

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO, FÓSFORO, POTASIO Y MAGNESIO SOBRE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE SUELOS CULTIVADOS EN CAFÉ

Siavosh Sadeghian Kh.*

RESUMEN

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

Se evaluó el efecto de la fertilización sobre las características químicas de suelos cultivados con café en 34 fincas y 7 Subestaciones Experimentales. Los tratamientos fueron 5 combinaciones de N, P, K y Mg, uno con todos los elementos (NPKMg), y los 4 restantes determinados con base en el criterio del elemento faltante. Se aplicaron 240kg/ha/año de N y de K₂O, 80kg/ha/año de P₂O₅, y 60kg/ha/año de MgO, en dos épocas. Se tomaron muestras del suelo en marzo de 2000 y dos años después. Los contenidos de N-NO₃⁻ fueron similares en los tratamientos PKMg (16,54mg/kg) y NPKMg (16,19mg/kg). Mediante la ecuación cuadrática $N(\%) = -0,0547 + 0,0551MO(\%) - 0,0008MO^2(\%)$ se explicó el 89% de los incrementos del N total en función de las variaciones de MO. El contenido inicial de P se incrementó en más de 27ppm. El pH se incrementó en 0,29 unidades con la aplicación de Mg en ausencia de N. El contenido inicial de K⁺ se incrementó en 0,38cmol_c kg⁻¹ con la adición conjunta de K y N, mientras que al excluir el N, el incremento fue de 0,78cmol_c kg⁻¹, alcanzando 1,21cmol_c kg⁻¹. El contenido inicial de Mg²⁺ (0,87cmol_c kg⁻¹) se incrementó significativamente, registrando el nivel más alto en ausencia de N (2,8cmol_c kg⁻¹).

Palabras claves: Suelos, fertilidad, fertilización, café.

ABSTRACT

The effect of fertilization on chemical characteristics of coffee crops soils in 27 farms and 7 experimental places was evaluated. The treatments consisted of five combinations of N, P, K and Mg. One with all the elements (NPKMg), and the others determined based on the criteria of the missing element. 240kg/ha/year of N and K₂O, 80kg/ha/year of P₂O₅, and 60kg/ha/year of MgO were used in two applications. Soil samples were taken in March 2000 and two years later too. The N-NO₃⁻ contents were similar in treatments PKMg (16.54mg/g) and NPKMg (16.19 mg/g). By the quadratic equation $N(\%) = -0.0547 + 0.0551MO(\%) - 0.0008MO^2(\%)$, 89% of the total N growth in function of OM variations was explained. P increased more than 27ppm; pH increased in 0.29 units when Mg was applied without N. Initial K⁺ content increased in 0.38cmol_c kg⁻¹ when K and N were applied; whereas when excluding N, K increased in 0.78cmol_c kg⁻¹ reading 1.21cmol_c kg⁻¹. Initial Mg²⁺ content (0.87cmol_c kg⁻¹) significantly increased and registered the highest level when N was not applied (2.8cmol_c kg⁻¹).

Keywords: Soils, fertility, fertilization, coffee.

* Ingeniero Agrónomo M.Sc. Asistente de Investigación. Disciplina de Suelos. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Los cambios químicos generados en el suelo por el uso de los fertilizantes varían de acuerdo a la dinámica propia de cada elemento, la dosis y fuentes empleadas, los sistemas de aplicación y las características particulares del suelo y del clima, entre otros. El incremento en el nivel del nutrimento aplicado, así como su persistencia y residualidad a través del tiempo, son aspectos importantes a tener en cuenta, junto con el efecto del fertilizante sobre la reacción del suelo y la disponibilidad de otros elementos (5).

Referente a lo anterior, los aspectos de mayor interés ambiental y técnico se relacionan con la acidificación del suelo y la pérdida de las bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+). En este sentido, juegan un papel importante los fertilizantes nitrogenados, pues su aplicación genera un excedente de H^+ que gradualmente reemplaza a las bases, que son lavadas y transportadas a los horizontes subyacentes, acompañadas de aniones en las aguas de percolación. En casos severos, la acidificación resultante está asociada al incremento de elementos como el Fe^{3+} y el Mn^{2+} , hasta llegar a niveles que son tóxicos para las plantas (4, 7). El efecto acidificante de los fertilizantes nitrogenados depende de la fuente empleada. La acidez provocada por el sulfato de amonio por unidad de nitrógeno aplicada es mayor que la de nitrato de amonio y úrea (5, 4).

Son muchos los estudios desarrollados con relación al efecto de los fertilizantes sobre las características químicas del suelo y su residualidad, ya que ejercen una considerable influencia sobre la productividad de las cosechas, determinan la respuesta del cultivo a la adición de los nutrimentos, y afectan la calidad del medio ambiente. El interés generado en esta materia tomó mayor relevancia debido al incremento en el uso de los abonos sintéticos. Los primeros estudios detallados en la zona cafetera colombiana fueron desarrollados por

López (9), quien determinó durante 25 meses los cambios ocurridos por la aplicación de algunos fertilizantes en un suelo Franco Arenoso de la Unidad Chinchiná. En este trabajo se encontró un efecto residual del fósforo sólo en el primer año y pérdidas significativas de Ca, Mg y K por la aplicación de sulfato de amonio, sin que se incrementara la acidez. Se registró un aumento temporal de K intercambiable, el cual desapareció gradualmente al cabo de dos años. El Mg presentó una mayor residualidad frente al Ca y K.

Valencia *et al.* (14), en un ensayo realizado en macetas de 25 litros de capacidad, evaluaron el efecto de la aplicación de diferentes portadores de nitrógeno durante tres años sobre la fertilidad de suelos procedentes de 4 localidades. Se encontró disminución de los valores del pH y el desplazamiento de las bases intercambiables por los fertilizantes nitrogenados, siendo mayor el ocasionado por el sulfato de amonio, seguido por el nitrato de amonio y 12-12-17-2. El mismo autor (15), registra valores más bajos de pH, Ca y Mg, y mayores de P y K en el plato del árbol (zona de fertilización), que en las calles del cultivo.

Sadeghian *et al.* (13) evaluaron las características del suelo en diferentes agroecosistemas del departamento del Quindío, encontrando una mayor acidez y menores contenidos de Ca^{2+} y Mg^{2+} en cafetales tecnificados frente a los tradicionales, tendencias que fueron relacionadas con una mayor utilización de los fertilizantes nitrogenados.

En otras investigaciones desarrolladas en Centro y Suramérica (2, 12, 16), se logró corroborar el efecto de las fuentes nitrogenadas sobre la acidificación y la pérdida de las bases intercambiables a mediano plazo en suelos cultivados con café. Rivera y Martín (12) no obtuvieron incrementos en los valores de P y K^+ debidos a la aplicación de fertilizantes que contenían estos elementos, mientras que

Bustamante *et al.* (2) y Carvajal (3), registraron aumentos crecientes, conforme a la cantidad de fertilizante suministrado.

