

Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia

Siavosh Sadeghian Khalajabadi



**Guía
práctica**



GERENCIA TÉCNICA
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ
"Pedro Uribe Mejía"

Cenicafé
Chinchiná - Caldas - Colombia

Boletín Técnico

Nº 32

2008



COMITÉ NACIONAL

Período 1º 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
Darío James Maya Hoyos
Jaime García Parra
Héctor Falla Fuentes
Fernando Castrillón Muñoz
Javier Bohórquez Bohórquez
Crispín Villazón de Armas
Ramón Campo González
Jorge Cala Roballo
Hernán Román Calderón
Alfredo Yáñez Carvajal

Gerente General

GABRIEL SILVA LUJÁN

Gerente Administrativo

LUIS GENARO MUÑOZ ORTEGA

Gerente Financiero

JORGE SUESCÚN POZAS

Gerente Comercial

JUAN LUCAS RESTREPO IBIZA

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: Sandra Milena Marín, I.A.
Diseño y Diagramación: María del Rosario Rodríguez Lara
Ilustración y fotografía: Gonzalo Hoyos Salazar
Imprenta: Feriva S.A.

Editado en noviembre de 2008
2.500 ejemplares

©FNC- Cenicafé 2008



GERENCIA TÉCNICA
PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ
"Pedro Uribe Mejía"

Cenicafé

Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia

Guía práctica

*Siavosh Sadeghian Khalajabadi**

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

CONTENIDO

■ 1. INTRODUCCIÓN	5
■ 2. NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS Y SU RELACIÓN CON LA FERTILIDAD DEL SUELO	5
2.1 Elementos esenciales	5
2.2 Fertilidad del suelo	6
2.2.1 Evaluación de la fertilidad del suelo y recomendación de fertilizantes	6
2.2.2 Análisis de suelo	9
2.2.3 Transferencia	11
■ 3. NUTRICIÓN DEL CAFÉ	12
3.1 Etapas del cultivo	12
3.2 Interrogantes a resolver	12
3.3 Alternativas más eficientes para la nutrición de los cafetales	12
3.4 Nutrición en la etapa de germinación	13
3.5 Nutrición en la etapa de almácigo	13
3.6 Nutrición en la etapa de crecimiento vegetativo – Nuevas siembras	14
3.7 Nutrición en la etapa de crecimiento vegetativo – Renovación por zoca	22
3.8 Nutrición en la etapa productiva	22
3.8.1 Requerimientos nutricionales	24
3.8.2 Niveles de detalle	25
3.8.3 Ajuste por densidad de siembra y sombrío	27
3.8.4 Recomendaciones con base en el análisis de suelos	28
3.8.5 Época de la aplicación	36
3.8.6 Sitio de la aplicación	37
3.8.7 Forma de la aplicación	37
3.8.8 Costo de la aplicación	37
■ 4. BIBLIOGRAFÍA	38
■ 5. ABREVIATURAS Y EQUIVALENCIAS	43

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los retos de la agricultura moderna radica en satisfacer la demanda de un mercado creciente, al mismo tiempo que se aumenta la necesidad de introducir alternativas tecnológicas de producción que conduzcan a una mayor sostenibilidad económica y ambiental.

Entre los aspectos más importantes está el uso de los fertilizantes; componente que determina en buena medida el éxito de los diversos renglones agrícolas en todo el mundo. Pese a lo anterior, el abuso que se ha hecho de estos insumos ha conllevado a la degradación química de los suelos y a la contaminación de otros recursos ambientales.

La Federación Nacional de Cafeteros, consciente de la relevancia que reviste el tema, ha promovido el uso racional de los fertilizantes. Una herramienta para lograr este objetivo ha sido el análisis de suelos, cuyo empleo permite reducir los costos y la presión que se ejerce sobre el medio.

En este Boletín Técnico se realiza una breve reseña sobre los aspectos generales de la nutrición vegetal y la evaluación de la fertilidad del suelo. Se presentan de manera resumida algunos

aspectos relacionados con la fertilización de almácigos de café, y se dan las bases para el manejo de la nutrición de los cafetales en las etapas de crecimiento vegetativo y producción, de acuerdo con los resultados del análisis de suelo, a la luz de las investigaciones desarrolladas por Cenicafé.

2. NUTRICIÓN DE LAS PLANTAS Y SU RELACIÓN CON LA FERTILIDAD DEL SUELO

2.1 Elementos esenciales

Todas las plantas superiores, entre ellas el café, requieren 16 ó más elementos que se consideran esenciales para su crecimiento. Éstos, de acuerdo a su origen, pueden clasificarse en **minerales** (aquellos que se encuentran principalmente en el suelo y son absorbidos por las raíces de las plantas en sus formas inorgánicas) y **no minerales** (los que proceden esencialmente de la atmósfera y del agua). De acuerdo con la cantidad requerida, los elementos minerales se clasifican en **mayores o macronutrientes** (nitrógeno-N, fósforo-P, potasio-K, calcio-Ca, magnesio-Mg y azufre-S), y **menores o micronutrientes** (hierro-Fe, cobre-Cu, manganeso-Mn, boro-B,

Se espera que los criterios consignados sirvan de guía a los extensionistas de la Federación Nacional de Cafeteros y a los cafeteros de todo el país, para tomar las mejores decisiones en materia de la nutrición de sus plantaciones.

molibdeno-Mo, zinc-Zn y cloro-Cl) (26, 24, 14) (Figura 1).

La cantidad requerida de nutrientes por la planta varía de acuerdo a las características del cultivo (especie, variedad, etapa de desarrollo y nivel de producción, entre otras), factores climáticos (principalmente la precipitación, temperatura y luminosidad), propiedades del suelo (físicas, químicas y biológicas), y del manejo de la plantación (densidad de siembra, riego, sombrero, control de arvenses, fertilización, etc.) (23).

Una porción de los elementos extraídos del suelo por el cultivo es removida del lote por la cosecha (por ejemplo, los granos de maíz, los

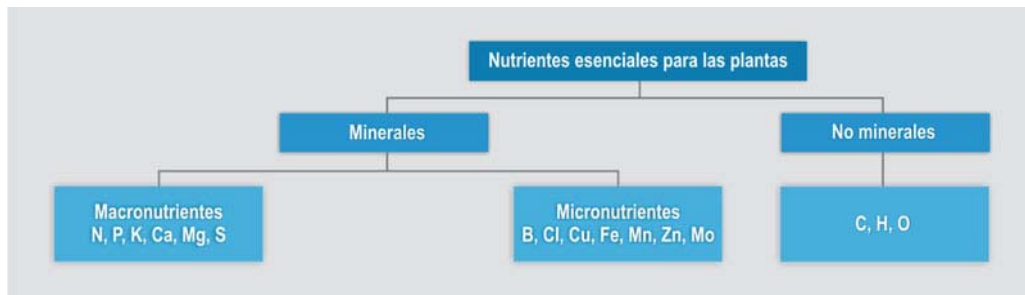


Figura 1. Nutrientes esenciales para las plantas.

tubérculos de la papa y los frutos de café), pero el resto vuelve al suelo en forma de raíces, tallos, hojas y otros órganos, a través del ciclaje de éstos (21).

2.2 Fertilidad del suelo

Son diversas, y en ocasiones contradictorias, las definiciones acerca de la fertilidad del suelo; sin embargo, se acepta que en esencia hace referencia a la capacidad que posee el medio edáfico para suplir los elementos esenciales que demandan las plantas para su metabolismo. Por lo tanto, un suelo fértil posee una reserva adecuada y balanceada de nutrientes, suficientemente disponible para soportar los requerimientos de las especies vegetales (18).

La fertilidad puede ser natural y adquirida. La primera hace referencia a las condiciones propias de los suelos que no han sido

intervenidos y en los cuales existe un equilibrio entre el suelo y la vegetación que soporta. La segunda supone lo contrario, ya que está asociada a suelos cultivados o que han sufrido intervención por el uso de abonos, enmiendas y la realización de otras prácticas de manejo (13).

2.2.1 Evaluación de la fertilidad del suelo y recomendación de fertilizantes

El conocimiento acerca de los requerimientos nutricionales de los cultivos, en cuanto a la extracción o remoción, es de gran utilidad al momento de ajustar los planes de fertilización, pero esta información por sí sola no es suficiente, y debe completarse con los resultados de las investigaciones en torno a la respuesta obtenida al suministro de dosis crecientes de cada uno de los elementos

esenciales (Figura 2). Estos experimentos permiten determinar el requerimiento del nutriente para una máxima producción (óptimo biológico), dada cierta condición particular de clima, suelo y manejo. El análisis económico correspondiente determina la cantidad del fertilizante que se debe aplicar para obtener el máximo beneficio económico, el cual depende de las variaciones de los precios de los fertilizantes y de la cosecha (10, 23).

En suelos con alta fertilidad, la respuesta de la planta a la fertilización es limitada, razón por la cual se requieren dosis bajas para lograr las máximas producciones, mientras que en suelos con baja fertilidad hay una alta probabilidad de respuesta, y por lo tanto, demandan mayores dosis del nutriente; suelos con fertilidad media exhiben un comportamiento intermedio (Figura 3).

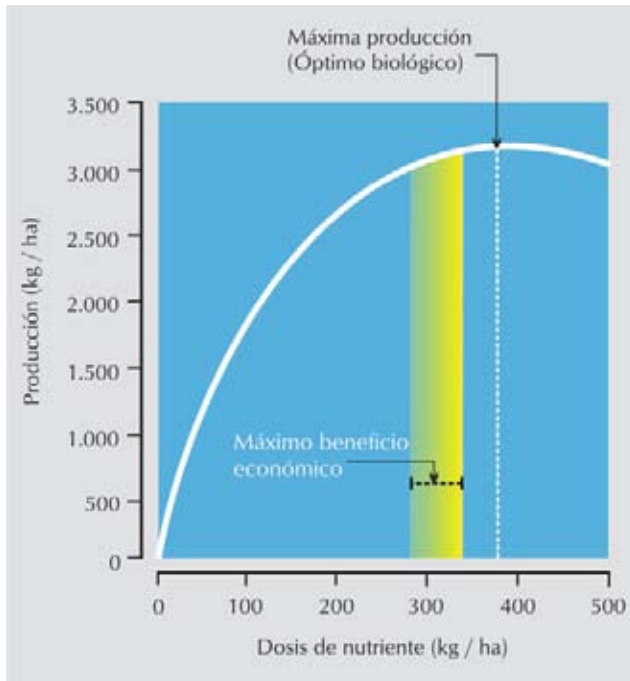


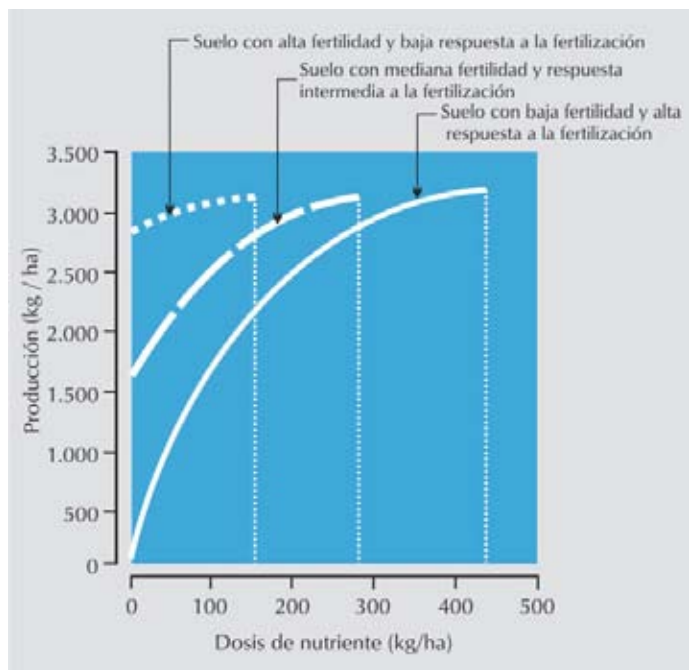
Figura 2. Efecto de la aplicación de un nutriente sobre la producción. Se muestra la dosis con la que se logra la máxima producción y la franja en la que se obtiene el máximo beneficio económico, de acuerdo a las fluctuaciones de los precios de mercado (Adaptado de Havlin *et al.*, (23)).

de obtener respuesta a su aplicación (9, 30). En este mismo sentido, se puede establecer el nivel de suficiencia; término que se emplea para asignar al límite de la fertilidad a partir del cual deja de haber respuesta a la aplicación del elemento objeto de estudio.

El anterior procedimiento se conoce como

Una vez obtenidos los resultados de la respuesta al suministro del nutriente, se correlacionan los rendimientos obtenidos en los diferentes ambientes (localidades) con respecto al contenido del elemento en el suelo (Figura 4), con el fin de predecir la respuesta a la fertilización. El análisis de lo anterior permite determinar el **nivel crítico**, es decir, el contenido del nutriente en el suelo por debajo del cual existe una alta probabilidad

Figura 3. Dosis óptimas del nutriente para suelos con diferentes niveles de fertilidad (Adaptado de Havlin *et al.* (23)).



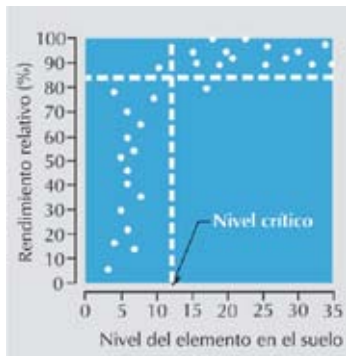


Figura 4. Rendimiento relativo del cultivo (expresado en porcentaje de producción) en función del contenido del nutriente disponible en el suelo. Se identifica el nivel crítico del elemento (Adaptado de Cate y Nelson (9)).

calibración, y constituye una labor continua de los investigadores, pues es posible que un método químico para el análisis de un nutriente pierda su

capacidad de diagnóstico y “prognosis”, debido a que la calidad de los suelos y las tecnologías de producción cambian con el paso de tiempo; por lo cual es necesario validar los niveles críticos que se habían encontrado y contrastarlos con los nuevos (15, 69).

Posteriormente, se establecen los rangos de fertilidad: bajo, medio y alto (algunas veces se incluyen otros como muy bajo o muy alto) (Figura 5), y se especifica la cantidad de nutriente que se debe suministrar mediante la aplicación de fertilizantes (23).

Cuando el nivel de un nutrimento en el suelo es bajo (inferior al nivel crítico), es recomendable

que su aplicación se realice, empleando las mayores dosis, con el fin de obtener una alta producción, de acuerdo a las condiciones predominantes (Figura 6). Si el contenido del elemento es medio o alto, se sugiere aplicar una cantidad equivalente a la removida por la cosecha (en ocasiones también se tienen en cuenta los nutrientes perdidos por la erosión y la lixiviación, o retenidos por la fijación), con el fin de mantener un nivel adecuado del elemento en el suelo, y así evitar el agotamiento de la fertilidad del mismo. Dicha dosis, también llamada **de sostenimiento**, puede determinarse mediante el análisis composicional de los elementos extraídos por la cosecha, y varía de acuerdo a la región y a las condiciones del cultivo. Cuando el nivel del nutriente en el suelo es muy alto, se puede prescindir de su aplicación (23, 31).

