38	61,20	8,97	41,82	4,15	47,06	0,36	204,10
Obando	308	5,41	7,30	4,68	51,37	8,12	149,20	0,35	82,80	9,19	46,47	3,63	53,02	0,34	216,60
Palmira	201	5,51	12,76	7,68	36,98	11,22	172,20	0,42	67,00	15,50	65,80	6,63	70,50	0,48	198,90
Pradera	91	5,77	7,88	7,91	34,01	10,91	210,90	0,31	61,40	19,50	54,32	7,01	55,76	0,09	341,50
Restrepo	667	5,55	7,26	8,75	34,42	5,45	206,90	0,52	74,80	8,61	50,17	2,81	62,03	0,12	304,20
Riofrío	1.079	5,17	7,18	10,5	43,84	4,77	245,50	0,31	121,10	5,77	83,24	2,05	109,80	0,58	112,00
Roldanillo	458	5,69	6,00	5,83	47,19	6,62	193,90	0,45	102,40	11,00	44,77	3,94	69,06	0,04	299,00
San Pedro	170	5,55	6,49	4,28	47,49	6,25	217,10	0,16	81,50	7,98	37,56	2,30	41,77	0,57	264,70
Sevilla	2.777	5,30	8,00	7,32	37,89	9,30	167,00	0,45	82,80	7,01	71,23	2,99	112,20	0,40	174,60
Toro	365	5,67	8,46	6,34	44,81	13,72	209,80	0,42	86,40	8,55	43,87	3,00	54,99	0,08	353,80
Trujillo	1.378	5,27	7,45	9,89	41,35	4,42	167,80	0,30	76,20	6,44	66,90	2,10	99,00	0,41	134,60
Tuluá	1.053	5,46	7,61	6,26	48,11	8,23	226,40	0,30	85,00	10,80	58,64	4,56	70,07	0,21	248,10
Ulloa	561	5,03	7,95	8,06	40,58	14,12	152,30	0,45	67,90	3,24	61,29	0,83	92,90	0,60	90,52
Versalles	351	6,01	6,86	6,60	40,55	13,16	147,90	0,54	71,80	11,40	40,68	3,16	51,53	0,01	921,00
Vijes	366	5,48	6,68	7,33	43,11	3,84	175,80	0,37	67,40	8,65	59,05	4,22	94,45	0,11	312,10
Yotoco	745	5,39	6,23	12,0	32,28	4,33	164,10	0,39	83,60	5,23	58,32	1,49	76,32	0,31	131,20
Yumbo	189	5,42	8,90	6,59	36,77	3,89	214,60	0,33	71,50	12,20	62,06	5,91	73,41	0,13	227,50

**Tabla 6.** Porcentaje de muestras por municipio y para cada característica evaluada, de acuerdo a los rangos establecidos para café.

Municipio	pH		MO (%)			P (mg.kg <sup>-1</sup> )		K (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )		Ca (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )		Mg (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )		Al (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )									
	<5,0	5,0-5,5	>5,5	<6	6-8	8-14	14-16	>16	<10	10-30	>30	<0,4	0,4-0,6	0,6-0,85	>0,85	<1,5	1,5-3,0	>3,0	<0,4	0,4-0,8	>0,8	<1	>1
Alcalá	33,84	52,71	13,44	23,11	10,50	61,79	3,89	0,71	67,33	20,87	11,79	58,02	18,28	14,50	9,20	12,62	33,25	54,13	12,26	42,92	44,81	78,42	21,58
Andalucía	1,72	48,28	50,00	44,83	13,79	36,21	5,17	0	87,93	8,62	3,45	79,31	13,79	1,72	5,17	0	3,45	96,55	0	1,72	98,28	100,0	0
Ansermanuevo	9,54	34,24	56,22	32,27	26,38	35,73	2,71	2,90	81,67	13,28	5,05	51,64	21,42	15,90	11,04	0,47	4,86	94,67	0,56	2,25	97,19	95,70	4,30
Argelia	3,92	19,71	76,37	22,45	33,89	48,30	3,13	2,22	75,20	18,02	6,79	48,30	19,84	16,19	15,67	1,17	2,74	96,08	0,78	2,22	97,00	97,39	2,61
Bolívar	0,53	15,98	83,49	66,18	21,80	10,70	0,92	0,40	75,69	18,49	5,81	55,75	22,72	14,13	7,40	0,26	0,53	99,21	0,26	0,79	98,94	99,60	0,40
Buga	9,44	47,20	43,36	28,32	10,14	36,01	15,73	9,79	84,62	11,54	3,85	66,08	20,28	7,69	5,94	2,80	5,24	91,96	3,15	6,99	89,86	95,10	4,90
Bugalagrande	10,97	49,37	39,66	62,54	16,77	17,55	1,88	1,25	87,30	8,31	4,39	76,96	14,42	4,55	4,08	1,57	5,02	93,42	0,47	3,45	96,08	96,24	3,76
Caicedonia	15,53	48,73	35,74	42,75	22,44	33,85	0,68	0,29	71,17	17,84	10,99	56,96	22,89	13,02	7,14	3,38	14,34	82,29	3,95	16,97	79,07	90,32	9,68
Cali	51,78	33,43	14,79	15,68	24,85	43,79	5,03	10,65	81,95	11,83	6,21	75,74	11,24	7,10	5,92	19,82	22,78	57,40	10,95	26,63	62,43	57,10	42,90
Cartago	9,57	54,26	36,17	55,67	21,28	21,99	0,35	0,71	84,40	12,41	3,19	64,89	19,15	10,28	5,67	3,19	7,45	89,36	0,71	5,32	93,97	90,78	9,22
Dagua	16,48	36,39	47,13	36,68	34,81	26,50	1,29	0,72	83,81	10,46	5,73	55,30	21,35	12,61	10,74	1,29	6,88	91,83	0,57	2,58	96,85	94,41	5,59
Darién	14,32	61,43	24,25	1,15	6,24	37,88	23,09	31,64	93,07	5,54	1,39	81,99	11,09	4,16	2,77	16,63	38,80	44,57	14,78	45,50	39,72	85,22	14,78
El Águila	9,31	40,20	50,49	22,96	16,18	42,16	9,23	9,48	80,07	13,32	6,62	59,56	22,14	12,09	6,21	4,58	10,46	84,97	3,68	12,50	83,82	93,06	6,94
El Cairo	1,50	13,11	85,39	18,98	28,71	45,07	4,74	2,50	74,41	17,48	8,11	41,32	20,22	16,23	22,22	0,25	1,37	98,38	0,12	0,50	99,38	99,63	0,37
El Cerrito	1,45	30,43	68,12	28,99	24,64	42,03	1,45	2,90	73,91	8,70	17,39	69,57	8,70	15,94	5,80	1,45	4,35	94,20	1,45	1,45	97,10	97,10	2,90
El Dovio	0,85	5,56	93,59	63,25	23,50	11,97	0,43	0,85	74,79	16,67	8,55	55,13	17,52	16,67	10,68	1,28	0	98,72	0	0,85	99,15	99,15	0,85
Florida	8,05	21,19	70,76	58,05	27,97	13,14	0,85	0	68,22	18,64	13,14	88,14	6,36	2,97	2,54	1,27	1,69	97,03	0	1,69	98,31	94,92	5,08
Ginebra	4,43	33,99	61,58	41,38	28,57	24,63	3,45	1,97	90,64	6,16	3,20	78,82	11,33	5,67	4,19	0,25	2,22	97,54	0	1,23	98,77	98,77	1,23
Guacarí	16,38	50,87	32,75	34,49	26,13	31,36	3,48	4,53	94,43	4,88	0,70	80,49	10,80	5,57	3,14	0,35	8,01	91,64	0,35	5,23	94,43	95,47	4,53

Continúa...