Otro factor importante en la acidificación del suelo es la remoción de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ por los cultivos, la que toma mayor importancia al incrementarse la producción como resultado de la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, en cuyo caso se generan dos fuentes simultáneas de acidez (4). Un fenómeno asociado a lo anterior es el sinergismo que puede existir entre los nutrientes, el cual explica la acción positiva de un elemento sobre la absorción de otro y su efecto sobre la fertilidad del suelo. Como ejemplo se puede citar la interacción de $\text{N} \times \text{K}$ en café, registrada por Carvajal (3), quien indica que al incrementar la cantidad de fertilizante nitrogenado también se debe elevar la dosis de K para aumentar el rendimiento, pues al excluir el N de los planes de abonamiento se afecta negativamente la producción. También se afecta la absorción de K, contribuyendo así a la reducción de la remoción de K^+ del suelo, debido a la menor toma de este elemento por las plantas.

Teniendo en cuenta la importancia del tema, se evaluó el efecto de la aplicación sistemática de N, P, K y Mg en cultivos de café sobre las características químicas del suelo en algunas regiones representativas de la Zona Cafetera Colombiana.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en 27 fincas y 7 Subestaciones Experimentales del Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, ubicadas en 10 departamentos de Colombia, que abarcan 25 municipios cafeteros, contrastantes por sus condiciones de clima y suelo (Tabla 1).

En cada localidad se seleccionaron plantaciones tecnificadas de café variedad Colombia o Caturra, con densidades entre 4.000 y 10.000 árboles por hectárea y edades entre 2 y 3 años (iniciando el ciclo productivo), bajo plena exposición solar o con sombrero parcial, y manejadas según las recomendaciones de Federacafé. Los planes de fertilización antes de iniciar el experimento sólo incluían el nitrógeno y el fósforo en la mayoría de las plantaciones, aunque en algunas de ellas se había aplicado potasio y realizado encalamientos.

Los tratamientos consistieron en 5 combinaciones de N, P, K y Mg; uno con todos los elementos (NPKMg), y los cuatro restantes determinados con base en el criterio del elemento faltante (Tabla 2). Las cantidades empleadas de estos nutrientes correspondieron a las dosis recomendadas por Cenicafé, cuando no se cuenta con análisis de suelos y mediante las cuales se pueden obtener buenas cosechas, sin ocasionar toxicidad de las plantas (15).

Las fuentes fertilizantes fueron Úrea (46% de N), Superfosfato triple-SFT (46% de P_2O_5), Cloruro de potasio (60% de K_2O) y Óxido de magnesio (88% de MgO). Estas fuentes se cuentan entre las más utilizadas en la mayoría de las regiones cafeteras, a excepción de SFT, pues comúnmente se emplea el DAP para suplir los requerimientos de fósforo, además de proporcionar nitrógeno (18%). La utilización de SFT en lugar de DAP se debió a las exigencias del experimento para utilizar una fuente simple de fósforo en el tratamiento sin nitrógeno (PKMg).

En cada sitio se estableció una sola repetición de los cinco tratamientos, a excepción de dos Subestaciones en los departamentos de Antioquia y Quindío, en donde se instalaron dos repeticiones; así mismo en dos fincas en el Quindío se establecieron tres repeticiones, bajo diseño de bloques completos al

Tabla 1. Información sobre la ubicación geográfica de los sitios.

Departamento	Municipio	Vereda	Finca	Altitud(m)
Antioquia	Venecia	El Cerro	Sub. El Rosario	1.630
Caldas	Manizales	El Rosario	La Pradera	1.430
Caldas	Palestina	Los Lobos	Chaparral	1.265
Caldas	Anserma	Cauya	Cuba	1.650
Caldas	Pensilvania	San Miguel	La Palma	1.450
Caldas	Manzanares	Cantadelicia	Cantadelicia	1.500
Caldas	Manzanares	Buenosaires	El Placer	1.500
Caldas	Salamina	El Tigre	Santa Rosa	1.750
Caldas	Salamina	Colorados	El Edén	1.846
Caldas	Risaralda	Cambía	Sorrento	1.150
Caldas	Pácora	El Topasio	Toledo	1.840
Caldas	Chinchiná	La Floresta	San José	1.300
Caldas	Chinchiná	Guacamayo	La María	1.400
Cauca	Timbío	Guacas	El Rastrojo	1.760
Cauca	Popayán	Figueroa	La Esperanza	1.760
Cauca	Piendamó	Cañadulce	La Trinidad	1.650
Cesar	P. Bello	Pueblo Bello	Sub. Pueblobello	1.380
Cesar	P. Bello	Cuestaplata	Bella Vista	1.640
Cesar	La Paz	La Laguna	La Norteña	1.400
Cesar	Codazzi	San Jacinto	Los Andes	1.490
C/marca	Sasaima	S. Bernardo	Sub. S/ Barbara	1.450
C/marca	Sasaima	Santa Teresa	El Paraíso	1.650
C/marca	Sasaima	S. Bernardo	Villa Gilma	1.450
Guajira	Fonseca	Las Colinas	Las Aguas	1.320
Risaralda	Pereira	El Retiro	Sub. La Catalina	1.350
Quindío	Quimbaya	Quimbaya	Maracay	1.450
Quindío	Bellavista	Los Balsos	San Alberto	1.520
Quindío	Córdoba	Río Verde	Mónaco	1.350
Santander	F/blanca	Vericute	Sub. Santander	1.495
Santander	B/manga	El Gualilo	El Gualilo	1.380
Santander	B/manga	La Capilla	Sabaneta	1.570
Tolima	Líbano	La Unión	Sub. Líbano	1.500
Tolima	Líbano	Paraíso	La Arcadia	1.450
Tolima	Líbano	La Marcada	La Marcada	1.400

Tabla 2. Tratamientos evaluados en el experimento y las respectivas dosis de nutrientes empleadas.

Tratamiento	Elemento faltante	Dosis (kg/ha/año)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
NPKMg	-	240	80	240	60
PKMg	N	0	80	240	60
NKMg	P	240	0	240	60
NPMg	K	240	80	0	60
NPK	Mg	240	80	240	0

azar. Las dimensiones de las parcelas experimentales y su arreglo espacial fueron ligeramente diferentes en cada sitio, como consecuencia de las variaciones en las densidades de siembras de las plantaciones y la forma de los lotes. El área de las parcelas fluctuó entre 100 y 120m² por tratamiento, para un total de 500 a 600m², correspondientes a los 5 tratamientos, que se asignaron de manera aleatoria.