Para nutrientes de alta movilidad en el suelo, como el nitrógeno, la recomendación de fertilizante debe hacerse independiente de la producción potencial, ya que su disponibilidad puede estar afectada por condiciones del suelo, como la humedad y la temperatura; en contraposición, la recomendación para los nutrimentos poco

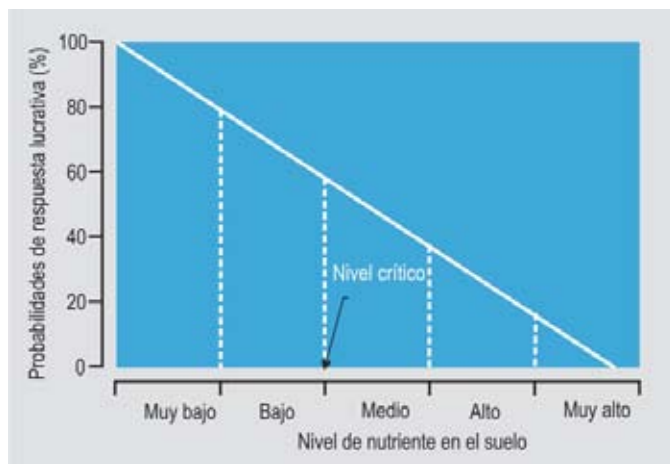


Figura 5. Probabilidad de respuesta lucrativa a la aplicación de nutriente, vía fertilización, en función de la fertilidad del suelo (Adaptado de Havlin et al. (23)).

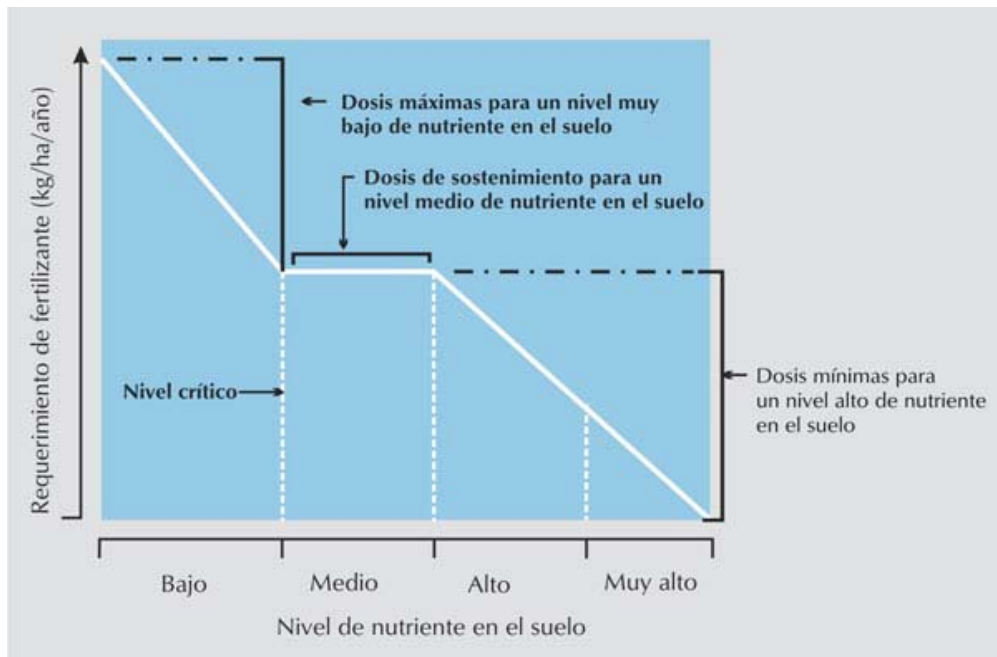


Figura 6. Requerimientos del fertilizante para alcanzar la máxima producción (nivel bajo del elemento en el suelo) o mantener la fertilidad del suelo (nivel medio o alto del elemento en el suelo) (Adaptado de Havlin *et al.*, 1999).

móviles, como el fósforo, o medianamente móviles como el potasio, puede basarse en el reemplazo de la cantidad del elemento removido en función de la producción (23).

2.2.2 Análisis de suelo

Al momento de definir los planes de nutrición de cualquier especie vegetal es necesario conocer el estado de la fertilidad del suelo, dado que ésta es heterogénea, aún en cortas distancias, debido al efecto de la acción e interacción de los factores y procesos

de formación; hecho que se destaca en los suelos de la zona cafetera colombiana, por la diversidad de materiales de origen, relieve, clima, uso y manejo que se da a los cultivos (20).

Para evaluar la fertilidad del suelo se deben realizar análisis químicos y físicos, cuyos resultados interpretados de manera correcta, sirven de guía para determinar la cantidad de cada nutrimento en particular, y en ocasiones la aplicación de enmiendas (cales o materia orgánica), con el fin de corregir la

acidez o remediar otro tipo de problemas (alta densidad aparente y retención de humedad, etc.). Otros indicadores como la composición elemental de los tejidos, en especial las hojas, las pruebas biológicas, la caracterización microbiológica del suelo, la sintomatología de deficiencia y el estado de desarrollo del cultivo, entre otros, también son útiles y pueden complementar los planes del diagnóstico y pronóstico (18, 23).

Para el cultivo de café, el análisis del suelo, como

herramienta en la toma de decisiones para la fertilización de los cafetales, trae beneficios económicos y ambientales que justifican su uso (44).

El éxito del análisis de suelo está relacionado estrechamente con los siguientes tres factores: a). La obtención de la muestra; b). La calidad del análisis y c). La interpretación correcta de los resultados analíticos (57).

2.2.2.1 Obtención de una buena muestra. Si se consideran los primeros 20 cm de profundidad del terreno, es decir, donde se encuentra la mayor parte de las raíces de café, el peso correspondiente a una hectárea de suelo puede variar en la zona cafetera de Colombia entre 1.400.000 y 2.800.000 kg. Ejemplo de este contraste son los andisoles, con baja densidad aparente ($0,7 \text{ g/cm}^3$), y suelos arenosos de la unidad San Simón, en el departamento de Tolima con alta densidad aparente ($1,4 \text{ g/cm}^3$). Mediante el análisis de suelo se busca representar la fertilidad correspondiente a los valores en referencia, por medio de una muestra que no supere 1,0 kg; de allí los cuidados que se deben tener presentes en la toma de una muestra representativa.

A continuación se presentan aspectos importantes a tener en cuenta sobre el tema:

Época del muestreo. Las muestras se deben tomar por lo menos 3 ó 4 meses después de la última fertilización; esto reducirá el riesgo de sobrevalorar o subvalorar algunas propiedades del suelo que se afectan temporalmente por las prácticas realizadas anteriormente. Al momento del muestreo, el suelo debe estar húmedo. Es muy importante contar con los resultados del análisis antes de realizar las nuevas siembras, pues de acuerdo a éstos se define la pertinencia de llevar a cabo labores como la aplicación de enmiendas (principalmente

cales), cuya efectividad es mayor al incorporar el producto al suelo, labor que difícilmente se puede efectuar posterior a la siembra.

Número de lotes. La finca se debe dividir en lotes, teniendo en cuenta el tipo de suelo, la topografía, la densidad de siembra, el nivel de sombrero, la edad de las plantaciones y las prácticas culturales realizadas.

Equipo de muestreo. Se deben emplear herramientas adecuadas (barreno, palín, balde, bolsas plásticas) y limpias. Quizá el barreno tipo holandés (Figura 7) es el instrumento más versátil para la toma de las submuestras, y el que menos daño ocasiona a las raíces de las plantas.



Figura 7. Barreno tipo holandés, para tomar muestras de suelo.

Se recomienda que la punta sea de acero inoxidable para evitar que se oxide.

Sitio del muestreo. Las muestras deben tomarse en el plato del árbol, a 20 cm de profundidad. En el caso de los cultivos intercalados, es prudente tomar muestras adicionales en las calles.

Número de submuestras. Se debe recorrer el lote en zigzag y tomar entre cinco y seis submuestras por hectárea. Éstas se mezclan para formar una muestra compuesta de aproximadamente 1,0 kg.

Empaque y rotulación de la muestra. La muestra se empaca en una bolsa plástica nueva, y se procede a rotularla con la siguiente información: fecha del muestreo, departamento, municipio, vereda, nombre del propietario, nombre de la finca, identificación del lote, cultivo, variedad, edad, densidad de siembra, nivel de sombrero, fecha de la última fertilización (especificando los productos), y las observaciones adicionales (aplicaciones recientes de pulpa, cales, otros).

Tiempo entre la toma de la muestra y el análisis. Se sugiere enviar la muestra lo más pronto posible al laboratorio, preferiblemente no exceder de 4 ó 5 días. En el caso que el tiempo sea mayor, la muestra se debe

secar sobre un papel limpio antes de enviarla.

Tipo de análisis. Se sugiere el análisis denominado de "fertilidad", el cual incluye las siguientes determinaciones: pH, materia orgánica, fósforo, potasio, calcio, magnesio, aluminio y textura al tacto. Adicionalmente, se recomienda la valoración del contenido de azufre, elemento sobre el cual se han desarrollado diversos experimentos en los últimos años.

2.2.2.2 Calidad del análisis. Se debe recurrir a laboratorios serios, que cumplan los parámetros de calidad; además de seguir las mismas metodologías empleadas para definir los rangos de fertilidad descritos anteriormente (8).

En ocasiones, se atribuyen a la calidad de los análisis de laboratorio algunos resultados incoherentes, antes de cuestionar si fue correcto o no el procedimiento para el muestreo de suelo. Por lo tanto, se debe recordar que *"los resultados analíticos obtenidos en el laboratorio no pueden ser mejores que la muestra sometida al análisis"* (57).

2.2.2.3 Interpretación correcta de los resultados analíticos. Los resultados analíticos se deben

interpretar de manera correcta a la luz de la información disponible y el estado de la plantación. Es necesario tener en cuenta que *"el análisis del suelo no mide la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas; en realidad, mide un índice de la cantidad de nutrientes del suelo, que luego se correlaciona con la probabilidad de una respuesta al fertilizante por medio de la calibración del análisis de suelo"* (57).

2.2.3 Transferencia

Si no se tiene suficiente claridad en la transferencia de las recomendaciones, y no se acompaña al caficultor en la realización de las labores, se cometerán errores con graves consecuencias.

Para lo anterior es indispensable que el Extensionista: I) Comprenda la importancia que tienen los análisis de suelos desde el punto de vista económico y ambiental; II) Conozca en detalle el procedimiento correcto para tomar la muestra de suelo en el lote; III) Cuento con la información suficiente para interpretar los resultados del laboratorio; IV) Conozca las características del lote y de la plantación; V) Transfiera claramente las recomendaciones al caficultor, sin introducir

cambios innecesarios en las cantidades recomendadas por la interpretación del análisis; VI) Estime el costo de la labor y evalúe las alternativas posibles en

cuanto a los productos se refiere, sin perder de vista su calidad y eficiencia; y VII) Acompañe al caficultor para asegurar el éxito de la labor.

hasta que resulten nuevos adelantos. Para interrogantes relacionados directamente con el costo de los insumos, las opciones no siempre son amplias, y dependen principalmente de la dinámica de la economía regional o mundial.

3. NUTRICIÓN DEL CAFÉ

3.1 Etapas del cultivo

Los requerimientos nutricionales del café varían según el estado del crecimiento. Se distinguen cuatro etapas o fases: germinativa, almácigo, crecimiento vegetativo o levante, y crecimiento reproductivo (producción) (45). En el Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé, desde hace varias décadas, se vienen desarrollando numerosos experimentos en torno a la nutrición del café en cada una de estas etapas, teniendo en cuenta la diversidad agroecológica de la zona cafetera colombiana.

3.2 Interrogantes a resolver

Ante la expectativa de realizar una labor de fertilización o enclavamiento, en pro de una adecuada nutrición de los cafetales en las diferentes etapas del cultivo, surgen ciertas preguntas. De acuerdo con Valencia (68), se tratan de resolver los siguientes

interrogantes:

- ¿Qué aplicar?
- ¿Cuánto aplicar?
- ¿Cuándo aplicar?
- ¿Dónde aplicar?
- ¿Cómo aplicar?

Otro aspecto a tener en cuenta se relaciona con el costo de la aplicación, tanto del insumo como del transporte y de la mano de obra necesaria para llevar a cabo la labor. Adicionalmente, es necesario conocer el impacto ambiental que se genera por la práctica de la fertilización.

De las anteriores preguntas, algunas son más sencillas de responder, pues se relacionan básicamente con aquellas alternativas tecnológicas que poco se modifican en cortos espacios de tiempo y no permiten grandes cambios o variaciones; por ejemplo: el sitio, la forma y la época de la aplicación. Para las anteriores tecnologías, una vez que la investigación encuentre soluciones más ajustadas, serían puestas en práctica por los productores

Quizás las preguntas más complejas y de mayor impacto, son las que se relacionan con la cantidad del nutriente o enmienda y la fuente a emplear. Para responder de manera más acertada a estos interrogantes es indispensable tener en cuenta los requerimientos nutricionales de la planta, de acuerdo con la etapa del desarrollo, y la capacidad del suelo para satisfacer la demanda del cultivo. Cuando no se tienen en cuenta los anteriores aspectos y se procede a aplicar fórmulas generalizadas de fertilizantes o “paquetes tecnológicos” preestablecidos, es más probable cometer un desacierto, que se traduce en consecuencias económicas y ambientales negativas (44).

3.3 Alternativas más eficientes para la nutrición de los cafetales

Hoy en día, cuando los productores de café se enfrentan a un mercado

mundial cada vez más competitivo, se hace prioritario revisar los factores que afectan la rentabilidad del cultivo, entre los cuales se incluye el costo de los fertilizantes, cuyas continuas alzas han generado preocupación en el país, pues la participación de la fertilización en los costos totales de producción han pasado del 10 al 20%, en los últimos dos años.

Este ejercicio comprende, entre otros aspectos: la racionalización del uso de los fertilizantes mediante el análisis de suelos, la selección o búsqueda de fuentes fertilizantes más económicas, la puesta en marcha de estrategias económicas que permitan reducir el costo de la aplicación y mejorar el flujo de caja, el aprovechamiento de residuos orgánicos que se generan en la finca, favorecer el establecimiento de microorganismos benéficos, desyerbas oportunas, la realización de prácticas para el control de la erosión, labores tendientes a optimizar la eficiencia en el uso de los nutrientes que se aplican vía fertilización (por ejemplo, sistemas y épocas de aplicación), y la asociación del cultivo con otras especies para incrementar los aportes exógenos de nutrientes y estimular su ciclaje.

3.4. Nutrición en la etapa de germinación

Esta etapa tiene una duración aproximada de dos meses (1). Las semillas se siembran en arena y no requieren la adición de nutrientes, ya que las reservas nutritivas contenidas en las mismas suplen las necesidades de las plántulas o “chapolas” para alcanzar su desarrollo completo. Sólo requieren condiciones adecuadas de humedad, oscuridad y temperatura, además del manejo fitosanitario (45).