...Continuación

Municipio	pH		MO (%)			P (mg.kg <sup>-1</sup> )		K (cmol <sub>e</sub> .kg <sup>-1</sup> )			Ca (cmol <sub>e</sub> .kg <sup>-1</sup> )		Mg (cmol <sub>e</sub> .kg <sup>-1</sup> )	Al (cmol <sub>e</sub> .kg <sup>-1</sup> )									
	<5,0	5,0-5,5	>5,5	<6	6-8	8-14	14-16	>16	<10	10-30	>30	<0,4	0,4-0,6	0,6-0,85	>0,85	<1,5	1,5-3,0	>3,0	<0,4	0,4-0,8	>0,8	<1	>1
Jamundí	77,55	18,43	4,02	12,56	21,11	58,96	4,69	2,68	91,62	5,36	3,02	85,26	8,38	3,69	2,68	43,05	26,97	29,98	24,29	34,00	41,71	20,10	79,90
La Cumbre	11,40	46,88	41,72	10,32	20,22	52,26	9,25	7,96	92,90	4,95	2,15	65,38	16,56	12,04	6,02	2,15	10,75	87,10	1,08	9,03	89,89	96,77	3,23
La Unión	0,92	8,26	90,83	70,18	22,94	6,42	0,46	0	78,90	14,22	6,88	57,34	17,43	15,14	10,09	0	0,46	99,54	0	0	100,0	99,54	0,46
La Victoria	22,83	40,16	37,01	93,31	5,51	1,18	0	0	70,08	19,29	10,63	64,96	19,29	10,63	5,12	0	2,76	97,24	0	0	100,0	90,16	9,84
Obando	13,64	39,94	46,43	74,03	15,58	10,06	0,32	0	79,55	15,58	4,87	68,18	17,21	11,36	3,25	1,30	2,60	96,10	0,97	1,62	97,40	89,94	10,06
Palmira	23,88	25,37	50,75	25,87	36,82	33,83	2,49	1,00	74,13	13,93	11,94	54,23	21,39	14,93	9,45	1,00	6,97	92,04	0	2,49	97,51	81,59	18,41
Pradera	5,49	17,58	76,92	26,37	43,96	2,20	1,10	82,42	5,49	12,09	75,82	17,58	3,30	3,30	3,30	2,20	1,10	96,70	2,20	2,20	95,60	96,70	3,30
Restrepo	4,35	34,18	61,47	15,89	27,44	51,27	4,35	1,05	91,00	6,90	2,10	46,93	22,04	17,84	13,19	0,45	1,95	97,60	0,15	1,35	98,50	98,35	1,65
Riofrío	25,39	56,63	17,98	19,56	15,66	39,85	11,96	12,97	91,57	6,39	2,04	79,70	9,64	6,30	4,36	11,96	21,13	66,91	7,88	23,45	68,67	79,80	20,20
Roldanillo	1,09	21,83	77,07	62,45	22,93	12,88	0,87	0,87	87,34	9,83	2,84	61,79	12,88	12,01	13,32	0,44	1,09	98,47	0	1,09	98,91	99,78	0,22
San Pedro	5,29	32,35	62,35	82,94	12,94	3,53	0	0,59	87,06	9,41	3,53	92,35	5,29	2,35	0	0,59	1,76	97,65	0	0,59	99,41	99,41	0,59
Sevilla	17,79	46,89	35,33	35,00	25,14	38,35	1,04	0,47	77,46	16,38	6,16	58,30	18,19	12,17	11,34	6,41	13,83	79,76	5,37	15,95	78,68	89,45	10,55
Toro	4,93	26,03	69,04	54,79	21,92	21,10	1,92	0,27	79,18	12,05	8,77	62,74	16,44	9,59	11,23	1,10	1,92	96,99	0,82	1,64	97,53	97,26	2,74
Trujillo	18,07	52,98	28,96	19,81	17,78	45,72	8,71	7,98	92,38	6,46	1,16	76,78	12,92	6,97	3,34	6,31	14,22	79,46	5,66	16,76	77,58	87,66	12,34
Tuluá	10,16	38,65	51,19	55,18	23,93	18,52	1,42	0,95	83,57	10,35	6,08	76,92	13,01	5,89	4,18	1,23	4,46	94,30	0,76	2,47	96,77	94,59	5,41
Ulloa	41,71	45,99	12,30	36,36	14,08	45,63	3,03	0,89	67,20	21,75	11,05	52,23	20,50	17,11	10,16	16,22	35,65	48,13	15,86	39,04	45,10	80,04	19,96
Versalles	0,85	6,84	92,31	47,58	29,91	20,80	0,57	1,14	66,67	21,65	11,68	46,72	23,36	12,25	17,66	0,28	0,57	99,15	0	1,14	98,86	99,72	0,28
Vijes	7,65	38,25	54,10	38,52	28,14	28,69	3,83	0,82	94,26	4,64	1,09	65,57	17,21	4,64	0	0,27	2,19	97,54	0	0	100,0	97,81	2,19
Yotoco	8,05	49,53	42,42	6,98	9,53	51,41	16,78	15,30	93,42	5,50	1,07	65,91	16,24	8,46	9,40	5,50	17,85	76,64	4,43	20,27	75,30	91,68	8,32
Yumbo	14,29	43,92	41,80	40,21	38,10	20,11	1,06	0,53	92,59	5,29	2,12	73,54	15,34	6,88	4,23	0,53	2,12	97,35	0	1,59	98,41	97,35	2,65

## Agrupación de los municipios por la metodología de análisis por cuartiles

### Indicadores de la acidez

La acidez del suelo se relaciona básicamente con el nivel del pH y el contenido de aluminio intercambiable.

**pH.** Los resultados concernientes a esta clasificación se presentan en la Tabla 7, y se observa que los municipios de cada cuartil (grupo) se subdividen de acuerdo a los rangos establecidos para café en Colombia (28).

El grupo 1 está conformado por los municipios que tienen los menores niveles

de pH; en esta categoría se encuentran caracterizados los suelos del sector Cali - Jamundí, con los valores descriptivamente más bajos (4,97 y 4,7, respectivamente), que son ácidos o ligeramente ácidos para el cultivo de café. En estos municipios será mayor la probabilidad de encontrar respuesta al encalamiento para neutralizar la acidez. Los menores niveles observados podrían estar relacionados con altas precipitaciones (mayores a 4.000 mm/año) en los Farallones de Cali, según Jaramillo (24), fenómeno que conduce al lavado de las bases Ca, Mg y K del perfil, y debido al cual predominan otros cationes de características ácidas como el Al (20).

En el grupo 2 y en parte de los municipios del grupo

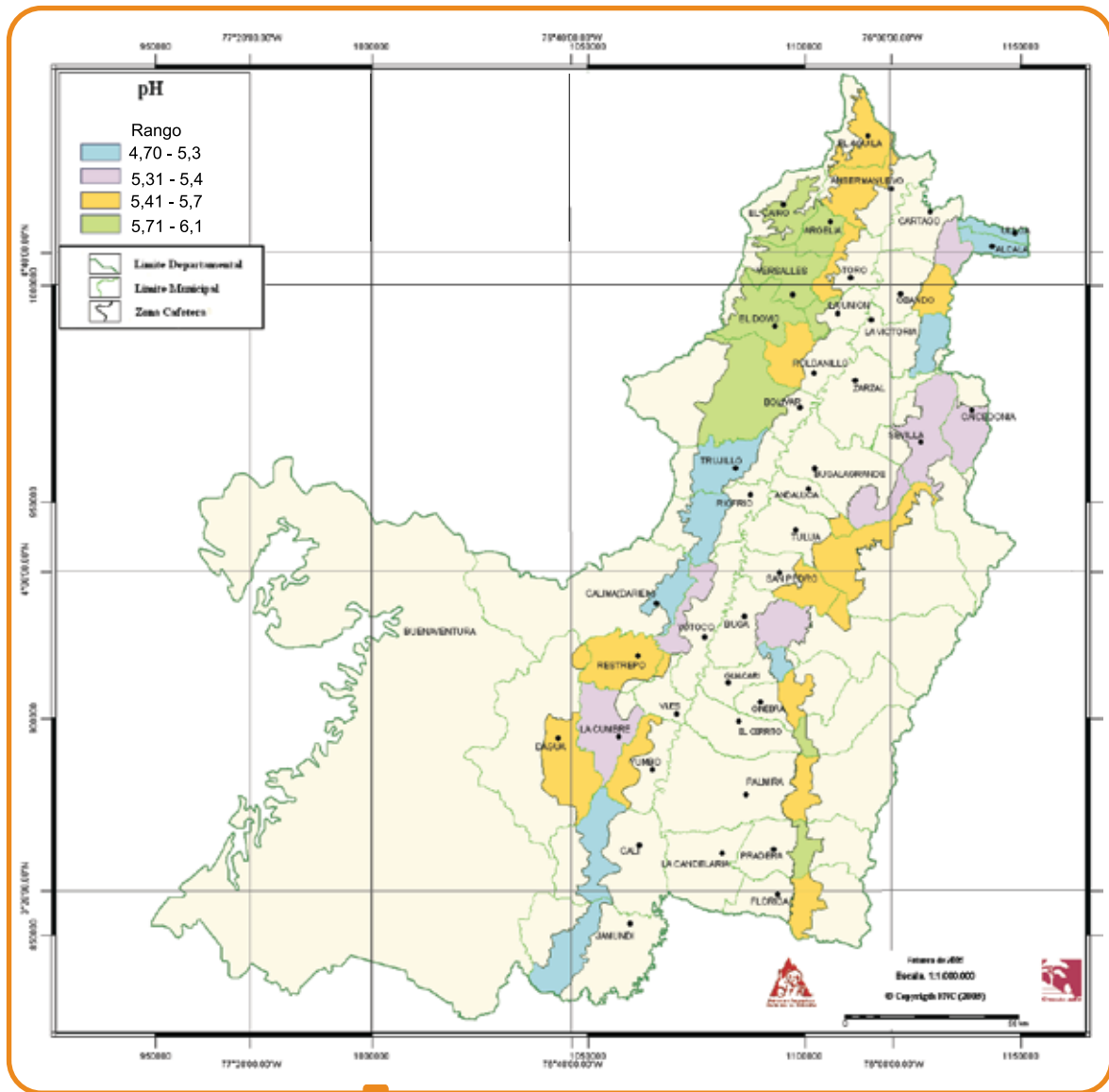
3 la acidez es considerada adecuada, mientras que para Florida, Ginebra, Palmira, Restrepo, Roldanillo, San Pedro, Toro y para el cuarto grupo los valores están por encima de 5,5, es decir, presentan una condición de ligera alcalinidad para café, y para estos se recomienda la aplicación de fertilizantes con mayor poder acidificante como el sulfato de amonio, que al reaccionar desarrolla un pH ácido, además del alto poder desplazante del amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), especialmente con el sodio (19).

De acuerdo con la clasificación por cuartiles se generó el mapa de pH para las áreas cafeteras de los municipios del departamento del Valle del Cauca (Figura 8), donde se ilustra la acidez del suelo para cada uno.

**Tabla 7.** Rangos y municipios que conforman cada grupo (cuartil) para pH, y subdivisión según el criterio técnico para café.

Rangos para café	Agrupación por cuartiles			
	Cuartil 1 4,7 ≤ pH ≤ 5,3	Cuartil 2 5,31 ≤ pH ≤ 5,4	Cuartil 3 5,41 ≤ pH ≤ 5,7	Cuartil 4 5,71 ≤ pH ≤ 6,1
pH < 5,0	Cali, Jamundí	*	*	*
5,0 ≤ pH ≤ 5,5	Alcalá, Darién, Guacarí, La Victoria, Riofrío, Trujillo, Ulloa	Bugalagrande, Caicedonia, Cartago, La Cumbre, Sevilla, Yotoco	Andalucía, Ansermanuevo, Buga, Dagua, El Águila, Obando, Tuluá, Vijes, Yumbo	*
pH > 5,5	*	*	Florida, Ginebra, Palmira, Restrepo, Roldanillo, San Pedro, Toro	Argelia, Bolívar, El Cairo, El Cerrito, El Dovio, La Unión, Pradera, Versalles

\*No hay municipios clasificados en este rango.