Los fertilizantes se aplicaron en los meses de marzo y septiembre de los años 2000 y 2001, al inicio del período lluvioso en cada región. Se tomaron muestras de suelo por parcela en la zona de aplicación de fertilizantes (“plato” del árbol), a 20cm de profundidad, antes de la primera fertilización y 6 meses después de la cuarta (marzo de 2002), procurando reducir en el mayor grado posible el efecto residual de la última fertilización efectuada.

Se analizaron las siguientes propiedades del suelo: pH (método potenciométrico- relación suelo:agua desionizada 1:1 p/p), materia orgánica (método Walkley-Black y valoración por colorimetría a 585nm), N (método Semimicro

Kjeldahl), P (extracción con Bray II, coloración Bray-Kurtz y lectura por colorimetría a 660nm), K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ (extracción con acetato de amonio 1N a pH 7,0 y lectura por espectrofotometría de absorción atómica) y Al³⁺ (extracción con KCl 1N y valoración por espectrofotometría de absorción atómica). Adicionalmente, se determinó la Capacidad de Intercambio Catiónico-CIC (extracción con acetato de amonio 1N- NaCl 1N y lectura por colorimetría a 410nm con reactivo de Nessler), en una muestra compuesta del lote experimental con el objetivo de tener una mayor información sobre la fertilidad del suelo.

En la segunda evaluación se valoraron los niveles de N-NO₃⁻ en los tratamientos de fertilización completa (NPKMg) y sin N (PKMg), mediante el método de RQ-Flex.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Indicadores de la disponibilidad de nitrógeno. El contenido de la MO no presentó cambios a través del tiempo. En la Figura 1 se pueden

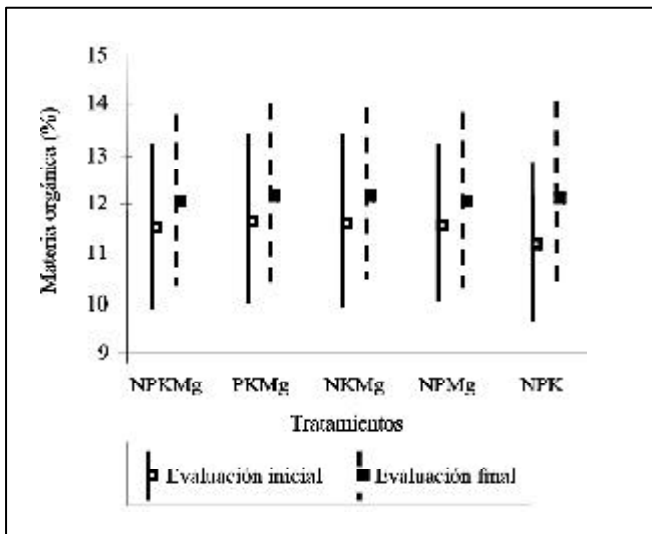


Figura 1. Intervalos de confianza para el contenido promedio de materia orgánica, por tratamiento y evaluación.

observar los intervalos de confianza para los valores iniciales y finales, en cada uno de los tratamientos.

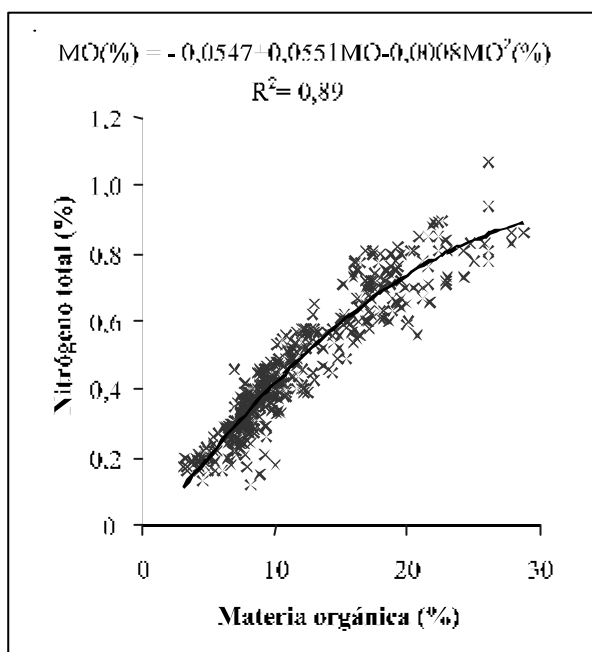
La principal causa en la pérdida de la MO se relaciona con la erosión, mientras que las ganancias son consecuencia de los aportes de materiales orgánicos de distinta naturaleza. Pavan *et al.* (11), encontraron que a largo plazo (15 años), el establecimiento de cafetales de alta densidad contribuye a incrementar el carbono orgánico del suelo como consecuencia de la acumulación de residuos orgánicos y un mayor control de la erosión. Sin embargo, para el caso de este estudio no se esperan efectos significativos a corto plazo.

La aplicación de úrea no afectó los niveles totales de N en ninguno de los tratamientos. Las variaciones registradas fueron explicadas en función casi exclusiva de los contenidos de MO (Figura 2). Una tendencia similar fue registrada por Carrillo, citado por Valencia (15),

utilizando 1.174 muestras de suelo de la zona cafetera colombiana.

Al analizar los valores de nitratos, seis meses después de haberse realizado la última fertilización, tampoco se detectaron incrementos de esta fracción como resultado del suministro de N. Se registró un promedio de 16,19mg/kg de N-NO_3^- al aplicar todos los nutrientes estudiados (NPKMg), frente a 16,54mg/kg, obtenido en el tratamiento sin N (PKMg). Esta tendencia coincide con lo registrado por Aguilar (1) y Ochoa (10), quienes bajo condiciones de la Zona Cafetera Central Colombiana encontraron una reducción gradual de los nitratos provenientes de la fertilización nitrogenada a través del tiempo, hasta llegar a niveles cercanos a los iniciales, 4 ó 6 meses después de su aplicación. En contraposición a lo anterior, Carvajal (3), encontró residualidad de esta fracción 5 y 8 meses luego de la fertilización en un suelo de Costa Rica, clasificado como Andosol.

Figura 2.
Comportamiento del contenido de N total, en función de los niveles de materia orgánica.



Efecto de la fertilización fosfórica. Como se puede apreciar en la Figura 3, antes de iniciar la aplicación de los tratamientos el 66% de los suelos contenían menos de 10ppm de P disponible (nivel que se considera bajo y para el cual se recomienda la máxima dosis de fertilizante), y sólo el 15% superaban los 30ppm (nivel que se clasifica como muy alto, y para el cual no se recomienda la fertilización fosfórica).

La aplicación sistemática de 80kg de P_2O_5 /ha/año incrementó a 39% la frecuencia de las parcelas con contenidos superiores a 30ppm, mientras en el 37% de ellas no fue posible elevar

los niveles en más de 10ppm; comportamiento que se relaciona con el poder de fijación particular de algunos suelos incluidos en el estudio.