3.5 Nutrición en la etapa de almácigo

Etapa transcurrida desde el transplante de la chapola en la bolsa hasta el momento de la siembra en el campo, y tiene una duración aproximada de seis meses, dependiendo del tamaño de la bolsa, las condiciones climáticas predominantes del lugar y del manejo del almácigo. En esta etapa la planta responde de manera positiva a abonos orgánicos y a las aplicaciones de fósforo (45). Cuando no se utiliza una mezcla adecuada de suelo y abono orgánico, bien descompuesto, deben aplicarse 2 g de fósforo (P_2O_5) por bolsa, preferiblemente en forma de DAP (46% de P_2O_5), a los 2 y 4 meses luego

del transplante (51). Adicionalmente, la aplicación de DAP contribuye a reducir los efectos nocivos de una pulpa o lombrinaza parcialmente descompuesta (4). La respuesta obtenida a la fertilización con nitrógeno en esta fase ha sido negativa y la adición de potasio no ha tenido influencia sobre el vigor de la planta, en términos del peso seco y altura (51); tampoco la aplicación de fertilizantes foliares (22, 66), ni la adición de silicio (49). Una mezcla de suelo y pulpa de café bien descompuesta en relación 1:1, en volumen (v/v), es suficiente para suplir las necesidades nutricionales en el almácigo (27). Cuando se dispone de otras fuentes, como lombrinaza de pulpa de café (52), gallinaza (54, 4), estiércol vacuno (56), pollinaza (4) o cenichaza (55), esta relación se puede cambiar a 3:1 (v/v). Así mismo, se ha demostrado que para la lombrinaza esta proporción de mezcla es independiente de los contenidos de materia orgánica del suelo (50).

Cuando se emplean bolsas con el tamaño adecuado (17 cm x 23 cm), y se hace una buena mezcla con el abono orgánico, además de llevar plantas más vigorosas al campo, se enriquece el sitio de la siembra con nutrientes y se mejoran las condiciones físicas y biológicas del hoyo.

Cabe resaltar que el efecto de esta práctica se puede reflejar en los rendimientos de las primeras cosechas (53).

3.6 Nutrición en la etapa de crecimiento vegetativo – Nuevas siembras

Arcila (1) sostiene que en especies perennes como café, resulta complejo definir claramente la fase vegetativa del cultivo, debido a que la formación de órganos como hojas, raíces y nudos, puede ocurrir de manera simultánea con el crecimiento reproductivo durante toda la vida de la planta. Por lo anterior y en término estricto, el crecimiento vegetativo se inicia con la germinación de la semilla y se extiende hasta la primera floración; sin embargo, para el caso práctico, esta fase tiene lugar a partir de la siembra en el campo hasta 18 a 24 meses después, dependiendo de las condiciones agroclimáticas de la zona.

Las labores que se realicen en la siembra y en la etapa de crecimiento de los cafetales se verán reflejadas en el desarrollo del cultivo y, por lo tanto, en la producción de los siguientes dos ciclos de renovación, los cuales tendrán una duración aproximada de 15 ó 20 años (43).

La adecuación física y química del suelo debe comenzarse al momento del establecimiento o antes, según la información disponible acerca de las propiedades del suelo. En ocasiones será necesaria la aplicación de cales para corregir los problemas de la acidez y el uso de abonos orgánicos, con el fin de acondicionar el suelo.

Los mayores requerimientos nutricionales corresponden a nitrógeno, seguidos por el fósforo; la demanda de potasio y magnesio se incrementa al iniciar la etapa reproductiva.

La fertilización se debe comenzar a partir del primero o segundo mes luego de la siembra, y repetirse cada 4 meses, dependiendo del elemento, siempre teniendo en cuenta la disponibilidad del agua en el suelo, condición que es determinada por la precipitación, las características del suelo y la cobertura vegetal.

Las cantidades de los abonos en esta etapa se incrementan proporcionalmente a la edad del cultivo y las recomendaciones se expresan en gramos del fertilizante por planta o por sitio, más no en kilogramos por hectárea, pues en esta fase se considera poca la competencia

entre las plantas; por lo tanto, el manejo va dirigido a individuos y no a poblaciones (45).

A continuación se presentan de manera resumida las recomendaciones para la fertilización y el encalamiento de los cafetales en la etapa de crecimiento vegetativo. Dicha información se consigna en las Tablas 1 a la 5, las cuales se acompañan de algunas explicaciones y ampliaciones pertinentes, con el fin de que el extensionista o el caficultor pueda interpretar rápidamente los resultados de los análisis del suelo y realizar la respectiva recomendación de manera sistemática.

Encalamiento. Por medio de esta práctica se buscan corregir los problemas de acidez del suelo (aumentar el pH y neutralizar el aluminio intercambiable) y aportar nutrientes como calcio, magnesio, y en algunas oportunidades fósforo.

En cuanto a la toxicidad del aluminio intercambiable (Al^{3+}), en los andisoles de la zona cafetera colombiana no se han encontrado concentraciones nocivas de este elemento en la solución del suelo, aun cuando se detectan valores altos en la fase intercambiable (32). En este sentido, la neutralización del Al^{3+}

ha sido atribuida a la complejación del Al^{3+} por la materia orgánica (18, 35).

El contenido de Al^{3+} guarda una relación estrecha e inversa con la acidez activa del suelo; cuando los valores del pH son superiores a 5,0, se espera que los niveles de este elemento estén por debajo de $1\text{ cmol}_{(+)}\text{/kg}$, los cuales se consideran inocuos para café (38). Por lo tanto, con la aplicación de una cantidad apropiada de cal se busca elevar el pH del suelo hasta niveles adecuados (5,0-5,5), y reducir así el Al intercambiable hasta valores inferiores a $1,0\text{ cmol}_{(+)}\text{/kg}$.

En la Tabla 1 se consignan las concentraciones de carbonatos, Ca, Mg y P, en algunas enmiendas en Colombia, como cal agrícola ($CaCO_3$), cal viva (CaO), cal

apagada $Ca(OH)_2$, caliza dolomítica ($CaCO_3.MgCO_3$).

Suárez de Castro y Rodríguez (59) demostraron que cantidades de cal mayores a 2 t/ha afectan de manera negativa el desarrollo de los cafetales jóvenes, mientras que con 1 ó 2 t es posible corregir la acidez y lograr un mayor crecimiento de las plantas.

Al incorporar la cal con el suelo es posible corregir efectivamente la acidez e incrementar los niveles de calcio en los diferentes suelos cafeteros del país. En promedio, por cada gramo de cal/1.000 cc de suelo el pH se incrementa en aproximadamente 0,2 unidades y el Ca en $1,0\text{ cmol}_{(+)}\text{/kg}$ (12).

En esta etapa, el encalamiento se realiza en dos oportunidades: i) al momento de la siembra, y ii) 12 meses después de esta fecha. En las dos ocasiones se emplea la misma cantidad y tipo de cal, pero se cambia el modo de la aplicación; en la siembra se debe incorporar el material encalante al suelo, mientras que al año se aplica sobre la superficie del plato del árbol, libre de arvenses y hojarasca, esparciendo la enmienda uniformemente en toda el área (Figuras 8 y 9). En el caso que no se haya efectuado el encalamiento al momento de la siembra, esta labor se debe realizar de manera prioritaria en el intermedio de dos fertilizaciones.

Tabla 1. Composición de algunos materiales encalantes en Colombia.

Fuente	$CaCO_3$	$MgCO_3$	CaO	MgO	Fósforo (P_2O_5)		P.D.*
					Total	Soluble	
(%)							
Cal agrícola	70		40				100
Cal viva	Mín. 70		Mín. 40				179
Cal apagada	Mín. 80		Mín. 40				136
Dolomita	55	30-40	30	15-20			109
Óxido de Mg				88			248
Dolfos	55	26	30	13	5		
Roca fosfórica	Mín. 57		32-40		24-30	3	
Escorias Thomas o calfos	Mín. 70		50	1,5	12	10	

*Poder de neutralización

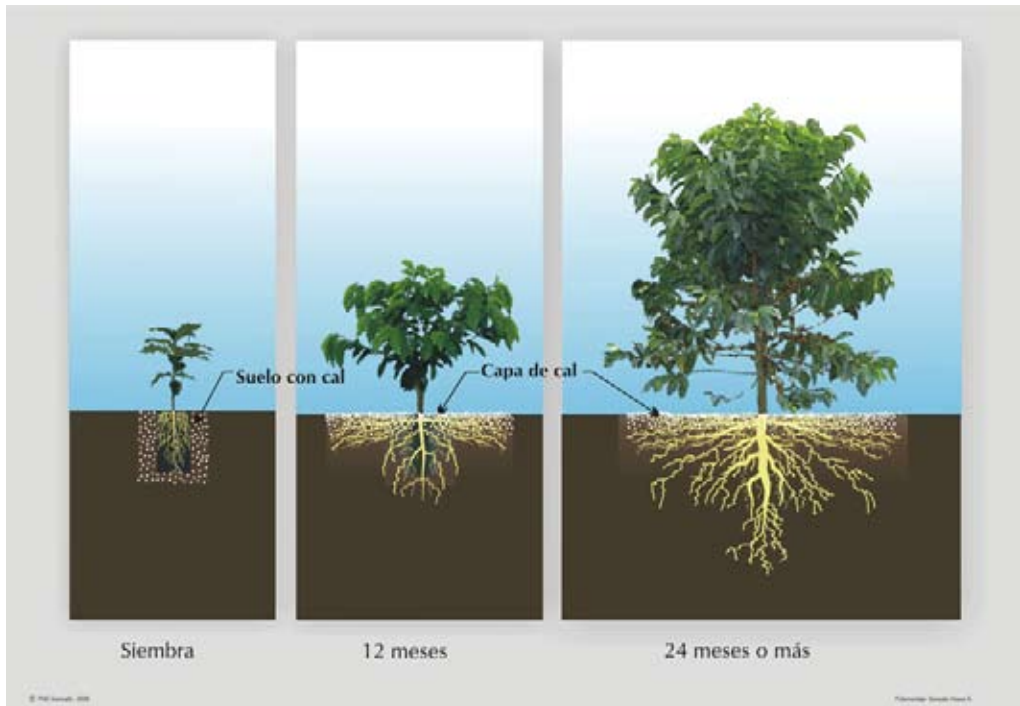


Figura 8. Ubicación de la cal a través del tiempo, en función del crecimiento radical.

Es importante tener presente que la efectividad del encalamiento es mayor si se incorpora la cal en el suelo, dada su baja solubilidad; en este sentido, la única oportunidad para efectuar esta incorporación es en la siembra, pues si se lleva a cabo después, se ocasionan daños a las raíces y se aumenta el riesgo de erosión.

Se sugiere incrementar la cantidad de cal a medida que aumenta la acidez y disminuye el contenido de Ca intercambiable (Tabla

2). Para suelos muy ácidos ($\text{pH} \leq 4,0$) las dosis varían entre 80 y 120 g/sitio (hoyo o planta), dependiendo

del contenido de Ca, y para valores de pH entre 4,0 y 5,0, la cantidad de cal varía de 60 a 100 g/

Tabla 2. Recomendaciones para el encalamiento de los cafetales en la siembra y 12 meses después, con base en el pH y el contenido de calcio.

pH	Dosis de material encalante por hoyo o plato del árbol (g)		
	Ca \leq 1,5	1,5<Ca \leq 3,0	Ca>3,0
	(cmol ₍₊₎ /kg)		
pH \leq 4,0	120	100	80
4,0<pH \leq 5,0	100	80	60
5,0<pH \leq 5,5	40	0	0



Figura 9. Aplicación de la cal en el cafetal. **a.** adición de la cal al suelo antes de la siembra; **b.** incorporación de la cal al suelo; **c.** siembra del colino con la cal incorporada al suelo; **d.** cafetal de 1 año con los platos limpios; **e.** aplicación superficial de la cal al cafetal de 1 año; **f.** aplicación de la cal en los platos de una plantación adulta.

sitio. Si el nivel de Ca es inferior a $1,5 \text{ cmol}_{(+)} / \text{kg}$ y el pH se encuentra en el rango adecuado, se sugiere adicionar dosis bajas de cal (40 g/planta) o de yeso (sulfato de calcio) con el fin de suministrar el Ca como nutriente. Sobre esta última fuente, aunque no se cuenta con resultados experimentales en la etapa de crecimiento vegetativo, las investigaciones en la fase reproductiva sugieren dosis que no superen los 20 g/planta/aplicación. Cuando los suelos tienen una acidez adecuada para el café (pH entre 5,0 y 5,5), y el nivel de Ca es superior a $1,5 \text{ cmol}_{(+)} /$

kg, no se recomienda realizar prácticas de encalado o suministro de calcio.

Las cantidades que se mencionan para el momento de la siembra, están dadas para un hoyo con las siguientes dimensiones: 30 cm x 30 cm x 30 cm (27.000 cc). Estas cantidades deben ajustarse si el tamaño del hoyo es otro; por ejemplo, para dimensiones de 25 cm x 25 cm x 30 cm (18.750 cc) se deben incorporar 70 g de cal/hoyo en vez de 100 g, para evitar desbalances nutricionales por el incremento del pH, con el cual se afecta la

disponibilidad de algunos elementos (principalmente menores), y que ocasiona la sintomatología que se conoce como "*clorosis calcárea*".

Adicionalmente, cuando el pH se encuentra por debajo 4,0 ó 4,5, es preferible hacer los hoyos de tamaños relativamente grandes (30 x 30 x 30 ó más), con el propósito de incorporar la cal en un mayor volumen, y así neutralizar la acidez en un área más grande.

En la Tabla 3 se presenta la cantidad de cal que se debe aplicar, de acuerdo con las

Tabla 3. Cantidad de cal a aplicar, según la recomendación del análisis de suelos y el tamaño del hoyo.

Dimensiones del hoyo (cm)	Tamaño del hoyo (cc)	Cantidad de cal recomendada por el análisis de suelo para un hoyo de 30 cm x 30 cm x 30 cm (g)					
		40	60	80	100	120	140
Cantidad ajustada según el tamaño del hoyo (g)							
25 x 25 x 30	18.750	27	40	54	67	80	94
25 x 25 x 35	21.875	32	48	64	80	95	111
30 x 30 x 30	27.000	40	60	80	100	120	140
30 x 30 x 35	31.500	47	71	94	118	142	165
35 x 35 x 30	36.750	56	83	111	139	167	195
35 x 35 x 35	42.875	65	98	131	164	196	229
40 x 40 x 30	48.000	74	110	147	184	221	258
40 x 40 x 35	56.000	86	130	173	216	259	302

Nota: para el cálculo de la cantidad de cal por hoyo, se descontó el volumen del pilón del almácigo (aproximadamente 2.000 cc).

Como fórmula general se puede emplear la siguiente: $[(VH - 2.000 \text{ cc}) * CCR] / 25.000 \text{ cc}$

donde: VH = volumen del hoyo (cc), 2.000 cc = volumen pilón del almácigo, CCR = Cantidad de cal recomendada para un hoyo de 27.000 cc, y 25.000 = volumen efectivo del hoyo una vez descontada el volumen del pilón.

dimensiones y el tamaño del hoyo, en relación con las recomendaciones del análisis de suelos para un hoyo con dimensiones de 30 cm x 30 cm x 30 cm.

La selección de la fuente dependerá de los contenidos de Mg y de P en el suelo (Tabla 4). Cuando los niveles de estos dos elementos son altos ($P > 30 \text{ mg/kg}$ y $Mg > 0,9 \text{ cmol}_{(+)} / \text{kg}$) se sugiere utilizar cal agrícola (carbonato de calcio- CaCO_3). Si el Mg es bajo (menor de $0,9 \text{ cmol}_{(+)} / \text{kg}$) se recomienda emplear caliza dolomítica (carbonato de Ca y de Mg - CaCO_3).