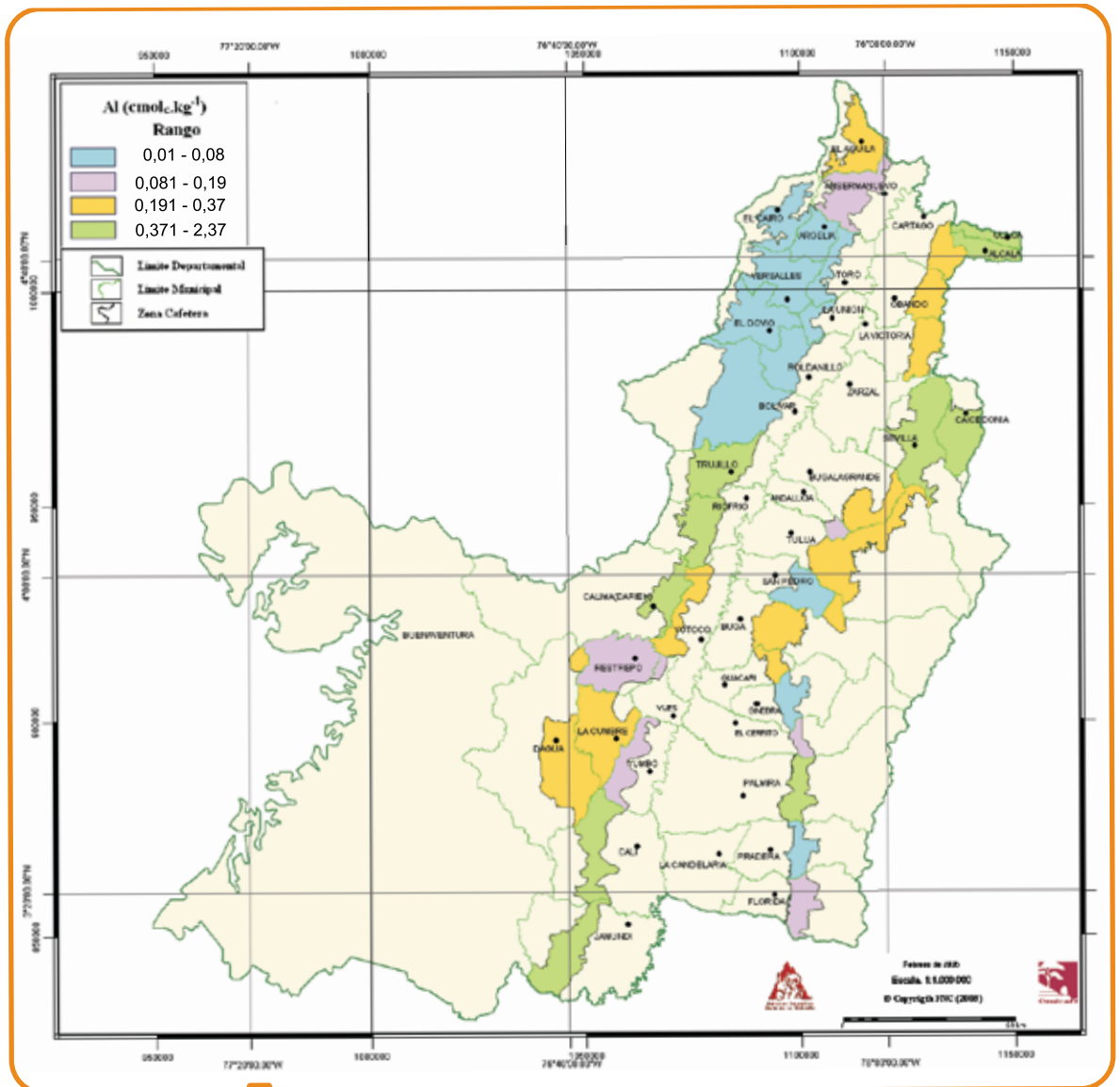


**Figura 8.** Agrupación de municipios del Valle del Cauca según el pH del suelo (Fuente: Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca, 2003).

**Aluminio intercambiable ( $Al^{+3}$ ).** En el caso del aluminio (Tabla 8 y Figura 9), ninguno de los suelos de los municipios presenta contenidos limitantes para

el establecimiento del café (mayor a  $1\text{ cmol}_c.kg^{-1}$ ), con excepción de Cali y Jamundí, que se caracterizan por presentar valores de  $1,01\text{ cmol}_c.kg^{-1}$  y  $2,37$

$\text{cmol}_c.kg^{-1}$ , respectivamente, y se destaca que son municipios donde se explotan minas de bauxita (roca ígnea fuente de aluminio) (11).



**Figura 9.** Agrupación de municipios del Valle del Cauca según el contenido de  $Al$  ( $\text{cmol}_c.kg^{-1}$ ) en el suelo. (Fuente: Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca, 2003).

**Tabla 8.** Rangos y municipios que conforman cada cuartil para AI (cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>), y subdivisión según criterio técnico para café.

Rangos para café	Agrupación por cuartiles			
	Cuartil 1 0,01 ≤ AI ≤ 0,08	Cuartil 2 0,081 ≤ AI ≤ 0,19	Cuartil 3 0,191 ≤ AI ≤ 0,37	Cuartil 4 0,371 ≤ AI ≤ 2,37
AI < 1,0	Argelia, Bolívar, El Cairo, El Dovio, Ginebra, La Unión, Pradera, Roldanillo, San Pedro, Toro, Versalles	Andalucía, Ansermanuevo, El Cerrito, Florida, Restrepo, Vijes, Yumbo	Buga, Bugalagrande, Cartago, Dagua, El Águila, Guacarí, La Cumbre, La Victoria, Obando, Tuluá, Yotoco	Caicedonia, Palmira, Sevilla, Trujillo, Alcalá, Darién Riofrío, Ulloa
AI > 1,0	*	*	*	Cali, Jamundí

\*No hay municipios clasificados en este rango.

**Materia orgánica (MO).** Los municipios pertenecientes a los grupos 1 y 2 se caracterizan por tener suelos con valores promedios de MO menores o cercanos al 8%, nivel que se considera relativamente bajo (Tabla

9 y Figura 10). En aquellos municipios con niveles inferiores al 6% (Bolívar, El Dovio, Florida, La Unión, La Victoria, Obando, Roldanillo y San Pedro), la situación es aún más crítica. Las actuales recomendaciones

contemplan suministrar las máximas dosis de N (280 kg de N/ha/año) para ambos casos, y para niveles de MO muy bajos (menor a 6%), aplicar pulpa descompuesta de café o cualquier fuente orgánica, con el propósito

**Tabla 9.** Rangos y municipios que conforman cada cuartil para MO (%), y subdivisión según el criterio técnico para café.

Rangos para café	Agrupación por cuartiles			
	Cuartil 1 3,7 ≤ MO ≤ 6,1	Cuartil 2 6,11 ≤ MO ≤ 7,3	Cuartil 3 7,31 ≤ MO ≤ 8,8	Cuartil 4 8,81 ≤ MO ≤ 14,3
MO < 6	Bolívar, El Dovio, Florida, La Unión, La Victoria, Obando, Roldanillo, San Pedro	*	*	*
6 ≤ MO < 8	*	Bugalagrande, Caicedonia, Cartago, Dagua, Ginebra, Toro, Tuluá, Versalles, Yumbo	Andalucía, Argelia, El Cerrito, Palmira, Pradera, Sevilla, Vijes	*
8 ≤ MO < 14	*	*	Ansermanuevo, El Cairo, Guacarí, Restrepo, Ulloa	Alcalá, Buga, Cali, El Águila, Jamundí, La Cumbre, Riofrío, Trujillo, Yotoco
14 ≤ MO ≤ 16	*	*	*	Darién
MO > 16	*	*	*	*

\*No hay municipios clasificados en este rango

de mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (32) (Tabla 10).

Los bajos niveles observados en La Unión, La Victoria, Roldanillo, San Pedro y Obando (inferiores al 5%), estarían relacionados con su ubicación en las zonas bajas en el departamento, donde la temperatura es mayor, condición que favorece la mineralización (20).

El grupo 4 incluye los municipios con contenidos

de MO mayores a 8,8%, destacándose Darién con un promedio superior a 14%, nivel que se considera alto. Ninguno tuvo porcentajes mayores que 16%, considerado como un contenido muy alto.

#### Fósforo aprovechable (P).

En la Tabla 11 y la Figura 11, se presentan los grupos para esta propiedad. En los dos primeros grupos, el fósforo es inferior a 10 mg.kg<sup>-1</sup>, nivel bajo para

café, mientras que para los demás el nivel es medio para este cultivo. Resultados similares se han reportado en algunas regiones y cultivos de Colombia, donde predominaron las deficiencias de este elemento (23).

En la Tabla 12 se consignan las recomendaciones actuales para la aplicación de fósforo de acuerdo con los resultados del análisis de suelos.

**Tabla 10.** Recomendaciones actuales de nitrógeno para la fertilización de cafetales tecnificados en la etapa de producción con base en el análisis de suelos.

Fuente	Contenido de materia orgánica del suelo (%)			
	Menor de 6 <sup>(1)</sup>	Entre 6 y 8	Entre 8 y 14 ó mayor de 16	Entre 14 y 16
Nitrógeno (N) (kg/ha/año)	280	280	240	200
Urea (46% de N) (kg/ha/año)	610	610	520	435

<sup>(1)</sup> Además del fertilizante nitrogenado se recomienda aplicar pulpa descompuesta o cualquier abono orgánico con el fin de mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.