Con la aplicación de P se logró elevar los niveles iniciales de este elemento; registrando una alta variabilidad entre los valores finales (Figura 4).

Al comparar los contenidos promedios finales de fósforo, el tratamiento sin este elemento (NKMg) fue diferente a los demás, a excepción de NPK; sin embargo, el con-

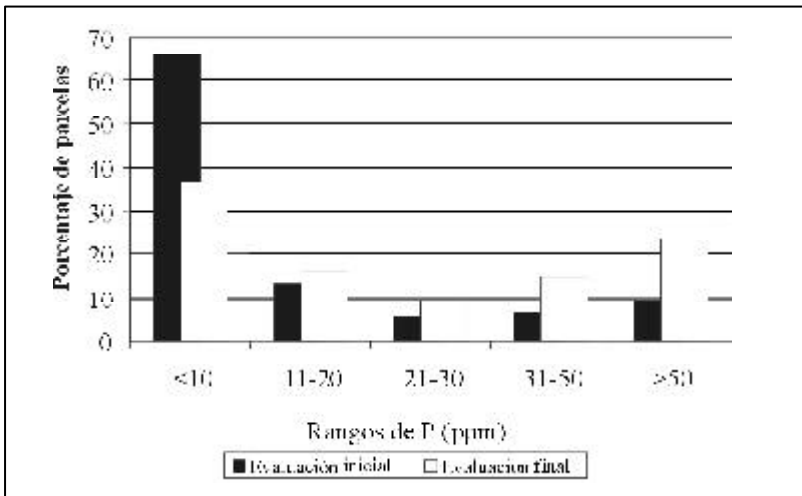


Figura 3. Porcentaje de parcelas, de acuerdo con los niveles de fósforo en el suelo, por evaluación. Incluye solamente las parcelas fertilizadas con fósforo.

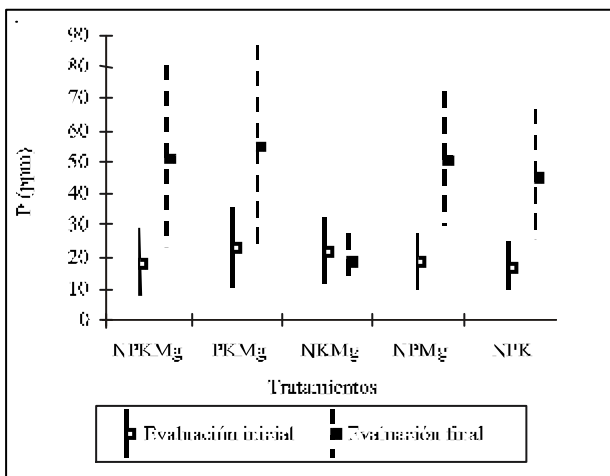


Figura 4. Intervalos de confianza para el contenido promedio de fósforo, por tratamiento y evaluación.

tenido medio de P, en este tratamiento se incrementó en 26,6ppm, con respecto al contenido inicial (Tabla 3 y Figura 4).

Efecto sobre la acidez. El pH del suelo se incrementó estadísticamente en 0,29 unidades, cuando se excluyó el nitrógeno de los planes de fertilización (Figura 5). Descriptivamente, se observó una tendencia a incrementar los niveles de este elemento en los tratamientos que incluían el magnesio.

Los tratamientos no afectaron los contenidos iniciales del Al^{3+} ; sólo se presentó una ligera reducción en los niveles de este elemento como consecuencia del aumento del pH, al no aplicar nitrógeno. En la Figura 6 se presentan los intervalos de confianza para los valores iniciales y finales de cada tratamiento.

Se logró explicar el 67% de la variación del Al^{3+} en función del pH a partir de los resultados obtenidos en la evaluación final. La Figura 7 muestra la reducción del Al intercambiable a medida que disminuye la acidez, hasta llegar a niveles inferiores a $1\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$, cuando el pH está por encima de 5,0. En estos niveles se considera mínimo el efecto tóxico del Al^{3+} para el café (14, 15).

Tabla 3. Promedio y coeficiente de variación para los contenidos finales de fósforo, en cada tratamiento.

Tratamiento	Elemento Faltante	Fósforo	
		Promedio* (ppm)	C.V. (%)
NPKMg	-	50,5a**	181,3
PKMg	N	52,4a	182,8
NKMg	P	18,1b	136,6
NPMg	K	49,8a	133,2
NPK	Mg	44,7ab	146,6

*Para el análisis de varianza, los datos fueron transformados a $\log 10(x)$.

**Letras no comunes, indica diferencia estadística entre promedios, según prueba de Tukey al 5%.

En la Tabla 4 se consignan los promedios finales de pH y aluminio para los cinco tratamientos. Se registraron diferencias en la reacción del suelo (pH), resultantes de la aplicación diferencial de los elementos objeto de estudio, siendo la acción simultánea de N y Mg la causal de ello. La fertilización con úrea, como fuente de N, ocasionó un ligero aumento de la acidez (disminución del pH), y el suministro de Mg aplicado en forma de óxido favoreció su reducción (aumento del pH). Las diferencias entre los valores promedios del pH

Figura 5. Intervalos de confianza para el promedio del pH, por tratamiento y evaluación.

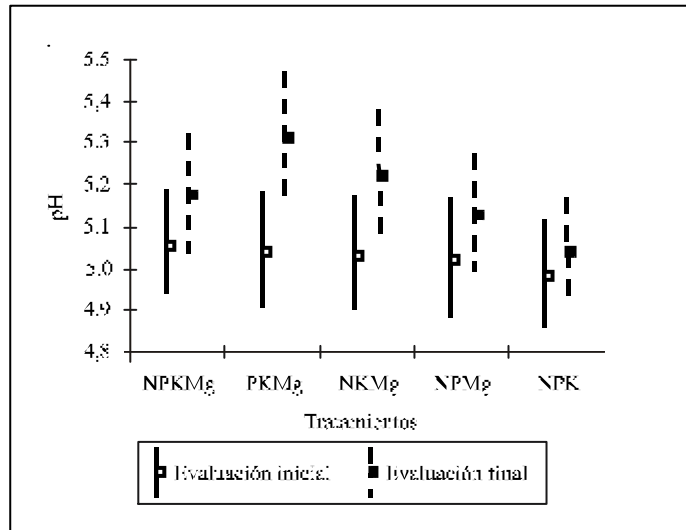


Tabla 4. Promedio y coeficiente de variación para pH y aluminio, en cada tratamiento evaluado.

Tratamiento	Elemento faltante	pH		Al	
		Promedio	CV(%)	Promedio (cmol _c kg ⁻¹)	CV(%)
NPKMg	-	5,18ab*	8,7	1,28a*	126,1
PKMg	N	5,32a	9,3	1,15a	140,3
NKMg	P	5,22ab	9,5	1,23a	115,8
NPMg	K	5,13ab	8,7	1,51a	119,4
NPK	Mg	5,04b	7,7	1,49a	104,0

*Letras no comunes, indica diferencia estadística entre promedios, según prueba de Tukey al 5%.