MgCO_3) en vez de la cal agrícola, en las mismas dosis. En el caso que el contenido de Mg en el suelo sea alto y se presenten niveles de P inferiores a 30 mg/kg , se podrá aplicar con las mismas dosis una enmienda calcárea con fósforo (roca fosfórica, Calfos, Escorias

Thomas). Al emplear una fuente con 10% de fósforo (P_2O_5) soluble (por ejemplo Escorias Thomas), se puede prescindir de la primera o las dos primeras aplicaciones de fósforo después de la siembra, dependiendo de la cantidad del material encalante aplicada, así:

Tabla 4. Sugerencias para la selección de la fuente del material encalante con base en el análisis del suelo.

Nivel de P	Fuente a emplear	
	$Mg > 0,9 \text{ cmol}_{(+)} / \text{kg}$	$Mg \leq 0,9 \text{ cmol}_{(+)} / \text{kg}$
$P > 30 \text{ mg/kg}$	Cal agrícola	Caliza dolomítica
$P \leq 30 \text{ mg/kg}$	Roca fosfórica, Escorias Thomas, Calfos	Caliza dolomítica

i) Si se aplican más de 80 g de Escorias Thomas con 10% de fósforo (P_2O_5) soluble, se podrá evitar la aplicación de P en el primer año de establecimiento (en el mes 1 ó 2, y a los 10 meses).
 ii) Si se aplican 80 g o menos, se podrá prescindir de la primera aplicación de P (1 ó 2 meses después de la siembra).

Debe tenerse en cuenta que la efectividad de esta labor depende de la calidad del material encalante. Lo anterior involucra aspectos como: la pureza del material, forma química, tamaño de partículas y poder relativo de neutralización. Adicionalmente, no se descarta la posibilidad de una mezcla de materiales en diferentes proporciones, de acuerdo a los niveles de los elementos en el suelo y/o su costo, por ejemplo caliza dolomítica + Escorias Thomas o cal agrícola y

Escorias Thomas. Otra opción consiste en el empleo de una fuente encalante con fósforo en la siembra y caliza dolomítica a los 12 meses.

Abonos orgánicos. Dentro de cualquier sistema de producción, bien sea orgánico o inorgánico, tecnificado o tradicional, certificado o no, el empleo de los fertilizantes orgánicos puede traer beneficios en la producción y en las propiedades del suelo; siempre y cuando se seleccione la fuente apropiada y se apliquen las cantidades suficientes.

La principal fuente de materia orgánica en las fincas cafeteras es la pulpa de café. En el proceso de la obtención de 1.250 kg de café pergamino seco (c.p.s.), es decir 100 arrobas (@), se generan cerca de 2.700 kg de pulpa fresca, los cuales llegan a aportar 10,2 kg de

N, 1,4 kg de P_2O_5 , 23,8 kg de K_2O , 2,2 kg de CaO, 0,8 kg de MgO y 0,4 kg de SO_4 (48). En el caso de emplear la lombriz roja californiana para su descomposición, los 2.700 kg de pulpa fresca se reducen a 950 kg (11). La composición elemental de este material orgánico y sus propiedades físicas y químicas pueden presentar algunas variaciones de acuerdo a la localidad y a las diferencias en su proceso de descomposición (Tabla 5).

Se ha demostrado que es posible obtener incrementos en la producción si se incorporan 6 kg de pulpa de café descompuesta en el hoyo de la siembra, en suelos con bajos niveles de materia orgánica (64). Esta cantidad, la cual coincide aproximadamente con una relación de suelo:pulpa 3:1, para un hoyo de 30 cm x 30 cm x 30 cm, puede resultar costosa cuando no se

Tabla 5. Características de la pulpa de café descompuesta por lombriz roja californiana en algunas muestras analizadas en Cenicafé (43).

Ref.	pH	Humedad	Cenizas	N						P					
				N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu	B		
				(%)						(mg/kg)					
1	6,6	61	43	2,6	0,4	2,1	1,8	0,4	5.507	312	133	61	84		
2	8,1	59	45	3,1	0,6	7,1	2,2	0,4	6.850	346	100	71	73		
3	7,4	58	60	3,0	0,3	3,2	1,8	0,4	1.081	272	82	67	60		

Nota: Los contenidos están expresados en base seca.

Referencias: 1) Promedio de 17 muestras analizadas en el laboratorio de la Disciplina de Suelos, Cenicafé, provenientes de diferentes localidades, 2) Muestra proveniente de Floridablanca, Santander, 3) Muestra proveniente de Chinchiná, Caldas.

dispone del abono orgánico en la finca, especialmente en plantaciones con medianas y altas densidades, pues la cantidad requerida resulta muy elevada, así: 24, 36, 48 y 60 t para 4.000, 6.000, 8.000 y 10.000 plantas/ha, respectivamente.

Algunas alternativas para racionalizar el empleo de los abonos orgánicos en el establecimiento del cafetal consisten en: i) dirigir la atención a los sectores más críticos, por ejemplo los “filos” y otros sitios en donde ha ocurrido una mayor erosión; ii) utilizar árboles como alternativa de sombrero, especialmente especies que aportan altas cantidades de material orgánico, ricos en lignina, como el guamo (*Inga* spp.), pueden mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (5, 6); iii) utilizar fuentes orgánicas más económicas, al respecto es necesario tener en cuenta que al emplear gallinaza o pollinaza, se recomienda saber si contienen cales

o no, con el fin de tomar las mejores decisiones; iv) realizar prácticas de conservación tendientes a reducir la erosión.

En la etapa de levante, la fertilización química se puede reemplazar parcial o totalmente por la orgánica (64, 2); sin embargo, cualquiera que sea la alternativa, es necesario contar con los resultados de los análisis de suelo para tomar decisiones acerca de aspectos relacionados con el manejo de la acidez y la cantidad del fertilizante y/o enmienda requerida.

El uso de la pulpa descompuesta en dosis de 6 kg/planta/año en el período de crecimiento vegetativo, ha demostrado tener efectos benéficos en la primera cosecha (64). Así mismo, se pueden aplicar 1 ó 2 kg de lombrinaza/planta/año (2).

Nitrógeno. Debido a las altas exigencias de este nutriente por la planta de

café, se recomienda incluirlo en todas las aplicaciones. La materia orgánica del suelo (MO) es la principal fuente de N, por lo tanto, las dosis a aplicar se ajustan con base en esta propiedad del suelo (Tabla 6).

En esta etapa solo se establecen dos categorías de fertilidad para la MO: i) Suelos con contenidos bajos a medios ($MO \leq 8\%$), y ii) Suelos con contenidos medios a altos ($MO > 8\%$). Para los primeros, es decir, aquellos que tienen un menor porcentaje de N, se sugiere una dosis más alta (desde 7,0 g de N/planta en el mes 1 ó 2, hasta 16 g de N/planta en el mes 18). Para los suelos con $MO > 8\%$ (los que tienen niveles de N más altos), se sugiere aplicar las menores dosis (de 5 a 14 g de N/planta). Aunque el fertilizante de uso común es la urea con 46% de N, no se descarta la posibilidad de emplear otras fuentes como el nitrato de amonio (26% de N) y el sulfato de

Tabla 6. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada en la etapa de crecimiento vegetativo del café con base en el contenido de la materia orgánica del suelo (MO).

Contenido de MO	Nutriente/ Fertilizante	Dosis (g/planta)				
		Mes 1 ó 2*	Mes 6	Mes 10	Mes 14	Mes 18
$MO \leq 8\%$	Nitrógeno	7	9	12	14	16
	Urea	15	20	26	30	35
$MO > 8\%$	Nitrógeno	5	7	9	12	14
	Urea	10	15	20	25	30

* Mes después de siembra

amonio (21% de N y 24% de S). Es importante resaltar que esta última presenta un mayor efecto acidificante por unidad de nitrógeno; por tal razón se sugiere restringir su empleo a suelos con valores altos de pH para café.

Fósforo. Para el suministro de fósforo deben tenerse en cuenta los niveles de este elemento en el suelo al momento del transplante y las prácticas de manejo nutricional efectuadas en la etapa de almácigo.

Cuando los contenidos de fósforo en el suelo se encuentren por debajo de su nivel crítico para esta etapa (30 mg/kg), se recomienda aplicarlo a los 2, 10 y 18 meses después del transplante en el campo (Tabla 7). Para contenidos de fósforo por encima de 30 mg/kg no se espera respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfóricos.

En el caso de emplear DAP como fuente de fósforo, se podrán ajustar las cantidades de urea; por ejemplo, si la MO es inferior a 8% y el nivel de P no supera 30 mg/kg, se podrán aplicar 20 g de una mezcla urea y DAP en proporción 3:2 a los dos meses, 35 g de mezcla en proporción 2:1 a los 10 meses y 45 g de la mezcla en proporción 2:1 a los 18 meses.

Cuando se ha realizado una fertilización fosfórica en la etapa del almácigo, con 2 g de P_2O_5 a los 2 y 4 meses después del transplante en forma de DAP u otra fuente, se puede prescindir de la primera fertilización con este elemento al primero o segundo mes después de la siembra en el campo.

Potasio. En esta etapa la demanda del potasio es relativamente baja, pero se incrementa con la primera floración y el llenado de frutos. Cuando los contenidos de este elemento en el suelo se encuentran por debajo de 0,40 $cmol_{(+)} / kg$,

se debe incluir en los planes de fertilización a los 18 meses (Tabla 8). Además, en localidades donde el contenido es muy bajo (menor a 0,20 $cmol_{(+)} / kg$), y los síntomas de deficiencia se manifiestan tempranamente (entre 12 y 14 meses después de la siembra), se sugiere aplicar 10 g/planta de K_2O a los 10 ó 12 meses; en este caso la siguiente aplicación se realizará a los 18 meses.

Magnesio. En suelos deficientes en este nutriente llegan a manifestarse deficiencias en la planta a medida que avanza el

Tabla 7. Recomendaciones para la fertilización fosfórica en la etapa de crecimiento vegetativo del café para suelos con contenidos de $P \leq 30$ mg/kg.

Nutriente – Fertilizante	Dosis (g/planta)				
	Mes 1 ó 2*	Mes 6	Mes 10	Mes 14	Mes 18
Fósforo (P_2O_5)	4		5		6
DAP (46% de P_2O_5 y 18% de N)	9		11		13

* Mes después de siembra

Tabla 8. Recomendación para la fertilización potásica en la etapa de crecimiento vegetativo del café para suelos con contenidos de $K \leq 0,4$ $cmol_{(+)} / kg$.

Nutriente - Fertilizante	Dosis (g/planta)				
	Mes 1 ó 2*	Mes 6	Mes 10	Mes 14	Mes 18
Potasio (K_2O)					10
KCl (60% de K_2O)					17

* Mes después de siembra

llenado de los granos; condición que se puede agravar si se excede en las fertilizaciones potásicas y/o nitrogenadas, o el encalado con enmiendas que no contienen este elemento; de allí la importancia de una fertilización racional y la selección de una fuente apropiada de enmienda en dosis adecuadas.

Con las aplicaciones de cal dolomítica para la corrección de la acidez, también se suplen los requerimientos de Mg, siempre y cuando se apliquen cantidades suficientes de una fuente de alta pureza (con contenidos de MgO mayores a 15%). Si no hay necesidad de encalar, se deberá recurrir al uso de fertilizantes que contengan este nutriente; en este caso se podrán aplicar dosis equivalentes a 2 ó 3 g/planta de magnesio (MgO), a los 18 meses después de la siembra, si el nivel del elemento en el suelo es inferior a 0,9 cmol₍₊₎/kg.

Entre los fertilizantes magnésicos se encuentra la Kieserita, fuente sulfatada de alta solubilidad con 25% de MgO y 20% de azufre (S), que no altera la acidez del suelo, y que por su granulometría se puede mezclar con la urea, DAP o KCl. Al emplear la Kieserita es posible fraccionar la dosis mencionada en dos aplicaciones, así: 5 g/planta,

a los 10 y 18 meses junto con los demás elementos. Otras fuentes menos solubles son el óxido de magnesio (88% de MgO) y el carbonato de magnesio (40% de MgO); éstas son de reacción alcalina, aspecto importante a tener en cuenta a la hora de seleccionarlas.

Forma de aplicación.

Las primeras dos o tres aplicaciones de los fertilizantes se realizan ubicándolos en áreas cercanas al tallo, donde se encuentra la biomasa radical, sin que entren en contacto con éste y siempre teniendo en cuenta la disponibilidad de humedad en el suelo, condición regulada por la precipitación. Cuando las plantas hayan adquirido cierto desarrollo (en el segundo año), será posible aplicar los fertilizantes al voleo en el plato del árbol.

3.7 Nutrición en la etapa de crecimiento vegetativo – Renovación por zoca

La fertilización de los cafetales renovados por zoca debe iniciarse a los 2 ó 3 meses después de haber realizado el corte y posterior a la selección de chupones.

En el primer año las plantas presentan un crecimiento mayor que las nuevas siembras; debido a ello, sus requerimientos

nutricionales son más altos. El nitrógeno se caracteriza por ser el nutriente de mayor demanda, seguido por el fósforo y el potasio.

De acuerdo con Valencia (68) los criterios para la fertilización en el primer año son semejantes a los de los cafetales renovados por siembra en el segundo año de establecimiento. A partir del segundo año, los criterios para la fertilización son similares a los cafetales en la etapa de producción (Tablas 9, 10 y 11).

Para esta etapa se emplean cantidades parcialmente mayores de cal, en comparación con las nuevas siembras (Tabla 12), las cuales se aplican ocho meses después del zoqueo. Con respecto a las fuentes, se conservan los mismos criterios para su selección mencionados en la Tabla 4.

3.8 Nutrición en la etapa reproductiva

La fase reproductiva comienza con la aparición de las primeras flores, cuya iniciación puede estar influenciada por la época de siembra, la temperatura y la disponibilidad hídrica. Se considera como primera floración, el momento en que por lo menos el 50% de las plantas han florecido, lo cual ocurre en la zona cafetera del

Tabla 9. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada en la etapa de zoca del café con base en los contenidos de la materia orgánica del suelo (MO).

Contenido de MO	Nutriente/ Fertilizante	Dosis (g/planta)		Dosis (kg/ha)
		Mes 2*	Mes 6	Meses 12 y 18
MO ≤ 8%	Nitrógeno	12	14	Fertilizar como cafetal en la etapa de producción
	Urea	25	30	
MO > 8%	Nitrógeno	14	16	
	Urea	30	35	

* Mes después de la zoca

Tabla 10. Recomendaciones para la fertilización fosfórica en la etapa de zoca para suelos con contenidos de P ≤ 30 mg/kg.

Nutriente – Fertilizante	Dosis (g/planta)		Dosis (kg/ha)
	Mes 2*	Mes 6	Meses 12 y 18
Fósforo (P ₂ O ₅)		6	Fertilizar como cafetal en la etapa de producción
DAP (46% de P ₂ O ₅ y 18% de N)		12	

* Mes después de la zoca

Tabla 11. Recomendaciones para la fertilización potásica en la etapa de zoca para suelos con contenidos de K ≤ 0,4 cmol₍₊₎/kg.