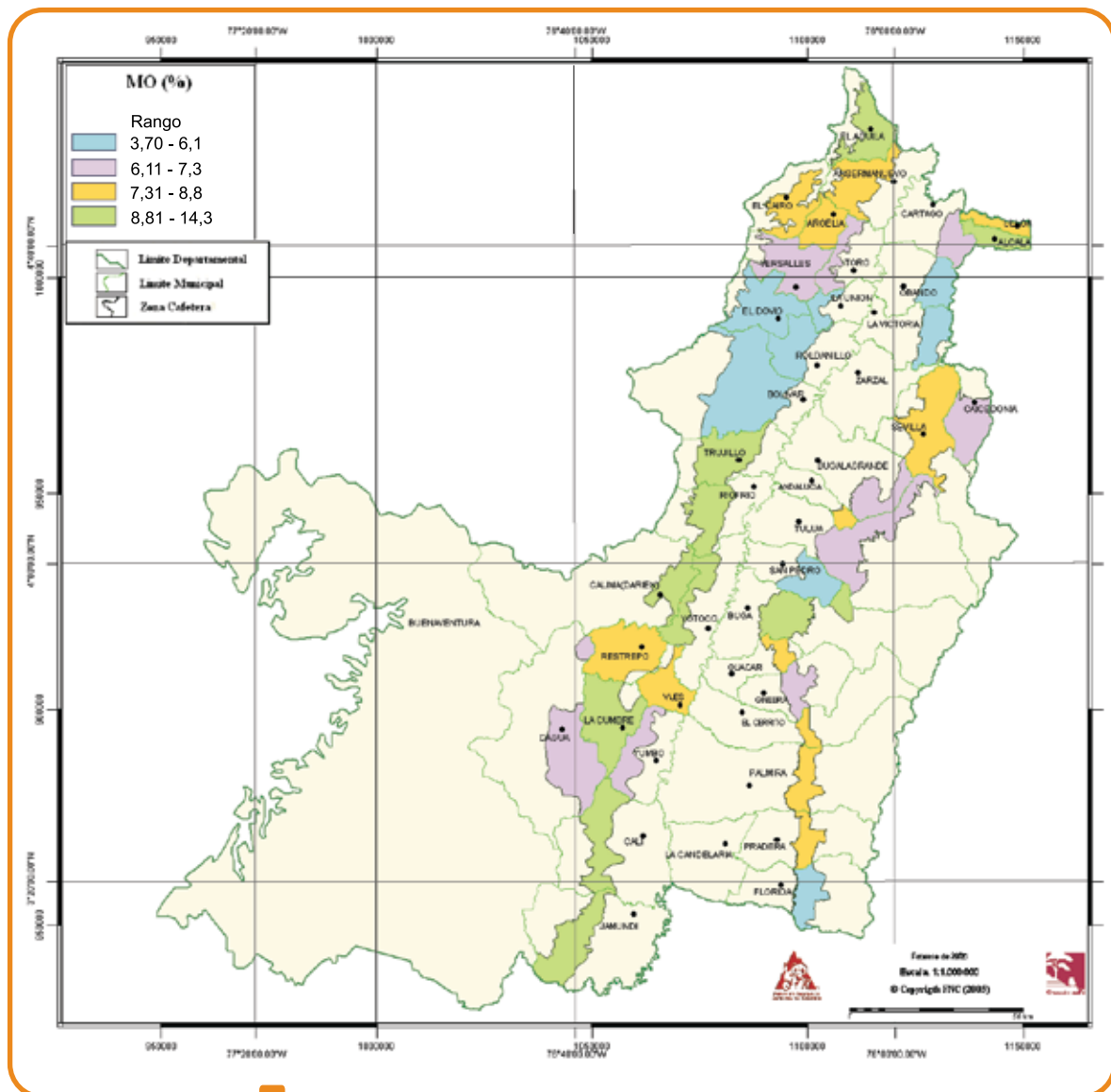
**Tabla 11.** Rangos y municipios que conforman cada cuartil para el P (mg.kg<sup>-1</sup>), y la subdivisión según el criterio técnico para café.

Rangos para café	Agrupación por cuartiles			
	Cuartil 1 3,8 ≤ P ≤ 5,3	Cuartil 2 5,31 ≤ P ≤ 8,2	Cuartil 3 8,21 ≤ P ≤ 11,2	Cuartil 4 11,21 ≤ P ≤ 16,6
P < 10	Darién, Guacarí, Jamundí, La Cumbre, Riofrío, Trujillo, Vijes, Yotoco, Yumbo	Andalucía, Buga, Bugalagrande, Cartago, Ginebra, Obando, Restrepo, Roldanillo, San Pedro	Ansermanuevo, Cali, Dagua, Sevilla, Tuluá	*
10 ≤ P ≤ 30	*	*	Argelia, Bolívar, El Aguila, Pradera	Alcalá, Caicedonia, El Cairo, El Cerrito, El Dovio, Florida, La Unión, La Victoria, Palmira, Toro, Ulloa, Versalles
P > 30	*	*	*	*

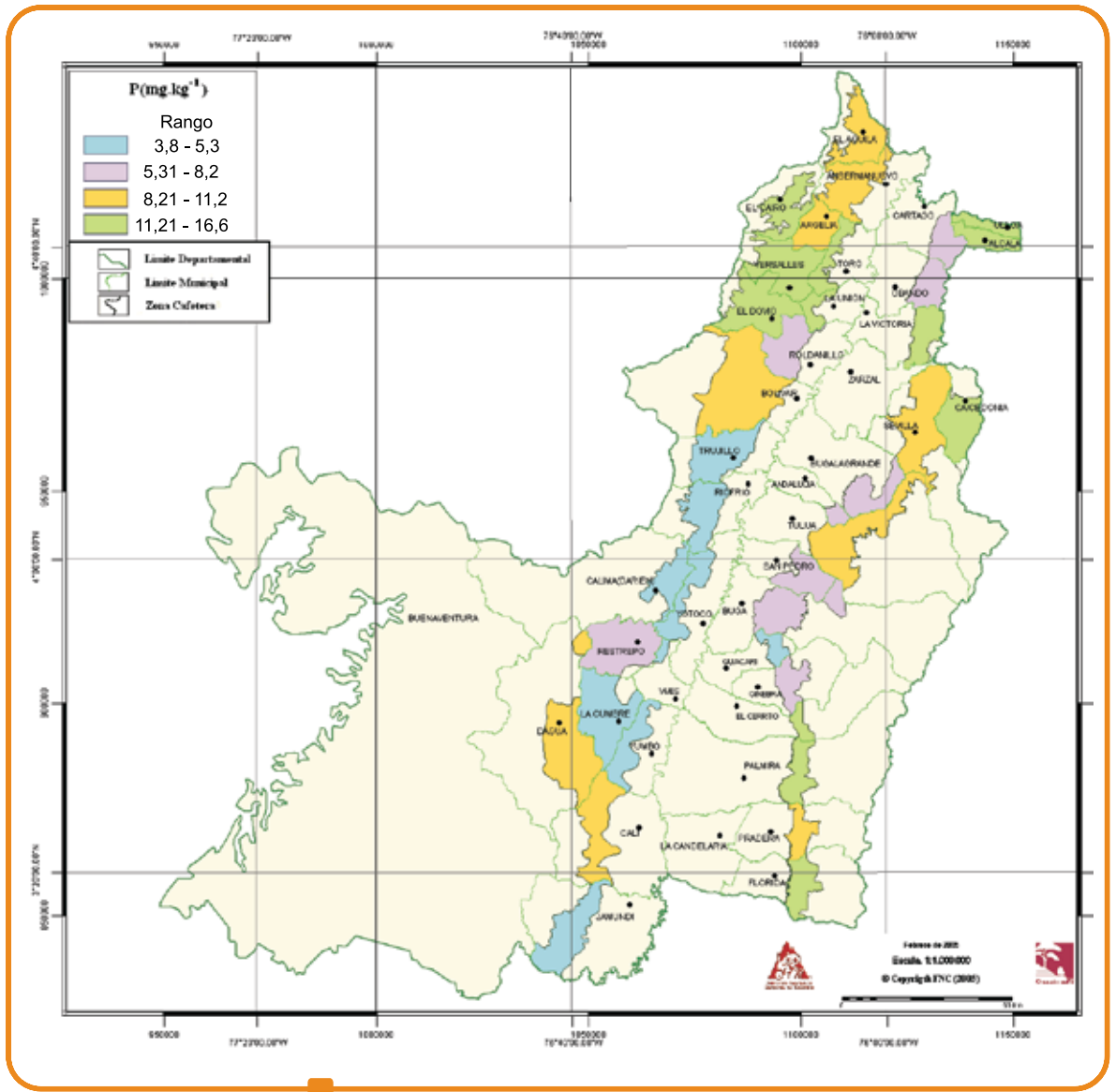
\*No hay municipios clasificados en este rango.

**Tabla 12.** Recomendaciones actuales de fósforo para la fertilización de cafetales tecnificados en la etapa de producción con base en el análisis de suelos.

Fuente	Contenido de fósforo del suelo (mg.kg <sup>-1</sup> )		
	Menor de 10	Entre 10 y 30	Mayor de 30
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (kg/ha/año)	90	45	0
DAP (46% de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> y 18 de N) (kg/ha/año)	200	100	0



**Figura 10.** Agrupación de municipios del Valle del Cauca de acuerdo al porcentaje de MO (%) en el suelo (Fuente: Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca, 2003).



**Figura 11.** Agrupación de municipios del Valle del Cauca para el contenido de P (mg.kg<sup>-1</sup>) en el suelo. (Fuente: Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca, 2003).