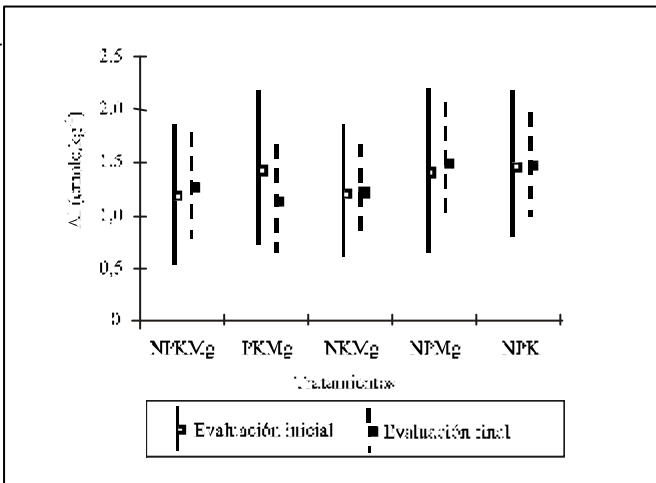


Figura 6.

Intervalos de confianza para el contenido promedio de aluminio, por tratamiento y evaluación.

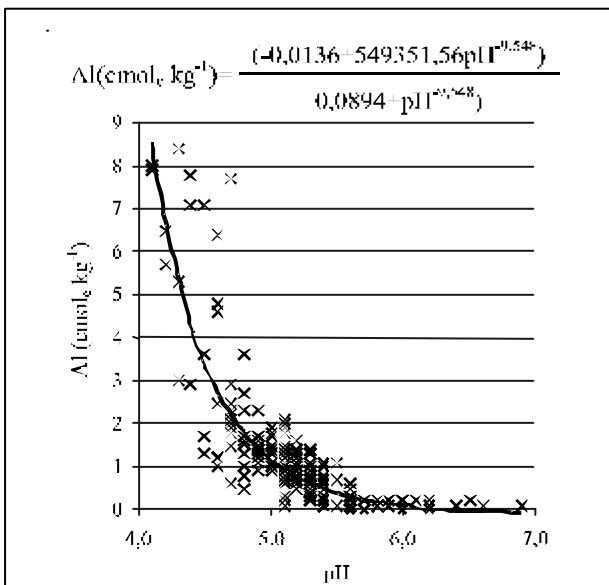


Figura 7.

Comportamiento del aluminio en función de los cambios de pH.

sólo fueron significativas entre los tratamientos sin N y sin Mg, resultando el comportamiento de los demás tratamientos, intermedio entre éstos dos.

Pavan *et al.* (11) justifican el descenso del pH en suelos cultivados con café, como resultado de un excedente de iones H^+ que se genera en la nitrificación de amonio, provenientes de la fertilización nitrogenada, y que no es neutralizado por la liberación de iones OH^- en el proceso de absorción de NO_3^- por las raíces de las plantas.

El hecho de que la aplicación de N, sin el acompañamiento de Mg (NPK), no haya reducido el pH, puede estar relacionado con el efecto tampón del suelo ejercido antes de comenzar la aplicación de los tratamientos, ya que durante la etapa del establecimiento los cafetales recibieron aportes de N, lo cual sugiere una reducción y posterior estabilización del pH en esta etapa.

Efecto sobre las bases intercambiables.

Potasio. Al iniciar el estudio, 62% de las parcelas presentaba contenidos inferiores a $0,4\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ de potasio (nivel considerado bajo), y sólo

el 9% superaban el $0,85\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ (contenido que se clasifica como muy alto). Después de 2 años de fertilización el 49% de las parcelas contenían más de $0,85\text{cmol}_c\text{kg}^{-1}$ (Figura 8).

El suministro de 240kg/ha/año de K_2O durante dos años se tradujo en un incremento de los contenidos iniciales de K^+ ; comportamiento que se muestra en la Figura 9, mediante los intervalos de confianza.

El nivel promedio de K^+ en el tratamiento NPMg no se disminuyó con el tiempo. Sabiendo que el potasio es uno de los elementos de mayor demanda por el cultivo de café en la fase reproductiva se esperaría una reducción en sus niveles, consecuencia de la extracción ejercida. Como se mencionó anteriormente, la mayoría de las plantaciones en donde se llevó a cabo el experimento no habían recibido aportes de este elemento antes de comenzar la aplicación de los tratamientos, razón por la cual no existía un marcado efecto residual previo de fertilizantes que fuera reduciendo con el tiempo. El anterior fenómeno estaría sugiriendo un límite mínimo en el cual el nivel de K^+ en el suelo se estabilizaría.

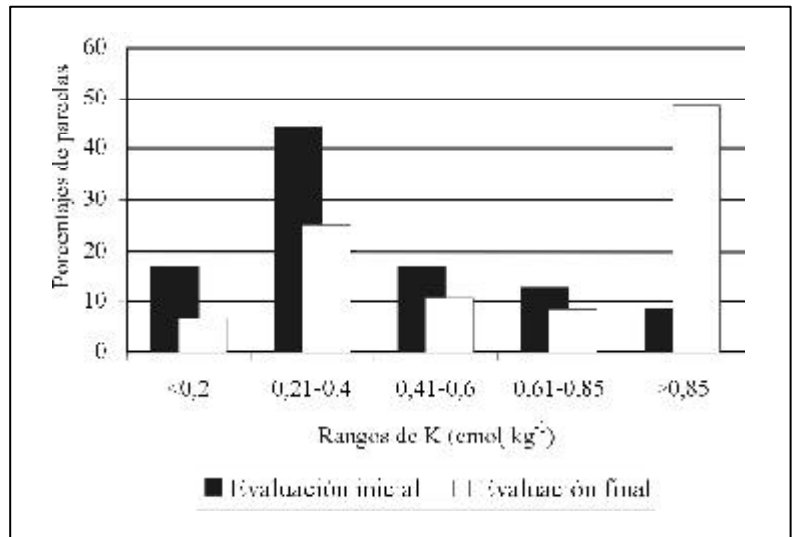


Figura 8. Porcentaje de parcelas, de acuerdo con los niveles de potasio en el suelo, por evaluación. Incluye solamente las parcelas fertilizadas con potasio.