Nutriente – Fertilizante	Dosis (g/planta)		Dosis (kg/ha)
	Mes 2*	Mes 6	Meses 12 y 18
Potasio (K ₂ O)		10	Fertilizar como cafetal en la etapa de producción
KCl (60% de K ₂ O)		17	

* Mes después de la zoca

país aproximadamente 11 meses después de la siembra en el campo. La fase reproductiva continúa con el desarrollo del fruto y culmina con la maduración de éste y la cosecha (1).

Dado que la producción de la primera cosecha depende en buena medida de la época de la siembra, la cual generalmente no es significativa, los criterios para la fertilización de las plantas

en esta fase se inician a los 18 meses después de la siembra en el campo.

En esta etapa se busca, con el uso de fertilizantes y enmiendas (principalmente cales y abonos orgánicos), obtener la mayor producción y la calidad del café, con los mínimos costos económicos y ambientales.

La fertilización mineral y orgánica así como el encalamiento de los cafetales tienen un mayor impacto cuando: las plantaciones están jóvenes, se encuentran a plena exposición solar y se desarrollan bajo condiciones ambientales favorables de clima y de suelo. Adicionalmente, otras prácticas de manejo tales como desyerbas oportunas, controles fitosanitarios y prácticas de conservación de suelos, contribuyen a optimizar el uso de los nutrientes por la planta.

Tabla 12. Recomendaciones para el encalamiento de los cafetales ocho meses después de la zoca con base en el pH y los contenidos de calcio.

pH	Dosis de material encalante (g/sitio)		
	Ca ≤ 1,5	1,5 < Ca ≤ 3,0	Ca > 3,0
(cmol ₍₊₎ /kg)			
pH ≤ 4,0	140	120	100
4,0 < pH ≤ 5,0	120	100	80
5,0 < pH ≤ 5,5	40	0	0

En esta etapa las recomendaciones se expresan en kilogramos de nutriente o del fertilizante por hectárea, mas no en gramos por planta, pues en esta fase existe competencia entre las plantas y, por lo tanto, el manejo va dirigido a las poblaciones y no a los individuos (45).

3.8.1 Requerimientos nutricionales

Se ha demostrado que en esta etapa las plantaciones tecnificadas pueden responder positivamente al suministro de nitrógeno, potasio, fósforo, magnesio, azufre, calcio y, eventualmente, a boro, dependiendo de factores como la fertilidad del suelo, las condiciones climáticas, la densidad de siembra y el nivel de sombra, entre otros.

Extracción de nutrientes. De acuerdo a la investigación desarrollada por Riaño *et al.* (36), en la zona cafetera

central de Colombia, los cafetales con densidades cercanas a las 4.000 plantas/ha, extraen las siguientes cantidades de nutrientes hasta los 2.000 días después de la siembra: 560 kg/ha de N, 52 kg/ha de P, 520 kg/ha de K, 240 kg/ha de Ca y entre 60 y 120 kg/ha de Mg. Además, en este mismo estudio se demostró que para una misma densidad de siembra, la extracción total de nutrientes puede ser similar en lugares con diferente potencial productivo; en este caso, lo que cambia es la partición de los asimilados en los diferentes órganos de la planta, es decir, la relación fuente-vertedero. Este comportamiento tiene su origen en las condiciones medioambientales en cada localidad.

Sadeghian *et al.* (47) explican el anterior comportamiento de la siguiente manera: en municipios como Marquetalia (Caldas),

caracterizados por una baja luminosidad (1.378 horas luz/año) y alta precipitación (4.583 mm/año), la planta de café invierte más cantidad de nutrientes en la fabricación de hojas que en la producción de frutos, con el fin de incrementar el área foliar para capturar una mayor cantidad de energía lumínica. Por el contrario, en municipios como Chinchiná (Caldas), con una mayor luminosidad (1.470 horas luz/año) y menor precipitación (2.987 mm/año), la planta emplea más cantidad de nutrientes para producir frutos que hojas.

Lo expuesto tiene implicaciones prácticas como la siguiente: si en Marquetalia se llegara a fertilizar a un cafetal tecnificado a plena exposición solar, que tiene un potencial de producción de 200 arrobas (@), con la mitad de la dosis que se aplica al mismo cafetal ubicado en Chinchiná y con 400 arrobas, se afectaría su biomasa de hojas, ramas y raíces, con consecuencias negativas sobre la producción de los frutos.

Remoción de nutrientes. Sadeghian *et al.* (47) determinaron la cantidad de macro y micronutrientes extraídos por cada una de las partes que componen el fruto de café (Tablas 13 y 14, respectivamente).

Tabla 13. Cantidad de macronutrientes extraídos (kg) por las partes que componen el fruto de café, equivalentes a 1.000 kg de café almendra (100 @ de c.p.s.).

Parte del Fruto	Nitrógeno		Fósforo		Potasio		Calcio		Magnesio		Azufre	
	N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Ca	CaO	Mg	MgO	S	SO ₄	
Café almendra	16,79	1,39	3,19	12,40	14,89	1,61	2,25	1,47	2,45	0,99	2,96	
Pulpa	11,50	0,70	1,60	22,31	26,80	1,76	2,46	0,57	0,94	0,13	0,40	
Pergamino	0,96	0,02	0,05	0,60	0,72	0,42	0,60	0,11	0,18	0,09	0,27	
Mucílago	1,70	0,15	0,34	1,61	1,93	0,47	0,65	0,11	0,18	*	*	
Total	30,94	2,26	5,18	36,92	44,34	4,26	5,96	2,26	3,75	1,21	3,63	

*: No se detectó

Lo anterior, junto con la información acerca de los elementos perdidos por procesos como la erosión y la lixiviación, es útil en aspectos como: la estimación de la dosis de sostenimiento de los nutrientes poco móviles o medianamente móviles y la valoración de la pulpa como fuente fertilizante.

Pese a la similitud en la cantidad total de nutrientes que pueden extraer plantaciones con diferentes niveles de producción, la cantidad de elementos removidos del suelo por una cosecha aumenta conforme al incremento de la producción, puesto que ésta no retorna al suelo por medio de los procesos de ciclaje de nutrientes, como ocurre con otros órganos de la planta, como las hojas y ramas. La Figura 10 ilustra la anterior

Tabla 14. Cantidad de micronutrientes extraídos (g) por las partes que componen el fruto de café, equivalentes a 1.000 kg de café almendra (100 @ de c.p.s.).

Parte del fruto	Fe	Mn	Zn	Cu	B
Café almendra	33,06	37,61	7,38	12,26	10,05
Pulpa	28,97	16,38	4,43	16,25	34,97
Pergamino	7,53	4,01	1,29	1,81	1,32
Mucílago	37,73	3,36	4,66	2,70	3,45
Total	107,29	61,36	17,76	33,02	49,79

situación en términos de extracción y remoción, para dos localidades de la zona cafetera con diferentes niveles de producción.

3.8.2 Niveles de detalle

Con base en las investigaciones desarrolladas por Cenicafé, se pueden sugerir planes para la fertilización de los cafetales en diferentes escalas de detalle, de acuerdo con la información disponible. Como es de esperarse,

el riesgo de cometer una equivocación en las recomendaciones para el manejo de la fertilidad del suelo se incrementa conforme al aumento de la escala (Figura 11), tal como lo demuestra el estudio desarrollado por Patiño *et al.* (34).

En una escala muy general, por ejemplo de país, se pueden suministrar cantidades medias o máximas de los diferentes nutrientes, mediante la

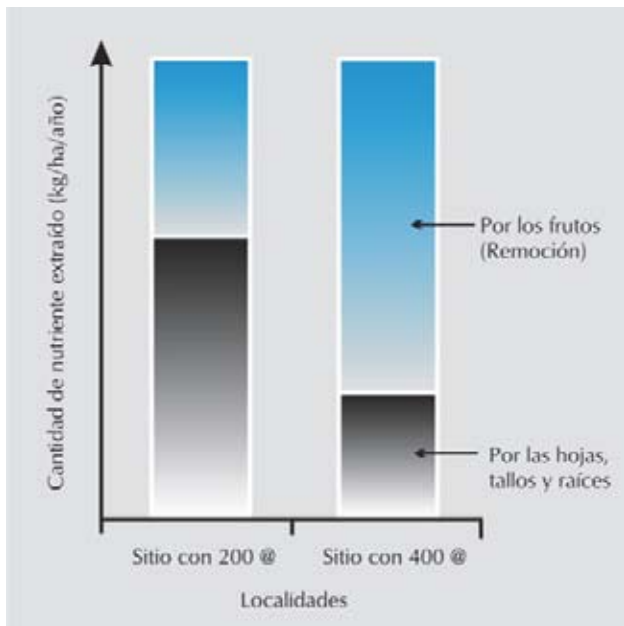


Figura 10. Extracción y remoción de nutrientes, en sitios con igual densidad de siembra, pero diferentes en su potencial de producción.

aplicación de fertilizantes compuestos, sin que haya una racionalización o ahorro económico; sin embargo, estas formulaciones generales pueden no ser exitosas y generar desbalances químicos, tanto en el medio edáfico como en la planta. En este sentido, para cafetales tecnificados a libre exposición solar, las cantidades de nitrógeno (N) y potasio (K_2O) varían entre 240 y 300 kg/ha/año, y las del fósforo (P_2O_5), magnesio (MgO) y azufre (S) entre 30 y 60 kg/ha/año (43).

En un segundo nivel de detalle, es posible ajustar parcialmente la dosis de los nutrientes según la información de la fertilidad regional del suelo (por unidad de suelo, ecotopo, departamento, municipio y vereda, entre otros), obtenida mediante estudios básicos o por medio del empleo de registros históricos de análisis de suelos. Son ejemplo de lo anterior los estudios realizados por Patiño *et al.* (34), en la zona cafetera del departamento de Valle del Cauca, y por Patiño *et al.* (33) en el departamento de Quindío.

Con la información de los resultados de análisis de suelos de lotes, se logra una mayor racionalización de insumos, y por lo tanto los máximos beneficios



Figura 11. Relación entre el riesgo económico-ambiental del manejo de la fertilidad del suelo y la información disponible en diferentes escala de detalle.

económicos y ambientales (44).

Durante los años recientes ha sido frecuente hablar de la agricultura de precisión y el manejo de la fertilidad del suelo por sitio específico. Cabe aclarar que las técnicas en mención tienen una aceptada y acertada aplicación en áreas relativamente grandes, de acuerdo al cultivo; pues es diferente referirse a hortalizas o flores que a pastos, palma o soya. Respecto al café, la aplicabilidad del Manejo Por Sitio Específico (MPSE) para la nutrición también cambia según las condiciones, por ejemplo, no es lo mismo una explotación mediana o grande en Brasil que en Colombia. En nuestro país el 55% de los 511.933 caficultores poseen menos de 1 ha en café y el 87% menos de 2 ha. Por esta razón promover el tema de la agricultura de precisión para ellos, no tiene las mismas connotaciones que para el 1,7% de los productores que poseen más de 10 ha. Si a lo anterior se suma el tema de la renovación por siembra o zoca por quintas partes para los pequeños productores, el promedio del área de cada lote sería muy reducida, hecho que conlleva a pensar que muchos productores ya estarían dando un MPSE a

sus cafetales si emplean los análisis de suelos.

3.8.3 Ajuste por densidad de siembra y sombrío

Una de las principales características de la caficultura colombiana es su gran diversidad, la cual resulta de los contrastes que se presentan en aspectos climáticos, edáficos, biológicos y culturales, de las diferentes regiones del país. En respuesta a lo anterior se derivan múltiples sistemas de producción, también diversos en sus requerimientos nutricionales. Las principales diferencias radican en la densidad de siembra y el nivel de sombra; factores que afectan la producción y el ciclaje de nutrientes, según las especies acompañantes (43).

Con base en las investigaciones realizadas por Cenicafé en materia de la fertilización con respecto a la densidad de siembra (63) y nivel de sombra (28; 16, 17), es posible realizar ajustes en las cantidades de los nutrientes, con el fin de racionalizar la práctica de fertilización.

Para cafetales con altas densidades de siembra (entre 7.500 y 10.000 plantas o ejes/ha) y un nivel de sombra muy bajo (menor de 35%), se sugiere suministrar

las máximas dosis de los nutrientes recomendadas por el análisis de suelos o de acuerdo con la información disponible acerca de la fertilidad regional del suelo en diferentes niveles de detalle. Estas cantidades se toman como **criterio base** para realizar ajustes según el nivel de sombra y densidad de siembra. En plantaciones al sol y con densidades medias, es decir entre 5.000 y 7.500 plantas/ha, se podrá aplicar el 95% de las cantidades definidas para el criterio base, y cuando las densidades son bajas (menores de 5.000 plantas/ha) se sugiere el 85% del valor en referencia. En lotes con niveles de sombra entre 35 y 45% y con densidades medias, se debe aplicar el 85% de las cantidades del criterio base, y el 75% cuando las densidades son bajas. Si la plantación cuenta con un nivel de sombra entre 45 y 55%, se sugiere fertilizar con el 50% del criterio base, y en los cultivos con sombrío denso (más de 55% de sombra) no es necesario realizar esta práctica, dado que la plantación no responde a la fertilización.

En la Tabla 15 se presentan los factores por los cuales se deben multiplicar los requerimientos nutricionales para lograr los ajustes por nivel de sombra y densidad.

Tabla 15. Factores de corrección para ajustar los requerimientos nutricionales de acuerdo al nivel de sombra y densidad.

Nivel de sombra	Densidad de siembra (plantas/ha)		
	7.500-10.000	5.000-7.500	<5.000
A plena exposición solar o con nivel de sombra inferior a 35%	1,00	0,95	0,85
Nivel de sombra entre 35 y 45%		0,85	0,75
Nivel de sombra entre 45 y 55%			0,50
Nivel de sombra mayor de 55%			0

3.8.4 Recomendaciones con base en el análisis de suelos

Los resultados de los análisis de suelo deben conducir a la aplicación de fuentes simples en cantidades ajustadas; procedimiento que contribuye a la racionalización de estos insumos, y por lo tanto, a la reducción de los costos de producción. En ocasiones existe cierta preferencia de los caficultores por los fertilizantes clasificados como complejos granulados; sin embargo, Sadeghian *et al.* (46) demostraron que al mezclar los fertilizantes simples en la finca, es posible obtener producciones similares a las obtenidas con los complejos granulados, cuando se aplican las mismas cantidades de nutrientes, con la ventaja que mediante el empleo de los primeros se puede decidir sobre la cantidad y la fuente a aplicar.

Nitrógeno. Es el elemento más limitante en la

producción de café, y es el único que nunca debe excluirse de los planes de fertilización. Su principal reserva en los suelos es la materia orgánica (MO), la cual por medio de los procesos de mineralización, suministra a la planta parte de sus requerimientos.

Cuando los niveles de MO son bajos (contenidos menores o iguales a 8%), se deben aplicar las máximas dosis de N. Conforme aumentan sus niveles, se disminuye la respuesta a este

elemento y se debe reducir la cantidad del fertilizante; sin embargo, en suelos con muy altos contenidos de MO (mayor de 20%), donde el proceso de mineralización es afectado negativamente por las bajas temperaturas, es necesario incrementar las dosis (Tabla 16).