## Bases Intercambiables

**Potasio (K<sup>+</sup>).** Los dos primeros grupos, representados por 18 municipios, y cuatro de los 12 municipios del grupo 3, exhibieron bajos niveles de potasio (< 0,4 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>). Los demás grupos tuvieron valores entre 0,40 y 0,60 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>, y el municipio de El Cairo tuvo el contenido más alto (0,67cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>) (Tabla 13 y Figura 12).

Cabe anotar que en todos los grupos, los valores encontrados sugieren la inclusión del elemento en los planes de fertilización, pues no se presentaron niveles mayores a 0,85 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>.

En el cuarto grupo puede apreciarse la tendencia de altos niveles de K en los municipios del Noroccidente del departamento (El Cairo, Ansermanuevo, Argelia,

Versalles, El Dovio, La Unión y Roldanillo); región en la que la unidad Fondesa es muy representativa (17), y en la cual se reportan contenidos de K de 0,62cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> en el horizonte A1 hasta 0,94 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> en el horizonte Bw (11). En algunos casos, esta unidad de suelo se encuentra asociada con la unidad Dovio, con 0,93 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> en el horizonte A1 (11). En los municipios

**Tabla 13.** Rangos y municipios que conforman cada cuartil para K (cmolc.kg-1), y subdivisión según el criterio técnico para café.

Rangos para café	Agrupación por cuartiles			
	Cuartil 1 0,16 ≤ K ≤ 0,31	Cuartil 2 0,311 ≤ K ≤ 0,38	Cuartil 3 0,381 ≤ K ≤ 0,44	Cuartil 4 0,441 ≤ K ≤ 0,67
<b>K &lt; 0,4</b>	Bugalagrande, Darién, Florida, Ginebra, Jamundí, San Pedro, Trujillo, Tuluá	Andalucía, Buga, Cali, Cartago, Guacarí, Obando, Pradera, Riofrío, Vijes, Yumbo	El Cerrito, La Cumbre, La Victoria, Yotoco	*
<b>0,4 ≤ K ≤ 0,6</b>	*	*	Alcalá, Bolívar, Caicedonia, Dagua, El Águila, Palmira, Toro	Ansermanuevo, Argelia, El Dovio, La Unión, Restrepo, Roldanillo, Sevilla, Ulloa, Versalles
<b>0,6 ≤ K ≤ 0,85</b>	*	*	*	El Cairo
<b>K &gt; 0,85</b>	*	*	*	*

\*No hay municipios clasificados en este rango.

**Tabla 14.** Recomendaciones actuales de potasio para la fertilización de cafetales tecnificados en la etapa de producción con base en el análisis de suelos.

Fuente	Contenido de potasio del suelo (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )			
	Menor de 0,4	Entre 0,4 y 0,6	Entre 0,6 y 0,85	Mayor de 0,85
Potasio (K <sub>2</sub> O) (kg/ha/año)	320	160	80 <sup>(1)</sup>	0
KCl (60% de K <sub>2</sub> O) (kg/ha/año)	530	265	130	0

<sup>(1)</sup> Se recomienda que se aplique en la segunda cosecha principal a partir de la fecha del análisis del suelo.



de Sevilla, Ulloa y Restrepo que también se encuentran en el último grupo, los altos contenidos de este elemento se relacionan con las aplicaciones de fertilizantes potásicos para el cultivo de café en los dos primeros y para el cultivo de piña, en el último.

Las fuentes y las dosis de potasio recomendadas actualmente para cafetales tecnificados en la etapa de producción se observan en la Tabla 14.

**Calcio (Ca<sup>+2</sup>) y magnesio (Mg<sup>+2</sup>).** Los contenidos de Ca y Mg encontrados en los cuatro grupos son altos (mayores de 3,0 y 0,80 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>, respectivamente), por lo que se considera innecesaria la aplicación generalizada de enmiendas o fertilizantes con fuentes de magnesio (Tablas 15 y 17, Figuras 13 y 14). Esta tendencia puede relacionarse con la presencia de rocas básicas que aportan calcio y magnesio, como: basaltos,

calizas, dolomitas, diabasas, gabros, esquistos, pizarras, serpentinas, anfibolitas, andesitas y peridotitas, entre otras, reportadas en el estudio de zonificación para este departamento (11).

El municipio de Pradera se caracteriza por los mayores niveles de estos dos elementos, 19,5 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> de Ca y 7,01 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> de Mg. Según la FNC (11), en Pradera se encuentran las unidades Malabar, Dovo y 200, principalmente;

**Tabla 15.** Rangos y municipios que conforman cada cuartil para Ca (cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>), y subdivisión según el criterio técnico para café.

Rangos para café	Agrupación por cuartiles			
	Cuartil 1 3,2 ≤ Ca ≤ 6,3	Cuartil 2 6,31 ≤ Ca ≤ 8,6	Cuartil 3 8,61 ≤ Ca ≤ 10,5	Cuartil 4 10,51 ≤ Ca ≤ 19,5
Ca < 1,5	*	*	*	*
1,5 ≤ Ca ≤ 3,0	*	*	*	*
Ca > 3,0	Alcalá, Cali, Darién, Jamundí, La Cumbre, Riofrío, Ulloa, Yotoco	Ansermanuevo, Buga, Caicedonia, Cartago, Dagua, El Águila, Guacarí, San Pedro, Sevilla, Toro, Trujillo	Andalucía, Argelia, Bolívar, Bugalagrande, Ginebra, La Victoria, Obando, Restrepo, Vijes	El Cairo, El Cerrito, El Dovio, Florida, La Unión, Palmira, Pradera, Roldanillo, Tuluá, Versalles, Yumbo

\*No hay municipios clasificados en este rango.

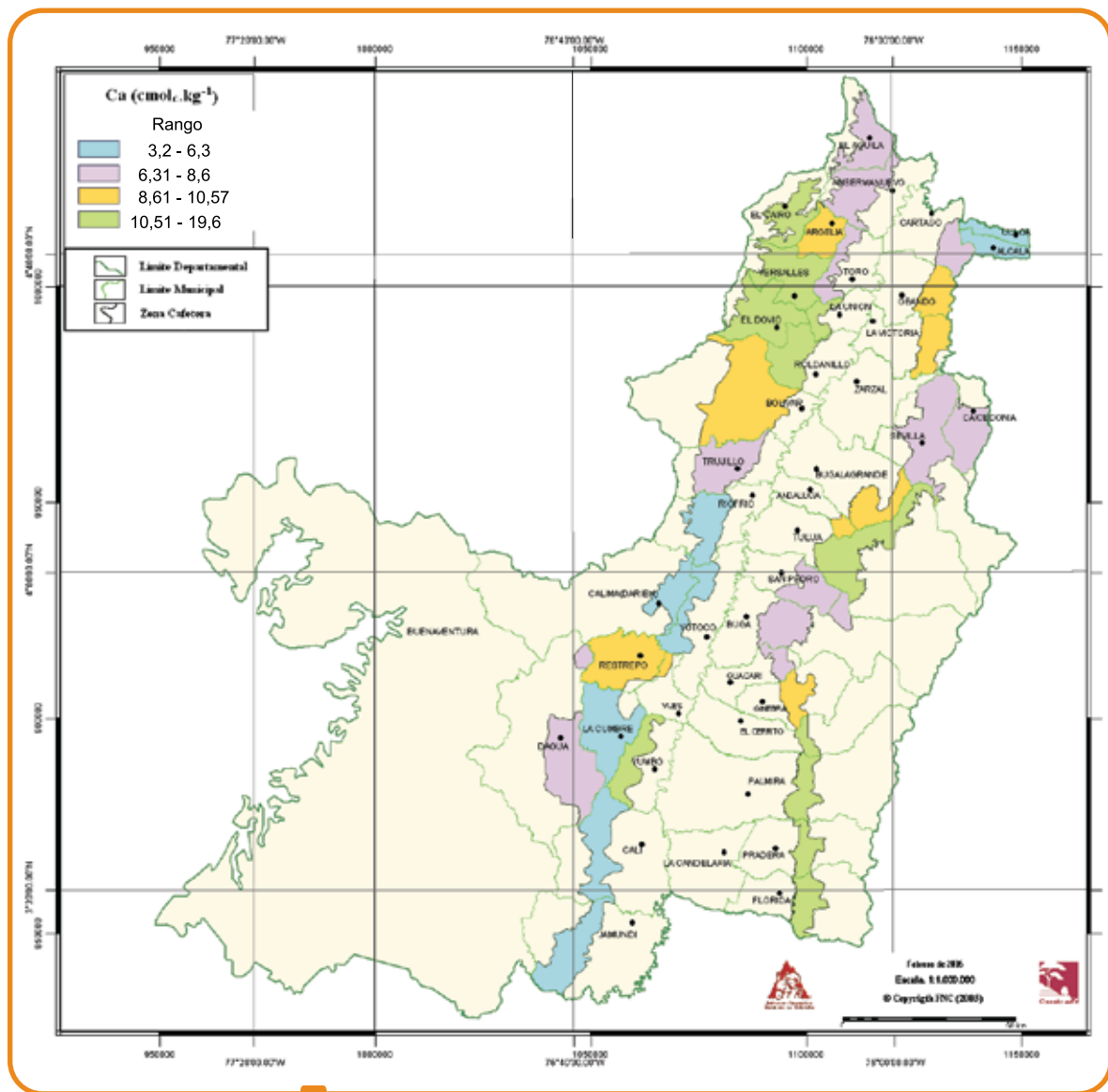
**Tabla 16.** Recomendaciones actuales de cal para el manejo de la acidez en cafetales tecnificados en la etapa de producción con base en el análisis de suelos.