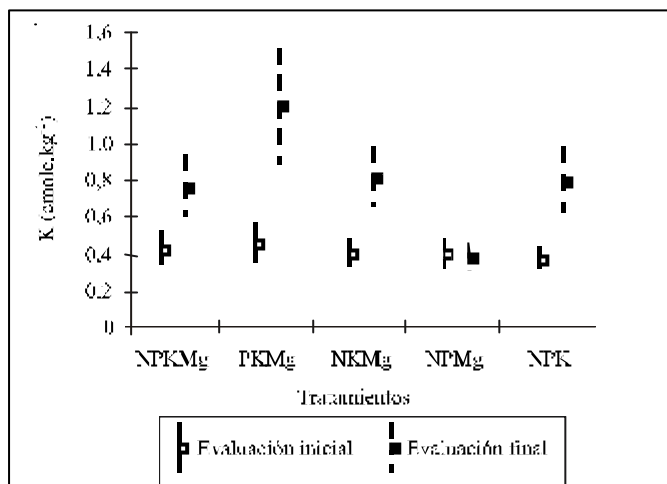


Figura 9. Intervalos de confianza para el contenido promedio de potasio, por tratamiento y evaluación

El incremento de los valores de K^+ fue mayor cuando no se aplicó N (Tabla 5). El contenido promedio en los tres tratamientos que incluyeron tanto el N como el K ($0,81\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$), fue equivalente al doble del valor inicial ($0,43\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$), mientras que en el tratamiento sin N alcanzó niveles, en promedio, tres veces mayores ($1,21\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$). Esta diferencia de $0,4\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$, a favor del tratamiento que no incluyó el N en su fórmula puede atribuirse a dos factores interrelacionados: el primero, y el más importante, el efecto del fertilizante nitrogenado sobre la pérdida del K^+ , especialmente si se considera la alta solubilidad de la fuente empleada (KCl). El segundo factor tiene que ver con la mayor extracción de K^+ , re-

sultante de una producción más alta, cuando fue suministrado N; pues en el segundo año el rendimiento de los tratamientos con este elemento fue superior en más de 19%.

Magnesio. Antes de iniciar la aplicación de los tratamientos, el 32% de las parcelas contenía menos de $0,4\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ de Mg^{2+} (nivel considerado bajo para el cultivo de café), el 27% entre $0,41$ y $0,8\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ (rango medio), y el restante 41% entre $0,81$ y $3,0\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ (Figura 10). Seis meses después de haber realizado la cuarta fertilización (24 meses del inicio del experimento), sólo el 12% de las parcelas presentaba niveles por debajo de $0,4\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$, el 19% entre $2,1$ y $4,0\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$, y el 14%

Tabla 5. Promedios y coeficiente de variación, para los contenidos finales de potasio, calcio y magnesio, por tratamiento.

Tratamiento	Elemento faltante	K		Ca		Mg	
		Promedio ($\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$)	C.V. (%)	Promedio ($\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$)	C.V. (%)	Promedio ($\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$)	C.V. (%)
NPKMg	-	0,78b*	65,3	3,56a	106,9	2,11ab	120,6
PKMg	N	1,21a	82,6	3,97a	94,1	2,81a	142,5
NKMg	P	0,83b	61,2	3,26a	93,2	2,70a	164,8
NPMg	K	0,40c	60,8	3,43a	90,2	2,31a	134,4
NPK	Mg	0,81b	68,4	3,58a	87,9	0,80b	72,4

* Promedios con letras diferentes presentan diferencia estadística según prueba Turkey al 5%.

contenidos superiores a $4,0\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$, incluso hasta $22,5\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$, valores extremadamente altos.

Al igual que el P y K, la fertilización con Mg se tradujo en incrementos de este nutriente en el suelo hasta alcanzar promedios superiores a dos veces los niveles iniciales (Figura 11).

Todos los tratamientos, a excepción del NPKMg, fueron diferentes estadísticamente al

testigo sin Mg, obteniéndose el nivel más alto cuando no se aplicó N (Tabla 5). En algunos casos cuando los contenidos de Mg^{2+} alcanzaron niveles muy altos, la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva-CICE, calculada como suma de bases y Al^{3+} (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Al^{3+}), excedía o estaba muy cercana a la Capacidad de Intercambio Catiónico-CIC, determinada en el laboratorio con el acetato de amonio 1N a pH 7,0 (Tabla 6). Este evento, como lo describe León (8), se debe a las imprecisiones

Figura 10. Porcentaje de parcela, de acuerdo con los niveles de magnesio en el suelo, por evaluación. Incluye solamente las parcelas fertilizadas con magnesio.

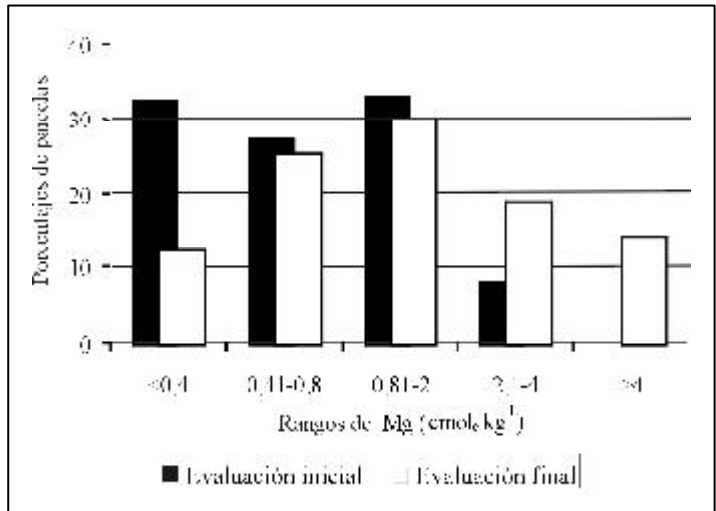
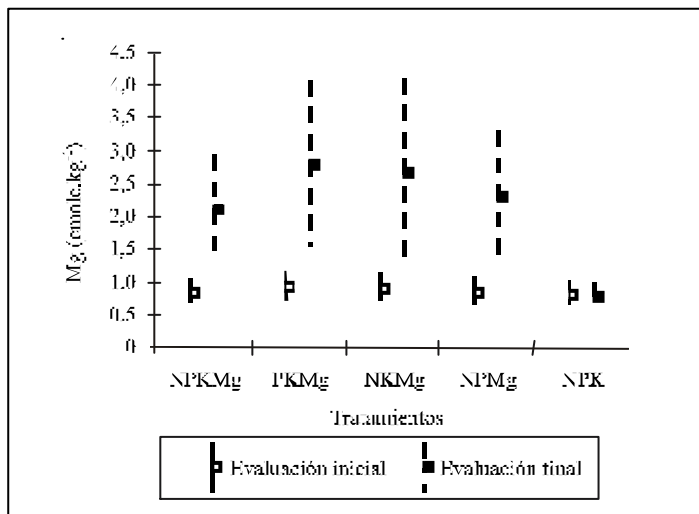


Figura 11. Intervalos de confianza para niveles de magnesio, en promedio, por tratamiento y evaluación.



del método analítico para valorar la disponibilidad real de los cationes, pues parte del Mg llamado “intercambiable” en realidad se encuentra en el suelo bajo otras formas diferentes a las neutralizadas por las cargas negativas de los coloides órgano-minerales. En el caso particular de la fuente empleada (óxido de magnesio), su baja solubilidad se tradujo en una acumulación de las formas no intercambiables, incluso formando en algunas ocasiones costras sobre la superficie de aplicación. Guerrero (6) registra la muy baja solubilidad del óxido de magnesio (0,09g/litro) como una desventaja comparativa de esta fuente, especialmente para cultivos de ciclo corto; sin embargo, resalta su eficacia en los cultivos perennes.