La fuente más utilizada es la urea que, por su alta concentración (46% de N), frecuentemente es la de menor costo por unidad de elemento suministrado. A pesar de que esta fuente

Tabla 16. Recomendaciones para la fertilización nitrogenada en la etapa de producción del café, con base en los contenidos de la materia orgánica del suelo.

Contenido de Materia Orgánica (%)	Dosis (kg/ha/año)	
	Nitrógeno - N	Urea
MO ≤ 8	300	652
8 < MO ≤ 12	280	609
12 < MO ≤ 16	260	565
16 < MO ≤ 20	240	522
MO > 20	260	565

genera acidez en el suelo, su efecto por la unidad de N es menor que el de otros fertilizantes nitrogenados como el sulfato de amonio, el cual puede emplearse en rotación con urea en suelos con valores altos de pH (más de 6,0) y deficientes en azufre.

Fósforo. Es el elemento primario con el cual menos respuesta se ha obtenido en el cultivo de café en esta fase, aun en suelos con contenidos bajos de este elemento. Las aplicaciones crecientes de fósforo, vía fertilizantes inorgánicos o en mezcla con abonos orgánicos, no han mostrado respuestas contundentes y continuas sobre la producción, razón por la cual su efecto se considera de poca magnitud y ocasional (60, 61).

La respuesta al suministro de fósforo puede manifestarse luego de haber suspendido su aplicación durante un tiempo. Sadeghian (39), para algunos sitios de la región cafetera de Colombia, registró reducción en la producción después de excluir este nutriente de los planes de fertilización durante cuatro años.

En la actualidad, el fertilizante de mayor uso en la zona cafetera es el fosfato diamónico (DAP), el cual además de fósforo

(46% de P_2O_5) contiene N (18%). De acuerdo con Guerrero (21), esta fuente teóricamente presenta una mayor eficiencia agronómica en los suelos con valores de pH relativamente bajos, como los de la zona cafetera colombiana. Otras fuentes son el superfosfato triple - SFT (46% de P_2O_5 y 14% de Ca) y el fosfato momoamónico-MAP (52% de P_2O_5 y 11% de N).

En la Tabla 17 se presentan las dosis de fósforo (P_2O_5) y de DAP en función de los contenidos de fósforo en el suelo. La cantidad más elevada (60 kg/ha/año) se podrá fraccionar en dos aplicaciones semestrales, la dosis media en una sola aplicación en la cosecha principal, y la dosis más baja (21 kg/ha/año de P_2O_5), la cual corresponde a la de sostenimiento para una producción alta, se sugiere que no se aplique en el primer año, sino en la cosecha principal del

segundo año, duplicando su cantidad (42 kg). Lo anterior con el fin de facilitar los aspectos operacionales para la obtención de una buena mezcla física de los fertilizantes, y suministrar el nutriente en momentos de una mayor demanda, cuando se espera que se hayan reducido los niveles iniciales de este elemento en el suelo.

Potasio. Con base en la frecuencia y la magnitud de la respuesta al suministro de los nutrientes, el potasio ocupa el segundo lugar después del nitrógeno (61, 37). Aunque la planta de café absorbe este nutriente de manera continuada a través del tiempo, su demanda se incrementa con el llenado del grano.

En una investigación desarrollada por Sadeghian (37), en las diferentes regiones del país, se demostró que los cafetales a libre exposición solar o con sombrero muy bajo,

Tabla 17. Recomendaciones para la fertilización fosfórica en la etapa de producción del café, con base en los contenidos de fósforo en el suelo.

Contenido de fósforo (mg/kg)	Dosis (kg/ha/año)	
	Fósforo (P_2O_5)	DAP
$P \leq 10$	60	130
$10 < P \leq 20$	40	87
$20 < P \leq 30$	21	46
$P > 30$	0	0

responden de manera significativa a la fertilización con potasio, cuando sus contenidos en el suelo son menores a 0,2 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$. Para el caso en referencia se pueden presentar reducciones en la producción cercanas al 30%, y por lo tanto, se sugiere suministrar dosis relativamente altas (Tabla 18).

Para niveles comprendidos entre 0,2 y 0,4 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$, la reducción en el rendimiento es menor (entre 10 y 30%). Cuando los contenidos son superiores a 0,4 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$, se recomienda suministrar una dosis de sostenimiento, con el fin de evitar el agotamiento del nutriente en el suelo. Para cafetales con nivel de sombra mayor a 35% y densidades inferiores a 5.000 plantas o ejes/ha, en los cuales la producción no es tan alta, se puede suspender la fertilización potásica si el nivel de este elemento en el suelo excede a 0,8 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$.

Para nivel de potasio entre 0,6 y 0,8 se recomienda aplicar la cantidad correspondiente (120 a 140 kg /ha/año de K_2O) en una sola dosis, al iniciar la época del llenado del grano, es decir en la cosecha principal. Así mismo, se sugiere que la dosis más baja (100 kg /ha/año de K_2O), no se aplique en el primer

año sino en el segundo, duplicando la cantidad (200 kg/ha/año de K_2O); la cual se podrá fraccionar en dos aplicaciones. Lo anterior se hace teniendo en cuenta los siguientes aspectos: i) si se realiza la aplicación en el primer año (época inmediata a la toma de la muestra de suelo) no habrá respuesta, debido a que el nivel de K en el suelo es muy alto; por lo tanto, se presentarán mayores pérdidas del nutriente y/o competencia con otros nutrientes, principalmente Mg; ii) para el segundo año, cuando disminuya el contenido de K en el suelo por la extracción de la planta y la lixiviación o fijación, habrá más probabilidad de tener éxito con la aplicación; y iii) será más fácil la obtención de la mezcla física de los fertilizantes potásicos con otros como la urea o DAP, dada su mayor cantidad.

Magnesio. Los síntomas de deficiencia de este elemento

ocurren principalmente en las ramas productivas, durante las épocas de llenado del grano, causando en ocasiones defoliaciones severas. Su absorción, y por lo tanto su concentración en las hojas, se afecta negativamente con las fertilizaciones potásicas (37).

Con el propósito de lograr una adecuada nutrición de Mg es necesario mantener sus contenidos en el suelo en niveles adecuados y evitar su agotamiento. Para lo anterior se recomienda aplicar este elemento en dosis entre 15 y 60 kg de $\text{MgO}/\text{ha}/\text{año}$ (Tabla 19). Las dosis más altas se podrán suministrar en una o dos aplicaciones, pero por aspectos operacionales, como se explicó anteriormente, se sugiere que la dosis de sostenimiento (15 kg) no se aplique en el primer año, sino en el segundo, duplicando su cantidad (30 kg).

Tabla 18. Recomendaciones para la fertilización potásica en la etapa de producción del café con base en los contenidos del potasio en el suelo.

Contenido de potasio ($\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$)	Dosis (kg/ha/año)	
	Potasio (K_2O)	KCl
$0 \leq K \leq 0,2$	300	500
$0,2 < K \leq 0,4$	260	433
$0,4 < K \leq 0,6$	180	300
$0,6 < K \leq 0,8$	140	233
$0,8 < K$	100	167

Estudios desarrollados por Cenicafé han demostrado que la absorción de Mg por la planta de café se ve afectada por los contenidos de K en el suelo y viceversa, sin que ello haya afectado la producción de manera general (37); por esta razón todavía no se cuentan con niveles críticos para las relaciones entre estas bases intercambiables y sólo se ha hecho mención a una relación ideal de Ca:Mg:K (6:2:1), con base en los contenidos adecuados de estos nutrientes en el suelo (2,4 cmol₍₊₎/kg de Ca, 0,8 cmol₍₊₎/kg de Mg y 0,4 cmol₍₊₎/kg de K). Cabe aclarar que los cationes en referencia difieren en sus cargas (mono y divalentes), aspecto que afecta la fuerza de retención por los coloides del suelo. Además, los suelos de la zona cafetera de Colombia pueden presentar diferencias entre sí en su comportamiento para retener estos cationes, es decir, que a veces retienen más un elemento que otro, hecho que no permite lograr estas relaciones cuando se aplican fertilizantes o enmiendas. Al respecto, otro factor determinante ha sido la solubilidad de la fuente y su residualidad a través de tiempo; en este sentido, el óxido de Mg exhibe una mayor residualidad que el sulfato de Mg (42).

Con base en la posible “competencia” o el antagonismo entre K y Mg, se podrán realizar algunos ajustes en los planes de fertilización, con el fin de lograr a una nutrición más adecuada de las plantas, antes de querer modificar las actuales relaciones entre bases. Por ejemplo, cuando los niveles de K son inferiores a 0,80 cmol₍₊₎/kg, y se aplica como enmienda caliza dolomítica en dosis de 800 kg/ha o más, se podrá prescindir de la aplicación de otras fuentes de Mg durante un año. Para contenidos de K > 0,80 cmol₍₊₎/kg se puede suministrar anualmente una fuente adicional de Mg (preferiblemente de alta solubilidad), independientemente de su aplicación como caliza dolomítica.

Las fuentes de magnesio comúnmente empleadas son: óxido de Mg (88% MgO), carbonato de Mg (40% MgO), sulfato de Mg

(mínimo 18% de MgO y 10% de S) o kieserita (25% MgO y 20 de S).

Azufre. Rara vez se observan las deficiencias de este nutriente en las plantaciones de café en Colombia. En el trabajo desarrollado por González *et al.* (19) se pudo corroborar que suelos con altos contenidos de MO, tales como los andisoles, exhiben altos contenidos totales de S. Pese a lo anterior, esta condición no garantiza una mayor disponibilidad de este elemento para las plantas.

En investigaciones recientes se ha encontrado que en suelos con muy bajos niveles (S ≤ 6 mg/kg) los cafetales responden a la aplicación de 50 ó 60 kg/ha/año, y en suelos con contenidos medios (6 < S ≤ 12 mg/kg) se requieren solo 25 ó 30 kg/ha/año (42).

Elementos menores. A diferencia de los elementos

Tabla 19. Recomendaciones para la fertilización con magnesio en la etapa de producción del café con base en los contenidos de magnesio en el suelo.

Contenido de magnesio (cmol ₍₊₎ /kg)	Dosis (kg/ha/año)	
	Magnesio (MgO)	Óxido de Mg
Mg ≤ 0,3	60	70
0,3 < Mg ≤ 0,6	40	45
0,6 < Mg ≤ 0,9	15	17,5
Mg > 0,9	0	0

primarios, no son muy comunes los síntomas de las deficiencias de los elementos menores, solamente en ocasiones se presentan de manera reiterada. De allí, la poca importancia que se ha dado a éstos en lo referente a la investigación. Dentro de los pocos experimentos sobre el tema se encuentra el realizado por Uribe y Salazar (62), quienes evaluaron la respuesta de cafetales a libre exposición solar a la aplicación de manganeso, cobre, zinc y boro, en algunas localidades de la zona cafetera, sin hallar resultados sobre la producción. Hasta el momento solo se han encontrado efectos puntuales al suministro de boro en sitios donde ocurren de manera continua síntomas de su deficiencia, comportamiento que ha sido relacionado con la baja disponibilidad hídrica a finales de los períodos de sequía (65).

Encalamiento. Mediante la realización de esta práctica durante la etapa productiva, al igual que en la fase de establecimiento del cultivo, se buscan corregir los problemas de la acidez del suelo (bajo pH y toxicidad de Al intercambiable), y aumentar la disponibilidad de algunos nutrientes mayores y menores, además de favorecer el establecimiento de los

microorganismos benéficos y mejorar algunas propiedades del suelo.

Como se explicó anteriormente, en general, los materiales encalantes poseen una muy baja solubilidad, la cual sumada a los inconvenientes que existen para su incorporación al suelo luego del establecimiento de las plantas en el campo, por daños a las raíces y riesgo de la erosión, obliga a tener ciertos cuidados en su aplicación.

Las cales se deben esparcir de manera uniforme, tanto sobre el área donde se encuentran las raíces en el momento de su aplicación, como sobre el espacio o parte del espacio en el cual crecerán hasta el siguiente encalamiento, es decir, los próximos dos años. Se resalta que la superficie del suelo debe estar libre

de arvenses y hojarasca al momento del encalamiento, pues así los resultados serán más rápidos y eficientes.

Se sugiere incrementar la cantidad del material encalante a medida que disminuye el pH y el contenido del Ca intercambiable (Tabla 20). Para suelos muy ácidos ($\text{pH} \leq 4,0$) las dosis por hectárea varían entre 1.000 y 1.400 kg, las cuales se deben aplicar cada 2 años en el intermedio de dos fertilizaciones. Para valores de pH entre 4,0 y 4,5 la cantidad de cal va de 800 a 1.200 kg, y para pH de 4,5 a 5,0 entre 600 y 1.000 kg/ha. No es prudente exceder las dosis de la cal por planta en más de 250 g (69), situación que puede ocurrir para densidades medias o bajas.

Cuando los suelos tienen una acidez adecuada para el café (pH entre 5,0

Tabla 20. Recomendaciones para el encalamiento y el suministro de calcio en la etapa de producción de café, con base en la acidez del suelo y el contenido de calcio intercambiable.

pH	Dosis de material encalante (kg/cada 2 años)		
	Ca \leq 1,5	1,5<Ca \leq 3,0	Ca>3,0
	(cmol _c /kg)		
pH \leq 4,0	1.400	1.200	1.000
4,0<pH \leq 4,5	1.200	1.000	800
4,5<pH \leq 5,0	1.000	800	600
5,0<pH \leq 5,5	400	0	0

y 5,5), y niveles de Ca superiores a 1,5 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$, no se recomienda realizar prácticas de encalado. Si el nivel de Ca es inferior al valor mencionado y el pH se encuentra en el rango adecuado, se sugiere suministrar el Ca como nutriente, mediante la adición de dosis bajas de cal (400 kg/ha, cada 2 años). Para este mismo propósito, también pueden emplearse fuentes solubles que no modifican la acidez del suelo, como nitrato de calcio (26% de CaO y 15% de N) y yeso (sulfato de calcio con 20-30% de CaO y 15% de S), según los requerimientos de nitrógeno y de azufre. Las dosis de yeso están alrededor de los 350 kg/ha/año (41), y en el caso de nitrato de calcio, se han obtenido algunos resultados con 400 kg/ha/año de Nitabor (40), producto que además contiene 0,3% de boro. Cuando se presentan deficiencias de Ca en condiciones de

pH superiores al rango adecuado (mayor de 5,5), no es recomendable el empleo de cales.