Fuente	Contenido de calcio del suelo (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )		
	Menor de 1,5 <sup>(1)</sup>	Entre 1,5 y 3,0 <sup>(2)</sup>	Mayor de 3,0
Calcio (CaO) (kg/ha/año)	620	380	0
Cal Agrícola (48% de CaO) (kg/ha/año)	1300	800	0

<sup>(1)</sup> Contenido muy bajo de calcio (< de 1,5 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> suelo), asociado a una muy alta acidez (pH menor de 3).  
<sup>(2)</sup> Contenido bajo de calcio (< de 3,0 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> suelo), asociado a una alta acidez (pH entre 4 y 5).

la primera derivada de cenizas volcánicas con altos contenidos de Ca y Mg ( $10,7$  y  $2,7$   $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ ,

respectivamente), y las otras dos derivadas de rocas ígneas con presencia de diabasas y basaltos.



**Figura 13.** Agrupación de municipios del Valle del Cauca de acuerdo con el contenido de Ca ( $\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ ) en el suelo (Fuente: Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca, 2003).

En las Tablas 16 y 18 se encuentran las recomendaciones para la aplicación de Ca y Mg, respectivamente, según el análisis de suelos.

**Promedios de los grupos de municipios para las propiedades químicas del suelo.** En la Tabla 19 se presentan los promedios de las propiedades químicas evaluadas, correspondientes a cada uno de los cuartiles o grupos conformados. Los promedios más bajos se presentan en el primer grupo y los más altos en el último.

El anterior análisis permite concluir que:

- Los niveles de pH y Al son adecuados para el cultivo de café en los municipios del Valle del Cauca, correspondientes a los grupos 1 y 2. Además, el pH de los últimos dos grupos es alto, por lo que se consideran ligeramente alcalinos.
- En todos los grupos de municipios es necesario realizar aplicaciones de N, P y K.
- No es necesaria la aplicación generalizada de Ca y Mg.

Por último, se resaltan los siguientes dos aspectos: a medida que se reduce el nivel de detalle para la evaluación de cada una de las propiedades, se pierde precisión y confiabilidad de la información. Adicionalmente, con la metodología de clasificación por cuartiles se realiza una agrupación, dividiendo la distribución de frecuencias en cuatro partes iguales, lo cual en la mayor parte de los casos no coincide con el criterio actual del manejo de la fertilidad de los suelos para el cultivo de café.

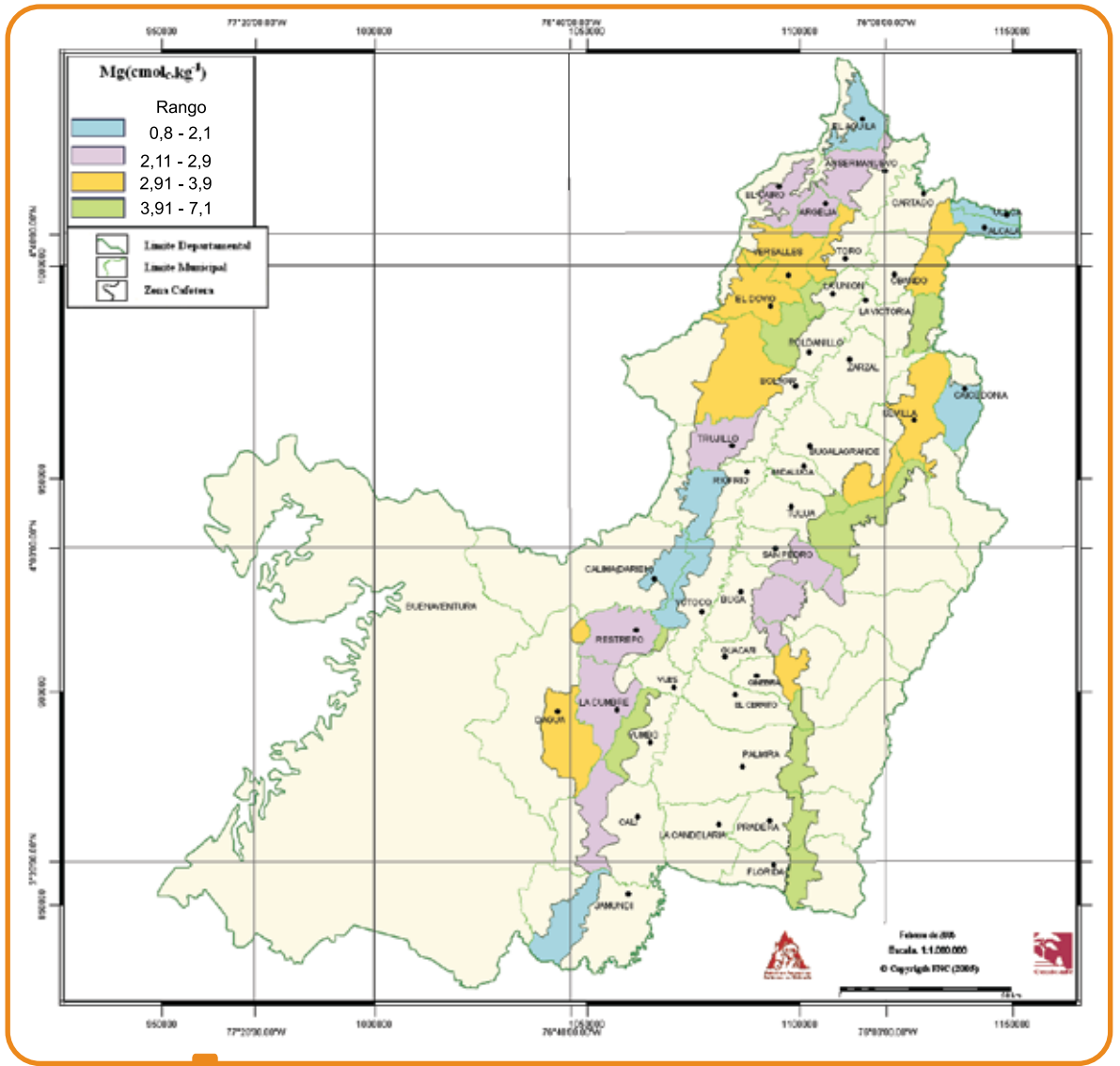
**Tabla 17.** Rangos y municipios que conforman cada cuartil para Mg ( $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ ), y subdivisión según el criterio técnico para café.

Rangos para café	Agrupación por cuartiles			
	Cuartil 1 $0,8 \leq \text{Mg} \leq 2,1$	Cuartil 2 $2,11 \leq \text{Mg} \leq 2,9$	Cuartil 3 $2,91 \leq \text{Mg} \leq 3,9$	Cuartil 4 $3,91 \leq \text{Mg} \leq 7,1$
<b>Mg &lt; 0,4</b>	*	*	*	*
<b><math>0,4 \leq \text{Mg} \leq 0,8</math></b>	*	*	*	*
<b>Mg &gt; 0,8</b>	Alcalá, Caicedonia, Darién, El Águila, Jamundí, Riofrío, Ulloa, Yotoco	Ansermanuevo, Argelia, Buga, Cali, El Cairo, Guacarí, La Cumbre, Restrepo, San Pedro, Trujillo	Bolívar, Bugalagrande, Cartago, Dagua, El Dovio, Ginebra, Obando, Sevilla, Toro, Versalles	Andalucía, El Cerrito, Florida, La Unión, La Victoria, Palmira, Pradera, Roldanillo, Tuluá, Vijes, Yumbo

\*No hay municipios clasificados en este rango.

**Tabla 18.** Recomendaciones actuales de magnesio para la fertilización de cafetales tecnificados en la etapa de producción con base en el análisis de suelos.

Fuente	Contenido de magnesio del suelo ( $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ )		
	Menor de 0,4	Entre 0,4 y 0,8	Mayor de 0,8
Magnesio (MgO) (kg/ha/año)	106	53	0
Óxido de magnesio (88% de MgO) (kg/ha/año)	120	60	0



**Figura 14.** Agrupación de municipios del Valle del Cauca según el contenido de Mg (cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>) en el suelo (Fuente: Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca, 2003).

**Tabla 19.** Promedios y coeficientes de variación para los cuartiles correspondientes a cada característica química del suelo.

Propiedad	Cuartil 1		Cuartil 2		Cuartil 3		Cuartil 4	
	Media	CV %	Media	CV %	Media	CV %	Media	CV %
pH	5,12	3,82	5,35	0,75	5,51	1,67	5,85	2,39
MO (%)	5,07	15,29	6,57	6,01	7,98	6,52	10,53	14,38
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	4,41	10,20	6,74	14,18	9,54	10,10	12,98	12,05
K (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,27	17,31	0,34	7,45	0,41	4,88	0,50	14,04
Ca (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	4,50	28,89	7,45	9,33	9,18	5,67	13,11	20,31
Mg (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	1,44	36,05	2,41	10,51	3,31	8,88	5,26	21,09
Al (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,05	62,52	0,14	13,74	0,25	24,72	0,74	80,99

## Agrupación de los municipios por su fertilidad empleando el análisis multivariado

Un análisis de componentes principales permitió identificar el 50% de las propiedades químicas que mejor explicaban la variación de la fertilidad del suelo en la zona cafetera del Valle del Cauca, las cuales fueron en

orden de importancia: pH, Al, Ca y Mg.