Como se mencionó la fertilización con Mg favoreció el incremento del pH. La Figura 12, ilustra el comportamiento de estas dos variables; tendencia que fue explicada mediante un modelo cuadrático.

Calcio. La aplicación de Superfosfato Triple-SFT no incrementó el contenido de Ca^{2+} en el suelo (Tabla 5). Bustamante *et al.* (2), registraron un ligero aumento de Ca^{2+} al elevar las dosis de SFT en cafetales que se establecieron sobre suelos clasificados como “Pardo sin carbonato”. Vinasco *et al.* (17), también obtuvieron aumentos de Ca intercambiable, al incubar durante 6 y 12 semanas, dos suelos clasificados como Typic Dystrandept y Typic Dystropept, de naturaleza ácida, con SFT.

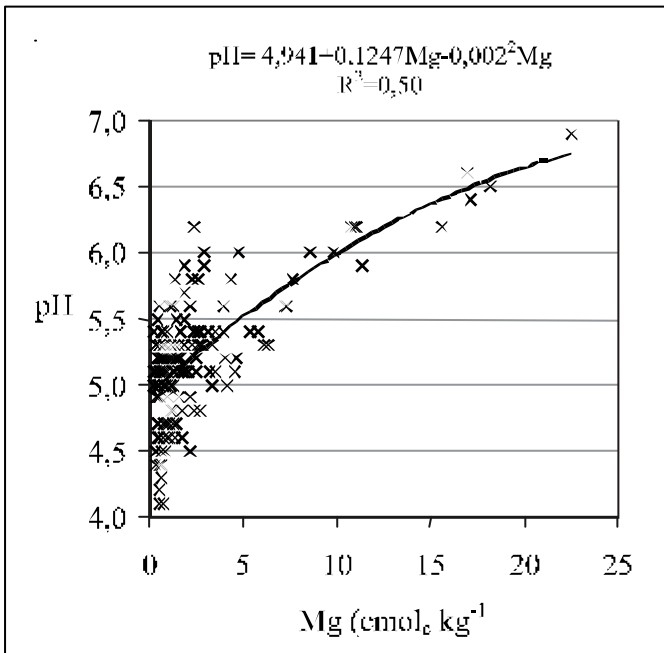


Figura 12. Comportamiento del pH en función de los cambios de magnesio.

Tabla 6. Rangos para magnesio y CICE en los tratamientos con fertilización magnésica y CIC en tres sitios.

Finca	Rango de Mg ($cmol_c kg^{-1}$)	Rango de CICE ($cmol_c kg^{-1}$)	CIC ($cmol_c kg^{-1}$)
Cantadelicia	10,7 - 22,5	20,5 - 30,0	17
El Placer	11,4 - 18,2	21,4 - 35,5	21
La Palma	4,3 - 11, 1	10,85 - 19,4	22

Los niveles de saturación de Ca^{2+} , determinados con base en la CICE, se redujeron por los incrementos de Mg^{2+} y K^+ (Figura 13). Antes

de aplicar los tratamientos, las relaciones entre las bases intercambiables $\text{Ca}:\text{Mg}:\text{K}$, eran de 8:2:1; proporciones cercanas a las que se han

Figura 13. Cambios en los porcentajes de saturación de cationes en los tratamientos sin potasio y magnesio.

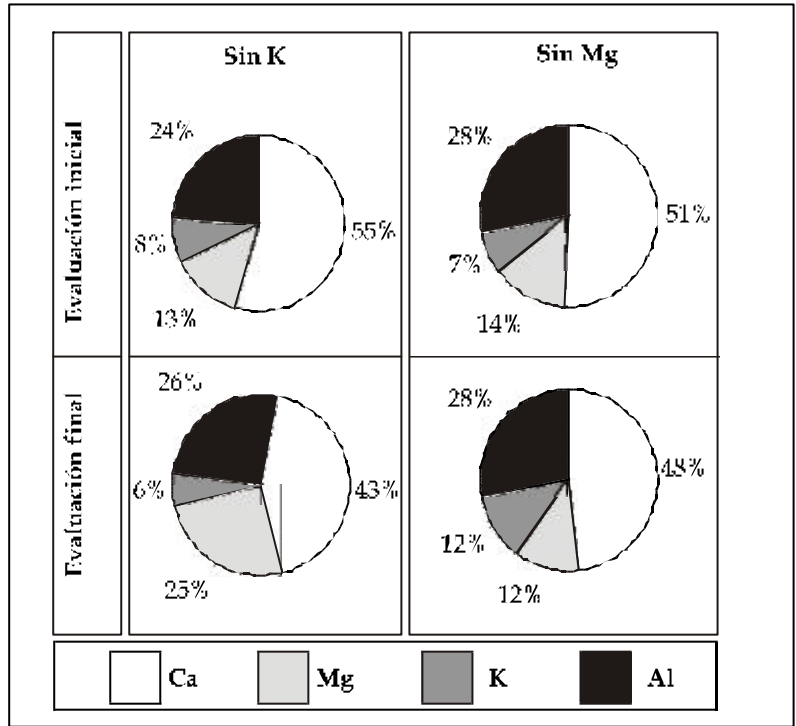
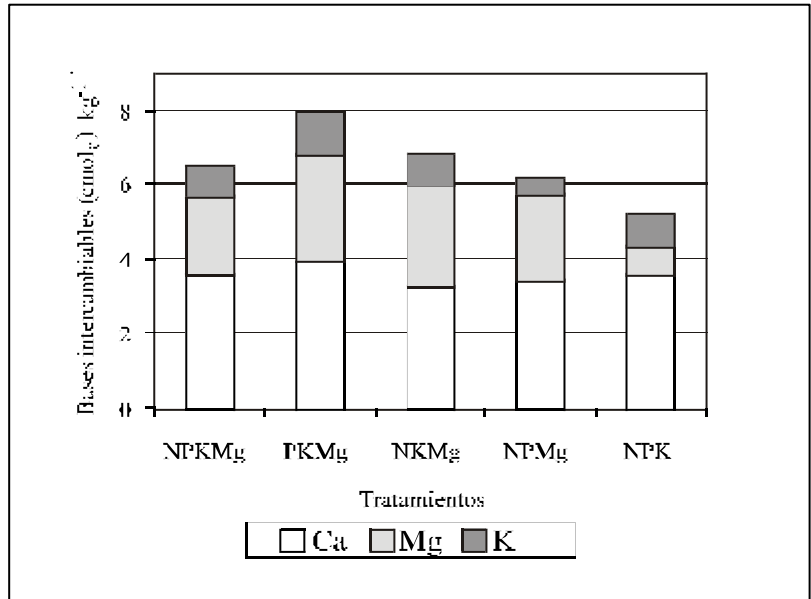


Figura 14. Contenidos totales de las bases intercambiables, por tratamiento.



considerado adecuadas para el cultivo de café en Colombia (6:2:1), según con lo registrado por Valencia (15). El suministro de Mg en ausencia de K, y de K en ausencia de Mg, modificó las relaciones en mención de la siguiente manera: 8,5:5,8:1 para el tratamiento NPMg, y 8,8:2:2 para NPK.