Se puede seleccionar la fuente de cal dependiendo de los niveles de magnesio y de fósforo en el suelo (Tabla 21). Se sugiere utilizar cal agrícola cuando los niveles de Mg y P son altos ($P > 30 \text{ mg/kg}$ y $\text{Mg} > 0,9 \text{ cmol}_{(+)}/\text{kg}$). Si el Mg es bajo (menor de $0,9 \text{ cmol}_{(+)}/\text{kg}$) se recomienda emplear caliza dolomítica (carbonato de Ca y de Mg), pues en esta etapa son mayores los requerimientos de magnesio frente a los de fósforo. Al aplicar esta fuente se podrán realizar ajustes en la fertilización magnésica, como se explicó anteriormente. En el caso que el contenido de Mg en el suelo sea alto y se presenten niveles bajos de P ($P \leq 10 \text{ mg/kg}$) se podrá aplicar en las mismas dosis una enmienda calcárea con alto contenido de fósforo

soluble (igual o mayor de 10% de P_2O_5), por ejemplo, Escorias Thomas. En tal caso se puede prescindir de las próximas dos aplicaciones de fósforo luego del encalado. Para niveles medios de P en el suelo (entre 10 y 20 mg/kg), será necesario suministrar dosis medias de este nutriente, por lo tanto se sugiere aplicar rocas fosfóricas molidas con concentraciones de fósforo (P_2O_5) soluble menores al 10%, las cuales son más económicas, pero con un mayor efecto residual. Para el rango en referencia tampoco se descarta el empleo de la fuente Escorias Thomas, siempre y cuando su precio al momento de la aplicación lo amerite.

Como se hizo antes de la mención, es posible mezclar los materiales encalantes en diferentes proporciones, de acuerdo con los niveles de los elementos en el suelo y/o su costo; por ejemplo, es posible mezclar

Tabla 21. Criterios para la selección de la fuente del material encalante con base en el análisis del suelo.

Nivel de Mg/P	Fuente a emplear	
	Mg > 0,9 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$	Mg ≤ 0,9 $\text{cmol}_{(+)}/\text{kg}$
P ≤ 10 mg/kg	Rocas fosfóricas aciduladas o Escorias Thomas con 10% o más de fósforo (P_2O_5) asimilable	Caliza dolomítica
10 < P ≤ 20 mg/kg	Rocas fosfóricas con baja concentración de fósforo (P_2O_5) asimilable (menos de 10%)	Caliza dolomítica
20 < P ≤ 30 mg/kg	Cal agrícola	Caliza dolomítica
P > 30 mg/kg	Cal agrícola	Caliza dolomítica

Tabla 22. Cantidad de fósforo aportado por la aplicación de diferentes cantidades y proporciones de la mezcla de cal agrícola o caliza dolomítica con Escorias Thomas.

Cantidad de material encalante	Aporte de fósforo (P_2O_5) por las proporciones de mezcla Cal agrícola:Escorias Thomas (kg/ha)			
	0:1	1:1	2:1	3:1
400	40	20	13	10
600	60	30	20	15
800	80	40	27	20
1.000	100	50	33	25
1.200	120	60	40	30
1.400	140	70	47	35

la cal agrícola o la caliza dolomítica con Escorias Thomas, para proporcionar diferentes cantidades de fósforo (Tabla 22).

Abonos orgánicos. La fertilización con abonos químicos puede sustituirse parcial o totalmente por la fertilización orgánica, sin que se afecte la producción, siempre y cuando se suministren las cantidades adecuadas. Adicionalmente, la aplicación de abonos orgánicos puede tener efectos favorables sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

En este tema revisten importancia las altas dosis requeridas, la disponibilidad del abono, y por lo tanto, los mayores costos en los que se incurre, tanto del producto como los relacionados con su aplicación.

El fertilizante orgánico de mayor disponibilidad en las fincas cafeteras es la pulpa descompuesta, que se recomienda aplicarla en dosis entre 6 y 12 kg/árbol/año, independiente de la densidad de siembra (63). Cuando se utiliza lombrinaza de pulpa de café la dosis es más baja; Arcila y Farfán (2) sugieren 2 ó 3 kg/árbol/año para plantaciones con 10.000 árboles/ha, es decir, entre 20 y 30 t/ha.

Cuando los niveles de MO en el suelo son muy bajos (inferiores al 6%) se recomienda aplicar pulpa descompuesta de café u otros abonos orgánicos para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

En el proceso de la obtención de 100 arrobas de café pergamino seco se generan cerca de 2.700 kg

de pulpa fresca, los cuales llegan a aportar 10,2 kg de N, 1,4 kg de P_2O_5 , 23,8 kg de K_2O , 2,2 kg de CaO, 0,8 kg de MgO y 0,4 kg de SO_4 . Si se expresan estas cifras en términos de fertilizantes comerciales (urea, DAP, KCl, entre otros), serían equivalentes a 70 kg (48).

En la Tabla 23 se incluyen las cantidades de macronutrientes primarios y secundarios que puede aportar la pulpa fresca de café, de acuerdo con la producción. Estas cantidades se tienen en cuenta para definir los planes de fertilización de los cafetales.

Un factor importante al momento de tomar la decisión de aplicar el abono orgánico es su costo, especialmente en lo que se refiere a los requerimientos

Tabla 23. Estimación de macronutrientes primarios y secundarios aportados por la pulpa fresca, de acuerdo a la producción de café pergamino seco.

Nutriente	Kilogramos de nutrientes en la pulpa fresca de acuerdo a la producción			
	100 @	200 @	300 @	400 @
Nitrógeno (N)	10,2	20,4	30,6	40,8
Fósforo (P ₂ O ₅)	1,4	2,8	4,2	5,6
Potasio (K ₂ O)	23,8	47,6	71,4	95,2
Calcio (CaO)	2,2	4,4	6,6	8,8
Magnesio (MgO)	0,8	1,6	2,4	3,2
Azufre (SO ₄)	0,4	0,8	1,2	1,6

por hectárea. En la Tabla 24 se consigna la cantidad total por hectárea, según la densidad de siembra y la cantidad por planta. Por ejemplo, si se quieren aplicar 2 kg de fertilizante orgánico por planta en un

lote con 6.000 plantas/ha, se necesitarían 12 t de abono.

Lo anterior reviste mayor importancia al considerar el precio del insumo (Tabla 25). Para el caso propuesto, el costo de las 12 t puede

variar entre \$ 1,2 y 12 millones/ha, de acuerdo al precio del abono en el mercado (entre \$ 100 y \$ 1.000/kg).

Referente a los costos de la aplicación, en general, se necesitan entre 2 y 3 jornales/ha/semestre para esta labor, cuando de productos de síntesis se trata, mientras que los abonos orgánicos pueden demandar entre 5 y 6 jornales, dependiendo de la cantidad total.

Fertilización foliar. Para las condiciones de Colombia se ha corroborado que las aplicaciones foliares de N, P, K, Mg, B y Fe, conllevan a la absorción de estos nutrientes (7); pese a ello, todavía no se ha demostrado un efecto benéfico de la aplicación

Tabla 24. Requerimientos totales de abono orgánico por hectárea, de acuerdo a la dosis de abono y la densidad de plantas.

Dosis de abono orgánico (kg/planta)	Cantidad de abono orgánico según la densidad de siembra (t/ha)			
	4.000 plantas/ha	6.000 plantas/ha	8.000 plantas/ha	10.000 plantas/ha
0,5	2	3	4	5
1,0	4	6	8	10
1,5	6	9	12	15
2,0	8	12	16	20
2,5	10	15	20	25
3,0	12	18	24	30
3,5	14	21	28	35
4,0	16	24	32	40
4,5	18	27	36	45
5,0	20	30	40	50
5,5	22	33	44	55

Tabla 25. Costo del abono orgánico por hectárea de acuerdo a la cantidad y el precio de éste.

Cantidad de abono orgánico (t/ha)	Costo del abono orgánico/ha (miles de pesos)					
	\$100/kg	\$200/kg	\$300/kg	\$400/kg	\$500/kg	\$1.000/kg
2	200	400	600	800	1.000	2.000
4	400	800	1.200	1.600	2.000	4.000
6	600	1.200	1.800	2.400	3.000	6.000
8	800	1.600	2.400	3.200	4.000	8.000
10	1.000	2.000	3.000	4.000	5.000	10.000
12	1.200	2.400	3.600	4.800	6.000	12.000
14	1.400	2.800	4.200	5.600	7.000	14.000
16	1.600	3.200	4.800	6.400	8.000	16.000
18	1.800	3.600	5.400	7.200	9.000	18.000
20	2.000	4.000	6.000	8.000	10.000	20.000
22	2.200	4.400	6.600	8.800	11.000	22.000
24	2.400	4.800	7.200	9.600	12.000	24.000
26	2.600	5.200	7.800	10.400	13.000	26.000
28	2.800	5.600	8.400	11.200	14.000	28.000
30	3.000	6.000	9.000	12.000	15.000	30.000

de fertilizantes foliares que contengan estos elementos, como complemento de la fertilización edáfica o en reemplazo de ésta, sobre la producción de café en Colombia (25). Por lo anterior, esta práctica no está incluida dentro de las recomendaciones que generan beneficios económicos.

3.8.5 Época de la aplicación

La primera fertilización en la etapa de producción se realiza entre los 18 y 24 meses luego de la siembra en el campo, dependiendo del desarrollo de la plantación. Las

cantidades de los fertilizantes antes mencionadas deben distribuirse en dos aplicaciones semestrales, dos meses antes de la cosecha principal y dos meses antes de la mitaca o “traviesa”, y siempre teniendo en cuenta la iniciación de los períodos lluviosos, pues de lo contrario, se disminuye la efectividad de esta práctica por la baja disponibilidad de los nutrientes para la planta.

En sitios con una distribución de lluvias tipo unimodal, con una sola cosecha en el año (latitud Norte superior a 7° e inferior a 3°), la fertilización se fracciona en dos aplicaciones, al comenzar

las primeras lluvias y 1 ó 2 meses antes de finalizar las últimas (45).

Para localidades con una alta precipitación (mayor de 3.000 mm/año) y suelos de texturas arenosas o franco arenosas, puede justificarse fraccionar en tres aplicaciones la cantidad total de los fertilizantes recomendada según el análisis de suelos. Cuando la cantidad del elemento a suministrar es poca, deben realizarse aplicaciones cada año o cada dos años; por ejemplo, para las dosis más bajas de potasio, fósforo y magnesio, tal como se describió anteriormente.

En cuanto al encalamiento, éste debe hacerse cada dos años, en el intermedio de dos fertilizaciones y contando con suficiente humedad en el suelo.

Con respecto al efecto de la textura y su relación con el fraccionamiento de los nutrientes, es necesario tener presente que en general, las pérdidas de fósforo por lixiviación son muy bajas (menor de 10%), especialmente en suelos derivados de cenizas volcánicas, mientras que las de potasio son elevadas en suelos poco selectivos por este elemento, comportamiento que en muchas ocasiones depende más de la mineralogía del suelo que de su textura (3). El nitrógeno puede perderse tanto por volatilización como por lixiviación; en ambos casos las pérdidas pueden resultar más altas en suelos de textura arenosa, sin dejar a un lado la mineralogía y los contenidos de la materia orgánica.

3.8.6 Sitio de la aplicación

Tanto los fertilizantes como las enmiendas deben aplicarse en el plato del árbol, es decir, el área comprendida entre el tallo y la gotera del árbol. Allí se encuentra la mayor concentración de las raíces absorbentes de la planta,

en los primeros 20 cm de profundidad (58).

3.8.7 Forma de la aplicación

En una investigación desarrollada por Mestre y Salazar (29) se demostró que no se logra beneficio alguno en producción cuando los fertilizantes se aplican en forma de corona, media luna o en banda, en comparación con la aplicación al voleo. Así mismo, se obtienen los mismo efectos si el fertilizante se tapa o no. Por lo tanto, la recomendación actual y la más económica, consiste en aplicar el fertilizante al voleo y sin retirar la hojarasca, siempre y cuando no haya un exceso de ésta sobre el plato, que impida de manera significativa el contacto de los abonos con el suelo.

Al emplear fertilizantes de diferente granulometría debe tenerse en consideración la segregación de la mezcla, debido a las diferencias en la densidad y el tamaño de partículas. Tal es el caso del óxido de magnesio, el cual debido al menor tamaño de sus partículas y la mayor densidad tiende a sedimentarse cuando se mezcla con fertilizantes como la urea, el KCl y el DAP, lo que provoca variaciones en la dosis del elemento entre plantas, conforme transcurre el tiempo de la aplicación. Es

por esto que los fertilizantes de granulometría fina deben aplicarse por separado. Cabe resaltar que, de ser necesario, es posible realizar una mezcla entre productos como el óxido de magnesio y el yeso.

En el caso de la cal, es necesario limpiar el plato antes de su aplicación y esparcir el producto de manera homogénea, debido a la baja solubilidad que presenta y con el propósito de lograr un mayor contacto del producto con el suelo.

Otro factor importante es la compatibilidad de los fertilizantes y las cales. No deben mezclarse los fertilizantes nitrogenados con las cales, debido a las pérdidas importantes de nitrógeno por volatilización o la generación de amoníaco que puede provocar toxicidad en plántulas o semillas. La mezcla de los fertilizantes fosfatados solubles (DAP, MAP y SFT) con cales, también reduce la efectividad de los primeros, debido a la formación de fosfatos insolubles de calcio (21).

3.8.8 Costos

Si las cantidades de los elementos que se aplican son superiores a los requerimientos definidos en el análisis de suelos, se incurre en costos adicionales

que no son compensados en la producción y que pueden generar contaminación del medio ambiente (principalmente suelo y agua). En el caso de que se aplique una dosis menor a la requerida (subdosis), el rendimiento se verá afectado negativamente, disminuyendo los ingresos.

Actualmente, el análisis de suelos para la recomendación de fertilizantes y enmiendas tiene un costo por muestra de \$40.000, que es válida por un período de dos años, lo cual significa que el costo anual del análisis será de \$20.000. Sin embargo, el área de un lote cafetero es variable, desde lotes muy pequeños (menores de 1 ha) hasta lotes grandes (mayores de 10 ha). En este sentido, el costo del análisis por hectárea y por año estará relacionado con el área del lote en café. Tal como se observa en la Figura 12 el costo real de un análisis de suelos, tiende a hacerse menor a medida que el área en café del lote aumenta. Así, mientras para un lote de 0,5 ha el costo es de \$40.000 por año, para otro lote de 5 ha, dicho costo será de \$4.000 y para un lote de 10 ha equivaldría a \$2.000. Estas cifras muestran que en realidad el costo de conocer la fertilidad del suelo, como base para la toma

de decisiones en el manejo de cafetales, es realmente bajo en comparación con los beneficios que de él se pueden obtener (Adaptado de Sadeghian y Duque (44)).

De acuerdo con el costo del análisis y según el área en café del lote, puede estimarse una serie de relaciones Beneficio/Costo, como se describen en la Figura 13. De esta figura

se deduce que la relación Beneficio/Costo para suelos con contenidos de fósforo superiores a 10 mg/kg es siempre mayor que la unidad, lo que indica la viabilidad de llevar a cabo el análisis de suelos. En la medida que el contenido de este elemento se aumenta, la relación será aún más alta, pues para el mismo costo del análisis se obtendrán ahorros de mayor valor.

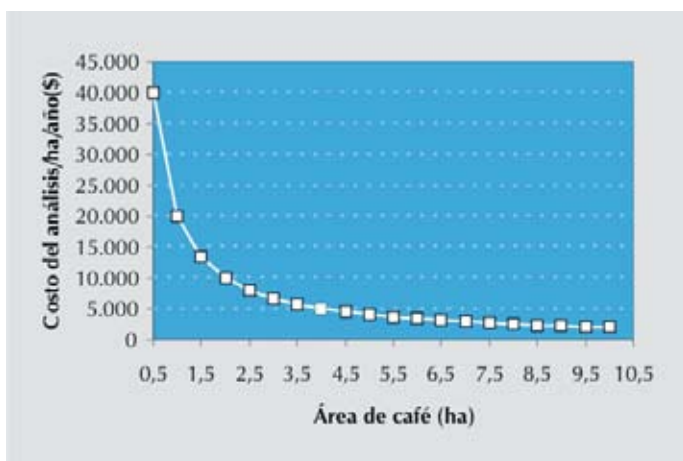


Figura 12. Costo del análisis de suelos en función del área en café del lote.