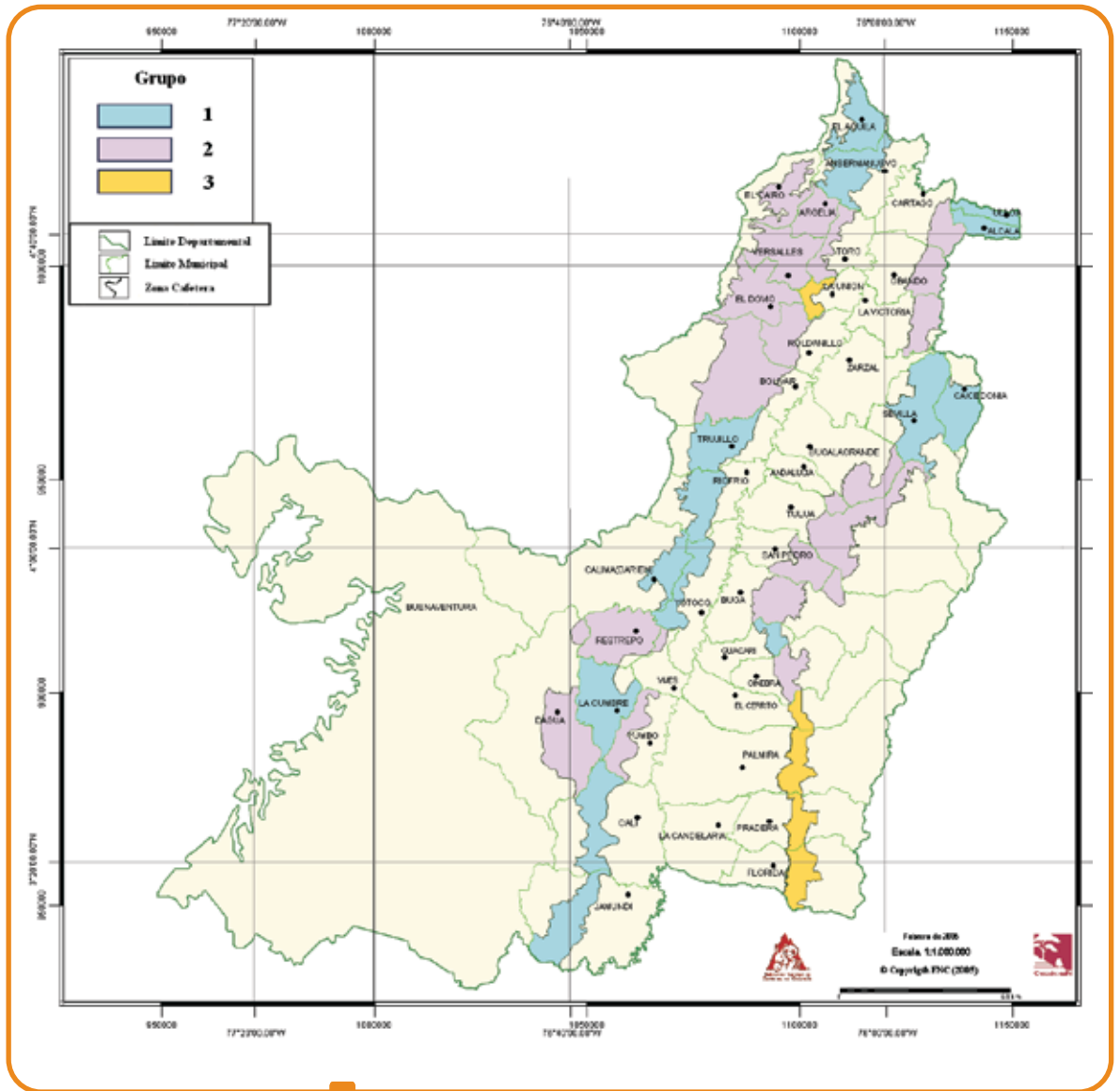
Teniendo en cuenta las propiedades antes mencionadas, se realizó un análisis de cluster para conformar tres grupos de municipios (Tabla 20). La representación de dicha agrupación puede apreciarse en la Figura 15, donde se ilustran los municipios pertenecientes a cada grupo. Se destaca el hecho que las propiedades identificadas mediante el análisis multivariado son

aquellas que se relacionan íntimamente con la acidez del suelo (pH, Ca, Mg y Al), condición que separó a Cali y Jamundí, de los demás municipios.

La Tabla 21 contiene los promedios de los grupos para las propiedades químicas objeto de estudio. Los municipios pertenecientes al grupo 1 tienen mayor acidez, y están caracterizados por valores bajos de pH y altos de aluminio (Al), y alto contenido de MO.

**Tabla 20.** Clasificación de los municipios en tres grupos, según el análisis multivariado.

Grupo	Municipios
1	Alcalá, Ansermanuevo, Caicedonia, Cali, Darién, El Águila, Guacarí, Jamundí, La Cumbre, Riofrío, Sevilla, Trujillo, Ulloa, Yotoco
2	Andalucía, Argelia, Bolívar, Buga, Bugalagrande, Cartago, Dagua, El Cairo, El Dovio, Ginebra, La Victoria, Obando, Restrepo, Roldanillo, San Pedro, Toro, Tuluá, Versalles, Vijes, Yumbo
3	El Cerrito, Florida, La Unión, Palmira, Pradera



**Figura 15.** Agrupación de municipios del Valle del Cauca de acuerdo a la fertilidad del suelo. (Fuente: Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca, 2003).



En el grupo 3 el P, el Ca y el Mg, presentaron los mayores promedios. El contenido de potasio, fue descriptivamente similar en todos los grupos conformados.

En cuanto al cultivo del café se refiere, el grupo 1 se caracteriza por mostrar valores de Ca y Mg por encima de los rangos óptimos, un pH y Al adecuados, y niveles

bajos de MO, P y K. Para el grupo 2, conformado por 20 municipios, el pH y el Al son adecuados para el desarrollo del café, con niveles de Ca y Mg altos, P y K bajos y MO muy baja. El grupo 3, presentó niveles de MO y K bajos, P medio, y pH, Ca, Mg y Al con una tendencia similar a la descrita para el grupo anterior.

Con el análisis multivariado se obtiene una clasificación general, más no detallada de cada una de las propiedades químicas del suelo; el rango para cada grupo y cada característica se amplía, por lo cual entre los grupos que no observan diferencias estadísticas en las variables; y los intervalos de confianza se sobre o subestiman y no siguen una secuencia ascendente.

**Tabla 21.** Promedios e intervalos de confianza al 95% de cada característica para los grupos.

Propiedad	Grupo 1			Grupo 2			Grupo 3		
	LI	LS	Media	LI	LS	Media	LI	LS	Media
pH	5,09	5,34	5,22	5,48	5,68	5,58	5,52	5,92	5,72
MO (%)	8,43	10,67	9,55	5,91	7,38	6,65	5,12	8,55	6,83
P (mg.kg <sup>-1</sup> )	5,69	10,01	7,85	7,02	9,91	8,46	9,69	15,45	12,57
K (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,33	0,40	0,37	0,35	0,45	0,40	0,26	0,47	0,37
Ca (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	4,63	6,51	5,57	8,87	10,17	9,52	12,13	18,43	15,28
Mg (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	1,47	2,23	1,85	3,09	3,89	3,49	5,36	7,01	6,18
Al (cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )	0,25	0,90	0,57	0,09	0,19	0,14	0	0,40	0,18

LI: Límite Inferior. LS: Límite Superior.

## CONCLUSIONES

- En el ámbito general y refiriéndose a los requerimientos para el cultivo de café en Colombia, los suelos de la zona cafetera en el departamento del Valle del Cauca son relativamente deficientes en MO y P, medios de K, y contienen Ca y Mg en altas proporciones.
- En el Valle del Cauca, se encuentran municipios contrastantes en sus características de acidez como Jamundí, otros con niveles adecuados para el cultivo del café como El Águila y otros con propiedades alcalinas como El Dovio.

- A escala municipal se observan diferencias en las propiedades químicas evaluadas, y además se evidencia una alta variabilidad.
- La variabilidad de la fertilidad del suelo está relacionada con el material parental en el caso de Ca, Mg, P, K y Al; con la precipitación para el pH y el Al; con la altitud y la temperatura para la MO y con el manejo del cultivo para el K.
- Los anteriores resultados podrán emplearse en la planificación y la orientación de recursos agrícolas, y en estudios que aborden el tema. Además de ser una guía para el manejo sostenible de la fertilidad del suelo, ya que al no disponer de análisis químicos pueden ajustarse las recomendaciones de fertilización en una amplia población de fincas, teniendo en cuenta la escala de detalle y las limitaciones que se presentan en el uso de la información obtenida.
- Estos resultados no sustituyen los análisis de suelos, los cuales deben realizarse cada dos años en el caso del cultivo de café en Colombia (6, 32).

## GLOSARIO

### **Estadística descriptiva:**

Métodos usados para caracterizar conjuntos de datos numéricos.

### **Distribución de frecuencias:**

Método para organizar y resumir datos. Los datos se clasifican y ordenan indicando el número de veces que se repite cada valor.

**Histograma:** Representación gráfica de la distribución de frecuencias.

**Máximo observado:** El mayor valor que se presenta en un conjunto de datos.

**Mínimo observado:** El menor valor que se presenta en un conjunto de datos.

**Media aritmética:** También conocida como promedio. Es una medida de tendencia central, definida como la suma de una serie de datos y dividida por el número total de ellos.

**Mediana:** Es una medida de tendencia central. Es el valor para el cual, cuando todas las observaciones se ordenan de manera creciente, la mitad de ellas es menor que este valor y la otra mitad es mayor.

**Moda:** Es una medida de tendencia central. En un conjunto de observaciones es el valor de la observación que ocurre con mayor frecuencia.

**Asimetría:** Es el primer factor de la forma de una distribución estadística. Es una medida que se basa en las relaciones entre la media, la mediana y la moda. En una distribución unimodal simétrica el coeficiente de asimetría es cero, es decir, la media, la mediana y la moda son iguales.

**Curtosis:** Es el segundo factor de la forma de una distribución y determina su agudeza. De acuerdo con el grado de agudeza (coeficiente de curtosis), las distribuciones se clasifican en leptocúrtica, mesocúrtica y platicúrtica.

**Cuartiles:** Son los valores que dividen el conjunto

de datos en cuatro partes iguales con base en las frecuencias relativas acumuladas.

**Intervalo de confianza:**

Valores dentro de los cuales se estima un parámetro con un determinado coeficiente de confianza.