Otra variable que permite tener una visión más integral de las bases intercambiables, además de las ya tratadas, es la suma de ellas. Como se observa en la Figura 14, descriptivamente, el mayor valor para la suma de bases se obtuvo cuando no se aplicó nitrógeno, y la menor se obtuvo en el tratamiento sin Mg.

AGRADECIMIENTOS

A los Caficultores que permitieron realizar el experimento en sus predios.

Al Dr. Marino Restrepo, Director de la División Técnica del Comité Departamental de Caldas en el año 2000, y el Dr. Gerardo Montenegro, Director de la División Técnica del Comité Departamental de Cesar-La Guajira.

A los Extensionistas: Sergio Granada, Luis G. Cortés, Francisco Bustamante, Arturo Valencia, Carlos A. León, Roberto Mejía, Edgar de los Ríos, Jorge H. Paez, Flor A. Zuluaga, Fredy M. Aguirre, Felipe E. Toro, Milton M. Herrera, Gabriel García, Armando Pavón, Víctor Pacheco, José Molina y Euder Maestre.

A los jefes de las subestaciones de experimentación de CENICAFÉ: Juan C. García, John W. Mejía, Jorge C. Torres, Celso Arboleda, José D. Arias, José E. Baute, Piedad D. Henao, Carlos R. Solarte y Pedro M. Sánchez.

A Esther C. Montoya, Eduardo Hernández, Clara I. Ríos y Álvaro Jaramillo por sus valiosos aportes.

A Multilab Agroanalítica

LITERATURA CITADA

1. AGUILARA., A. O. Dinámica de la biomasa microbiana en un suelo con diferentes niveles de fertilización nitrogenada. Manizales, Universidad Católica de Manizales. Facultad de Bacteriología, 1997. 101 p. (Tesis: Bacteriólogo).
2. BUSTAMANTE, C.; ZAMORA, A.; CAMEJO R.; RODRÍGUEZ, M.; REYES, M. Fertilización fosfórica del cafeto cultivado en suelo pardo sin carbonatos. I. Efecto de la fertilización sobre las características agroquímicas del suelo. Ciencia y Tecnología en la Agricultura. Serie: Café y Cacao 9 (2): 27-39. 1987.
3. CARVAJAL, J. F. Cafeto-cultivo y fertilización. 2. ed. Berna, Instituto Internacional de la Potasa, 1984. 254 p.
4. FOTH, H. D.; ELLIS, B. G. Soil fertility. 2. ed. Boca Raton, Lewis Publishers, 1997. 290p. 1997.
5. GUERRERO R., R. Propiedades generales de los fertilizantes químicos. In: SILVA M., F. (Ed.). Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1994. p. 221 – 245.
6. GUERREROR., R. Fuentes fertilizantes portadoras de elementos secundarios. In: SILVA M., F. (Ed.). Los elementos secundarios (Ca, Mg, S) y el Silicio en la agricultura. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo-Comité Regional de Cundinamarca y Boyacá, 2001. p. 105-113.
7. HAVLIN, J. L.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. Soil fertility and fertiliser. An introduction to nutrient management. 6. ed. Upper Saddle, Prentice – Hall, 1999. 499 p.
8. LEÓN S., L. A. Las propiedades químicas de los suelos y su efecto sobre la disponibilidad de los nutrientes para las plantas. In: GARCÍA O., A.; VALENZUELA B., I. (Ed.). Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo - Comité Regional del Valle del Cauca, 2001. p. 51–62.
9. LÓPEZ A., M. Cambios químicos provocados en el suelo Chinchiná franco-arenoso con la aplicación de distintas fuentes y dosis de fertilizantes. Cenicafé 16 (1-4): 55-76. 1965.

10. OCHOA, W. A. Estudio del nitrógeno disponible a través del tiempo. *In*: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – CENICAFÉ. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe anual de labores de la Disciplina Química Agrícola, 1999-2000. Chinchiná, Cenicafé, 2000.
11. PAVAN, M. A.; DIAS, J. C.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLI, A.; COLOZZI, A.; LIBRIO, E. High coffee population density to improve fertility of an Oxisol. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 34 (3): 459- 465. 1999.
12. RIVERA, R.; MARTÍN, R. Efecto de niveles de N, P y K en/C. arabica/ Var. "Mundo Novo" cultivado al sol, sobre fondos fijos de arpe y compost en la fase de fomento. Parte I. Propiedades químicas y físico-químicas del suelo. *Ciencia y Tecnología en la Agricultura. Serie: Café y Cacao* 1 (1-2): 55-66. 1979.
13. SADEGHIAN, S.; MURGUEITIO, E.; MEJÍA, C.; RIVERA, J. Ordenamiento ambiental y reglamentación del uso y manejo del suelo en la zona cafetera. *In*: Suelos del eje cafetero. Pereira, Proyecto U.T.P.-GTZ., 2001. p. 96-108.
14. VALENCIA A., G.; GÓMEZ A., A.; BRAVO G., E. Efecto de diferentes portadores de nitrógeno en el desarrollo del café y en la fertilidad de los suelos. *Cenicafé* 26 (3):131-142. 1975.
15. VALENCIA A., G. Fisiología, nutrición y fertilización del café. Chinchiná, Cenicafé-Agroinsumos del Café S. A., 1999. 94 p.
16. VÁSQUEZ Y V., M.; VALLE B., R. DEL ; LÓPEZ DE L., E. E.; JIMÉNEZ G., H. O. Evaluación de fuentes nitrogenadas de fertilizantes y su efecto en la acidez del suelo. *In*: Simposio de Caficultura Latinoamericana, 14. Panamá, Mayo 20-24, 1991. Guatemala, IICA-PROMECAFE, 1991. p. 475-484.
17. VINASCOO., C. A.; VALENCIA A., G.; CHAVES C.; B. Cambios químicos en suelos incubados con fuentes y dosis de calcio. *Cenicafé*. 43(1): 5-13. 1992.