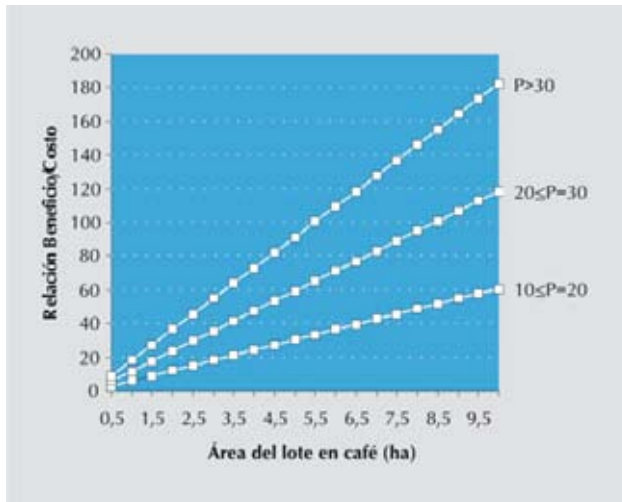


Figura 13. Relación Beneficio/Costo del análisis de suelos para lotes con diferentes áreas en café y tres rangos del contenido de fósforo (P).

4. BIBLIOGRAFÍA

- ARCILA P., J. Crecimiento y desarrollo de la planta de café. In: ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé - FNC, 2007. p. 21-60.
- ARCILA P., J.; FARFÁN V., F. Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en los sistemas de producción de café. In: ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIÉ G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná, Cenicafé - FNC, 2007. p. 201-232.
- ARIAS S., E. Efecto de la textura del suelo sobre las pérdidas por lixiviación de nitrógeno, fósforo y potasio, aplicados en la fertilización. Manizales (Colombia), Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 2008. 96 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- ÁVILA R., W.E.; SADEGHIAN K., S.; SÁNCHEZ A., P.M.; CASTRO F., H.E. Producción de almácigos de café en el departamento de Santander con diferentes fuentes de materia orgánica y de fósforo. Avances Técnicos Cenicafé No. 356:1-12. 2007.
- CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrero de *Inga* spp. Cenicafé 56(2):127-141. 2005.
- CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. Evaluación de propiedades físicas y químicas de suelos establecidos con café bajo sombra y a plena exposición solar. Cenicafé 56(4):348-364. 2005.
- CARDONA R., C. Estudio de absorción foliar de fertilizantes en plántulas de café crecidas en soluciones nutritivas. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Agronomía, 1972. 40 p. (Tesis: Ingeniero Agrónomo).
- CARRILLO P., I.F. Manual de laboratorio de suelos. Chinchiná, Cenicafé, 1985. 111 p.
- CATE JR., R. B.; NELSON, L.A. Simple statistical procedure for

- partitioning soil test correlation data into tow classes. Soil Science Society of America Proceedings 35:658-660. 1971.
10. COLWELL, J.D. Estimating fertilizer requirements. A Quantitative Approach. Wallingford, CAB International, 1994. 262 p.
 11. DÁVILA A., M.T.; RAMÍREZ G., C.A. Lombricultura en pulpa de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 225:1-11. 1996.
 12. DIAZ M., C.; SADEGHIAN K., S. Efecto del enclamiento sobre el crecimiento de las plantas de café en la etapa de almácigo en algunos suelos de la zona cafetera colombiana. In: Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, 13. Bogotá, octubre 4-6, 2006. Memorias. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2006. 7 p.
 13. DORRONSORO, C. Introducción a la edafología. Departamento de edafología y química agrícola Universidad de Granada. Granada, España. On line Internet. Disponible en: <http://www.edafologia.ugr.es/> (Consultado en julio de 2005).
 14. EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. 2. ed. Sunderland, Sinaur Associates, 2004. 400 p.
 15. EVANS, C.E. Soil test calibration. In: BROWN, J.R. (Ed.). Soil testing: sampling, correlation, calibration, and interpretation. Madison, Soil Science Society of America, 1987. p. 23-30.
 16. FARFÁN V., F.; MESTRE M., A. Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. Cenicafé 55(2):161-174. 2004.
 17. FARFÁN V., F.; MESTRE M., A. Fertilización del café en un sistema agroforestal en la zona cafetera norte de Colombia. Cenicafé 55(3):232-245. 2004.
 18. FOTH, H.D.; ELLIS, B.G. Soil fertility. 2. ed. Boca Raton, Lewis Publishers, 1997. 290 p.
 19. GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B. Caracterización del azufre en algunos suelos de la zona cafetera colombiana. Cenicafé 54(3):226-233. 2003.
 20. GRISALES G., A. Suelos de la zona cafetera. Clasificación y uso. Medellín, Fondo Cultural Cafetero, 1977. 142 p.
 21. GUERRERO R., R. Fundamentos técnicos para la fertilización de cultivos. In: SILVA M., F. (Ed.). Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1994. p. 247 – 281.
 22. GUZMÁN G., C.A.; RIAÑO H., N.M. Respuesta de plantas de café en etapa de almácigo a la Fertilización foliar. Avances Técnicos Cenicafé No. 232:1-4. 1996.
 23. 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, Prentice Hall, 1999. 499 p.
 24. MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2. ed. London, Academic Press, 1995. 889 p.
 25. MEJÍA M., J. W. Efecto de cuatro fertilizantes foliares sobre la producción del café. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe anual de actividades Disciplina de Fitotecnia 2005-2006. Chinchiná, Cenicafé, 2006. 3 p.
 26. MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. Principios de nutrición vegetal. 4. ed. Basel, Internacional Potash Institute, 2000. 692 p.
 27. MESTRE M., A. Utilización de la pulpa en almácigos de café. Avances Técnicos Cenicafé No. 28:1-4. 1973.
 28. MESTRE M., A. Respuesta del café bajo sombra a la fertilización. Avances técnicos Cenicafé. No. 231: 1-4. 1996.
 29. MESTRE M., A.; SALAZAR A., J.N. Comparación de cinco formas de aplicación del fertilizantes en café. Cenicafé 40(3):80-85. 1989.
 30. NELSON, L. Estadística en la investigación del uso de fertilizantes. Ottawa, INPOFOS, 1999. 66 p.
 31. OLSON, R. A.; ANDERSON, F.N.; FRANK, K.D. Soil testing interpretation: sufficiency vs. build-up and maintenance. In: BROWN, J.R. (Ed.). Soil testing: sampling, correlation, calibration, and interpretation. Madison, Soil Science Society of America, 1987. p. 41-52.
 32. ORTIZ E., M.E.; ZAPATA H., R.D.; SADEGHIAN K., S.; FRANCO A., H.F. Aluminio intercambiable en uelos con propiedades ándicas y su relación con la toxicidad. Cenicafé 55(2):101-110. 2004.
 33. PATIÑO G., M.A.; SADEGHIAN K., S.; RUIZ H., M. Caracterización de fertilidad del suelo en la zona cafetera del Quindío. In: Congreso Colombiano de la Ciencia del

- Suelo, 13. Bogotá, Octubre 4-6, 2006. Memorias. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2006. 5 p.
34. PATIÑO G., M.A.; SADEGHIAN K., S.; MONTOYA R., E.C. Caracterización de la fertilidad de los suelos de la zona cafetera del Valle del Cauca. Chinchiná, Cenicafé, 2007. 44 p.
35. PAVAN, M.A.; OLIVEIRA, E.L. DE. Manejo da acidez do solo. Londrina, IAPAR, 1997. 87 p.
36. RIAÑO H., N. M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. Acumulación de materia seca y extracción de nutrimentos por *Coffea arabica* L. cv. Colombia en tres localidades de la zona cafetera Central. Cenicafé 55(4):265-276.2004.
37. SADEGHIAN K., S. Determinación de los niveles críticos de los nutrimentos para el cultivo del café en suelos de la zona cafetera. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe anual de actividades Disciplina de Suelos 2002-2003. Chinchiná, Cenicafé, 2003. 30 p.
38. SADEGHIAN K., 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.
39. SADEGHIAN K., S. Determinación de los niveles críticos de los nutrimentos para el cultivo del café en suelos de la zona cafetera. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe anual de actividades Disciplina de Suelos 2003-2004. Chinchiná, Cenicafé, 2004. 17 p.
40. SADEGHIAN K., S. Efecto de la fertilización con calcio en la producción y calidad del café. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe anual de actividades Disciplina de Suelos 2003-2004. Chinchiná, Cenicafé, 2004. 5 p.
41. SADEGHIAN K., S. Disponibilidad del azufre en algunos suelos de la zona cafetera colombiana y su relación con la fertilización. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe anual de actividades Disciplina de Suelos 2003-2004. Chinchiná, Cenicafé, 2004. 7 p.
42. SADEGHIAN, K., S. Efecto de fuentes solubles de magnesio y azufre en la producción y calidad del café. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ – Cenicafé. CHINCHINÁ. COLOMBIA. Informe anual de actividades Disciplina de Suelos 2005-2006. Cenicafé, Chinchiná, Colombia, 2006. 13 p.
43. SADEGHIAN, K., S. Actualización y tendencia en la fertilización de café. In: ACTUALIZACIÓN en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2008. p. 41-57.
44. SADEGHIAN K., S.; DUQUE O., H. Análisis de suelos: importancia e implicaciones económicas en el cultivo del café. Avances Técnicos Cenicafé No.308:1-8. 2003.
45. SADEGHIAN K., S.; GAONA H., S. El suelo: formación, fertilidad y conservación. In: AULA virtual cafetera. Programa de capacitación virtual. Nivel 1: Fundamentos agronómicos. Chinchiná, Cenicafé – FNC - Fundación Manuel Mejía - SENA, 2005.
46. SADEGHIAN K., S.; HERNÁNDEZ G., E.; GONZÁLEZ O., H. Mezcla de fertilizantes en la finca, una buena opción para el caficultor. Avances Técnicos Cenicafé No. 362:1-8. 2007.
47. SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; ARCILA P., J. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. Cenicafé 57(4):251-261. 2006.
48. SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; ARCILA P., J. Composición elemental de los frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha. Avances Técnicos Cenicafé No. 364:1-8. 2007.
49. SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. Crecimiento del café en almácigo con dos fuentes de silicio. In: Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, 13. Bogotá, octubre 4-6, 2006. Memorias. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2006. 6 p.
50. SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. Almácigos de café con distintas proporciones de lombrinaza en suelos con diferente contenido de materia orgánica. Cenicafé 59(2): 2008. (En proceso de publicación).
51. SALAZAR A., J.N. Respuesta de plántulas de café a la fertilización con nitrógeno,

- fósforo y potasio. *Cenicafé* 28(2):61-66. 1977.
52. SALAZAR A., J.N. La pulpa de café transformada por la lombriz es un buen abono para almácigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 178:1-2. 1992.
53. SALAZAR A., J.N. Efecto del tamaño de la bolsa del almácigo sobre la producción de café. *Cenicafé* 47(3):115-120. 1996.
54. SALAZAR A., J.N.; MESTRE M., A. Utilización de la gallinaza como abono en almácigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 148:1-2. 1990.
55. SALAZAR A., J.N.; MESTRE M., A. Uso de la cenichaza como sustrato en almácigos de café. *Cenicafé* 44(1):20-28. 1993.
56. SALAZAR A., J.N.; MONTESINO S., J.T. Uso del estiércol de ganado como sustrato en almácigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé* 207:1-4. 1994.
57. SOIL IMPROVEMENT COMMITTEE CALIFORNIA PLANT HEALTH ASSOCIATION - SICCPHA. Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento. México, Noriega Editores, 2004. 366 p.
58. SUÁREZ DE C., F. Distribución de las raíces del *Coffea arabica* en un suelos franco-limoso. *Boletín Técnico Cenicafé* 1(12):5-28. 1953.
59. SUÁREZ DE C., F.; RODRÍGUEZ G., A. Aplicación de la cal en cafetos jóvenes. *Revista Cafetera de Colombia* 12(129):4294-4301. 1956.
60. URIBE H., A. Efecto del fósforo en la producción de café. *Cenicafé* 34(1):3-15. 1983.
61. 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.
62. URIBE H., A.; SALAZAR A., J.N. Efecto de los elementos menores en la producción de café. *Cenicafé* 32(4):122-142. 1981.
63. URIBE H., A.; SALAZAR A., N. Distancias de siembra y dosis de fertilizante en la producción de café. *Cenicafé* 32(3):88-105. 1981.
64. URIBE H., A.; SALAZAR A., J.N. Influencia de la pulpa del café en la producción del cafeto. *Cenicafé* 34(2):44-58. 1983.
65. VALENCIA A., G. La deficiencia de boro en el cafeto y su control. *Cenicafé* 15(3):115-125. 1964.
66. VALENCIA A., G. Fertilización foliar en almácigos de café. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 49:1-2. 1975.
67. VALENCIA A., G. Nutrición y fertilización del cultivo del cafeto. In: GUERRERO R., R. (Ed.). *Fertilización de cultivos en clima medio*. 2. ed. Barranquilla, Monómeros Colombo Venezolanos, 1995. p. 49-98.
68. VALENCIA A., G. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. *Chinchiná, Cenicafé - Agroinsumos del Café*, 1999. 94 p.
69. VALENCIA A., G.; BRAVO G., E. de J. Influencia del enclamiento en la producción de cafetales establecidos. *Cenicafé* 32(1):3-14. 1981.
- ZAPATA H., R.D. Fundamentos químicos para evaluar la fertilidad del suelo. In: *Diagnóstico químico de la fertilidad del suelo*. Medellín, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Antioquia, 1997. p. 1-11.

5. ABREVIATURAS Y EQUIVALENCIAS

‰: Porcentaje. Equivalente a g/kg
@: Arroba
Al: Aluminio
B: Boro
Ca: Calcio
cc: Centímetro cúbico
CIC: Capacidad de Intercambio Catónico
cmol₍₊₎/kg: centimol carga (positiva) por kilogramo de suelo. Si se trata de un anión se puede expresar como cmol₍₋₎/kg,
Cu: Cobre
g: Gramo
ha: Hectárea
K: Potasio
kg: Kilogramo
meq/100 g: Miliequivalente por 100 g de suelo, equivalente a cmol₍₊₎/kg
mg/kg: Miligramo por kilogramo
Mg: Magnesio
MO: Materia orgánica del suelo
N: Nitrógeno
P: Fósforo
pH: Potencial de iones hidrógeno
ppm: Partes por millón, equivalente a mg/kg
S: Azufre
Zn: Zinc
t: Tonelada

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus mas sinceros agradecimientos a las siguientes personas que contribuyeron con sus valiosos aportes en la revisión de este Boletín Técnico:

Dr. Jaime Arcila Pulgarín, Dra. Gabriela Estrada, Ing. Agrónomo M.Sc. Hernán González O., Ing. Agrónomo Alveiro Salamanca J., Ing. Agrónomo Fernando Farfán V.