**Distribución normal:** Es una distribución de probabilidad continua y simétrica que tiene forma acampanada.

**Correlación:** Grado de relación lineal entre dos o más variables, y es medida por el coeficiente de correlación.

**Coefficiente de determinación:** Es el grado

en el cual la(s) variable(s) independiente(s) explica(n), la variación de la variable dependiente.

**Coefficiente de regresión:**

Es el parámetro o los parámetros con los cuales se cuantifica la relación entre una(s) variable(s) independiente(s) y una variable dependiente.

**Coefficiente de variación:** Es una medida de dispersión que expresa la magnitud de una variable aleatoria respecto a su valor esperado o promedio.

**Análisis multivariado:**

Conjunto de técnicas que pueden ser usadas cuando se realizan varias mediciones sobre un mismo individuo

u objeto en una o más muestras.

**Análisis de componentes principales:**

Es una técnica de análisis multivariado. Se orienta al análisis de las matrices multivariantes de varianzas y covarianzas con el fin de descubrir sus componentes principales, es decir, identificar aquellas variables que tienen un mayor poder explicativo de la variación total del sistema.

**Análisis Cluster:** Técnica de análisis multivariado que consiste en conformar grupos de elementos o individuos, de tal forma que los elementos en un grupo sean similares y disímiles de los elementos de otros grupos.

## AGRADECIMIENTOS

Al Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca, por suministrar la información necesaria para el desarrollo de este trabajo, y por el apoyo logístico brindado.

A los extensionistas de los Comités Municipales de Cafeteros de Sevilla y Trujillo.

Al Dr. Elver Hernando García. Director Unidad de Extensión, hasta diciembre de 2006. Comité

Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca.

A la Sra. Beatriz Helena Trujillo. Analista I Sistemas de Información. Comité Departamental de Cafeteros del Valle del Cauca.

A la Dra. Aura Aydee García. Directora Unidad de Extensión. Comité Departamental de Cafeteros del Cauca.

A la Sra. Flor Pulido.

Cartógrafa. Centro Nacional de Investigaciones de Café - Cenicafé. Por la colaboración brindada en la representación cartográfica.

Al Dr. Daniel Jaramillo, por sus valiosos aportes en la revisión de esta publicación.

Al Sr. Hernando García de la disciplina de Biometría de Cenicafé.

Al personal de la Disciplina de Suelos de Cenicafé.

## LITERATURA CITADA

1. ALPIZAR S., J.M.; UREÑA B., A.L.; RAMÍREZ B., O. Evaluación de la fertilidad de los suelos cultivados de café del cantón de Atenas, Costa Rica. In: SIMPOSIO Latinoamericano sobre Caficultura, 18. San José (Costa Rica), Septiembre 16-18, 1997. Memorias. EDITADO EN: San José (Costa Rica), ICAFE-IICA-PROMECAFE, 1997. p. 223-227.
2. BERTSCH, F.; CHAVARRÍA, A.; HENRÍQUEZ, C. Curso de fertilidad de suelos. San José. (Costa Rica), Colegio de Ingenieros Agrónomos, Julio 20-21, 1990. San José (Costa Rica), Centro de Investigaciones Agronómicas, 1990.
3. BRAVO G., E.; GÓMEZ A., A. Capacidad de fijación de fósforo en seis unidades de suelos andosólicos de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* (Colombia) 25(1):19-29. 1974.
4. CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Beneficios del sombrero de guamo en suelos cafeteros. *Avances Técnicos Cenicafé* 335:1-8. 2005.
5. CARGNELUTTI F., A.; STORCK L.; BARTZ, H. R. Estadísticas dos resultados das análises de laboratorio de solo. *Ciencia Rural*. Santa María. 26 (3): 401 – 406. 1996.
6. CARRILLO P., I.F.; SUÁREZ V., S.; SANZ U., J.R. Cómo obtener una buena muestra para el análisis de suelos. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 214:1-4. 1995.
7. CARVAJAL C., J.F. Cafeto - Cultivo y Fertilización. 2ed. Berna (Suiza), International Potash Institute, 1984. 254 p.
8. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – CENICAFÉ. Sistemas de Producción. Condiciones climáticas y edafológicas adecuadas para el cultivo del café. [En línea]. <<http://www.cenicafe.org>>. (Consultado en Diciembre 28 de 2005).
9. CHIRINOS, A. V.; DE BRITO, J.; DE ROJAS, E. I. Características de la fertilidad de algunos suelos venezolanos vistos a través de resúmenes rutinarios. *Agronomía Tropical*. 21 (5): 397-409. 1971.
10. ESCOBAR, J. A. La heterogeneidad del suelo y los ensayos de uniformidad; Guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. CIAT. 1982. 24 p.
11. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA - FNC. BOGOTÁ. COLOMBIA; PROGRAMA DE DESARROLLO Y DIVERSIFICACIÓN. Estudio de zonificación y uso potencial del suelo en la zona cafetera del Departamento del Valle del Cauca. Bogotá, FNC, 1990.
12. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. BOGOTÁ- COLOMBIA. Sistema de Información Cafetera. Encuesta Nacional Cafetera SICA. Estadísticas Cafeteras. Informe Final. Bogotá, FEDERACAFÉ, 1997. 178p.
13. FOTH, H. D.; ELLIS, B. G. Soil fertility. 2 ed. Boca Raton (Estados Unidos), Lewis Publishers, 1997. 290 p.
14. FUENTES Y., J. L. El suelo y los fertilizantes. 3 Ed. Madrid (España), Ministerio de Agricultura y Pesca - Ediciones Mundi - Prensa. 1989, 283 p.
15. GÓMEZ G., L.; CABALLERO R., A.; BALDIÓN R., J.V. Ecotopos cafeteros de Colombia. Bogotá, FNC, 1991. 131 p.
16. GÓMEZ G., L.; CABALLERO R., A.; BALDIÓN R., J.V. Zonificación agroecológica cafetera de Colombia. In: CONGRESO Nacional de Meteorología, 5. Santafé de Bogotá (Colombia), Marzo 23-25, 1999. Bogotá (Colombia), SOCOLMET-ACCEFYN, 1999.
17. GRISALES G., A. Suelos de la zona cafetera; clasificación y uso. Medellín (Colombia), Fondo Cultural Cafetero, 1977. 142 p.
18. GUERRERO, R. R. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. In: SILVA, M. F. Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. Bogotá (Colombia). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 1988. 473p..
19. GUERRERO, R. R. Sulfato de amonio. Uso Agronómico. Manual Técnico. Monómeros Colombo Venezolanos S. A. 1994. 56p.

20. HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall, 1999. 499 p. Ing.
21. HENAO T., M. C. Caracterización de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de la zona cafetera central colombiana. In: SUELOS del eje cafetero. Pereira (Colombia), UTP-GTZ, 2001. p. 57-77.
22. HENAO T., M. C.; HERNÁNDEZ G., E. Disponibilidad de potasio en suelos derivados de cenizas volcánicas y su relación con la nutrición del café en la etapa vegetativa. *Cenicafé* 53(4):293-305. 2002.
23. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). La fertilidad de suelos Colombianos y las necesidades de fertilizantes. Bogotá, 1981. 74 p.
24. JARAMILLO R., A. Estudio climático de la zona cafetera del Valle del Cauca. Chinchiná (Colombia), *Cenicafé*, 1988. 159 p.
25. JARAMILLO, D. Introducción a la ciencia del suelo. (CD-ROM). Universidad Nacional. Sede Medellín. Facultad de Ciencias. 2002.
26. MATHEW, P.K.; BHEEMA R., M.; CHOKKANNA, N.G. Estudios acerca de la influencia de los nutrientes utilizables en el suelo sobre el rendimiento de los cafetos Indios. In: SESIONES del Grupo Técnico de Trabajo sobre Producción y Protección del Café, 1. Rio de Janeiro (Brasil), 23-30 de octubre, 1965. Roma (Italia), FAO, 1965.
27. NELSON, L. Estadística en la investigación del uso de fertilizantes. Ottawa (Canadá), INPOFOS, 1999. 66 p.
28. PALACIOS, F. A.; BRAVO, G. E. Metodología preliminar para la mapificación de la fertilidad de los suelos en la zona cafetera. *Suelos Ecuatoriales*. 17: (1). 7 - 15. 1987.
29. PARKER F., W.; NELSON W., L.; WINTERS E.; MILES I E. The broad interpretation and application of soil test information. *Agronomy Journal* 43(3): 105-112. 1951.
30. SADEGHIAN KH., S. Determinación de niveles críticos de los nutrimentos para el cultivo del café en suelos de la zona cafetera. *Suelos de la zona cafetera. Resumen del informe anual de actividades 2002-2003*. *Cenicafé*.
31. SADEGHIAN KH., S. Efecto de la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio sobre las propiedades químicas de suelos cultivados en café. *Cenicafé*, 54(3): 242-257. 2003.
32. SADEGHIAN KH., S.; DUQUE O., H. Análisis de suelos: importancia e implicaciones económicas en el cultivo del café. *Avances Técnicos Cenicafé* No.308:1-8. 2003.
33. SCOTT, H.D. Soil physics: agricultural and environmental applications. Ames (Estados Unidos), Iowa State University Press, 2000. 421 p.
34. TRANGMAR, B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*. Vol. 38: 45 - 94. 1985.
35. URIBE H., A. Efecto del fósforo en la producción de café. *Cenicafé* 34(1):3-15. 1983.
36. URIBE H., A.; MESTRE M., A. Efecto del nitrógeno, el fósforo y el Potasio sobre la producción de café. *Cenicafé* 27(4):158-173. 1976
37. VALENCIA A., G. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Chinchiná, *Cenicafé - Agroinsumos del Café S. A.*, 1999. 94 p.
38. VALENCIA A., G.; CARRILLO P., I.F. Interpretación de análisis de suelos para café. *Avances Técnicos Cenicafé* No.115:1-5. 1983.