

Nutrición de cafetales

Siavosh Sadeghian Khalajabadi

Como cualquier ser vivo, el café tiene unos requerimientos nutricionales para poder desarrollar su máximo potencial de producción, de acuerdo a la zona en la cual esté ubicado. Para una adecuada nutrición del café es necesario conocer la fertilidad de los suelos mediante un análisis de suelos. Esta herramienta, además de indicar la disponibilidad de cada nutriente, ayuda a identificar factores que limitan el crecimiento de las plantas y su producción, tales como la acidez. Cuando no se dispone de un análisis de suelos, debe racionalizarse el uso de los fertilizantes con base en la información sobre los requerimientos generales del cultivo, según la edad, densidad y porcentaje de sombra.

En este capítulo se realiza una breve reseña sobre los aspectos generales de la nutrición del café y la evaluación de la fertilidad del suelo. Se presentan 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.

Se espera que los criterios consignados sirvan de guía para el Servicio de Extensión y los cafeteros de todo el país, para tomar las mejores decisiones en materia de la nutrición de sus plantaciones.



Cómo Citar:

Sadeghian, S. (2013). Nutrición de cafetales. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 2, pp. 85–116). Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_20

Requerimientos nutricionales de la planta de café

El café, al igual que las demás especies vegetales, requiere algunos elementos que se consideran esenciales para su crecimiento y desarrollo. Tres de ellos, provenientes del agua y de la atmósfera (Carbono-C, hidrógeno-H y oxígeno-O), son llamados constituyentes orgánicos y representan cerca del 95% del peso de la planta, mientras que los demás se encuentran principalmente en el suelo y son clasificados como minerales. Según su demanda, estos últimos se clasifican en macronutrientes (Nitrógeno-N, fósforo-P, potasio-K, calcio-Ca, magnesio-Mg y azufre-S) y micronutrientes (Hierro-Fe, manganeso-Mn, cobre-Cu, cinc-Zn, boro-B, cloro-Cl, molibdeno-Mo y níquel-Ni) (Malavolta, 2006).



Un nutriente es un elemento químico, esencial para el crecimiento de las plantas.

La cantidad de los nutrientes requerida por el café varía según la variedad, el clima, el suelo y el manejo.

Requerimientos en la fase vegetativa de la planta

En la fase vegetativa—aproximadamente hasta 650 días después de la siembra— la planta de café presenta un crecimiento lento y, por lo tanto, extrae del suelo cantidades relativamente bajas de nutrientes, según las condiciones del sitio (Riaño *et al.*, 2004):

N= 8,6 a 12,5 g

P= 0,6 a 2,7 g

K= 7,6 a 25,3 g

Ca= 3,9 a 10,6 g

Mg= 1,2 a 2,1 g

Requerimientos durante la fase reproductiva

Al iniciar la fase reproductiva se incrementa la tasa de crecimiento y la acumulación de nutrientes, hasta los 2.000 días después de la siembra, período en el cual

alcanza los siguientes valores: 547 kg/ha de N, 51 kg/ha de P, 508 kg/ha de K, 234 kg/ha de Ca y entre 59 y 117 kg/ha de Mg (Riaño *et al.*, 2004).

Parte de las cantidades mencionadas está representada en frutos y, por lo tanto, es la que se remueve del lote; el resto retorna al suelo en forma de hojas, ramas, raíces y flores. La concentración de nutrientes en los frutos de café en madurez de cosecha puede presentar ligeras variaciones entre localidades, en promedio, la cantidad de macronutrientes removidos por 1.000 kg de café almendra, equivalentes a 1.250 kg de café pergamino seco -100 arrobas-, representa 30,9 kg de N, 2,3 kg de P, 36,9 kg de K, 4,3 kg de Ca, 2,3 kg de Mg y 1,2 kg de S.

La extracción de los micronutrientes corresponde a 107 g de Fe, 61 g de Mn, 50 g de B, 33 g de Cu y 18 g de Zn (Sadeghian *et al.*, 2006). En la Tablas 1 y 2 se desglosan las anteriores cantidades, de acuerdo a las partes que componen los frutos de café.

La cantidad total de nutrientes acumulada en los frutos de café tiende a ser baja durante los primeros meses después de la floración, pero se incrementa posteriormente.

Durante los primeros 60 días, sólo se acumula cerca de 13% de la cantidad total de N, P y K. A partir de los 60 y hasta los 180 días, se acumula el 62%, y finalmente, el 25% restante, se acumula en los últimos dos meses previos a la cosecha (Figura 1).

En las plantaciones de café simultáneamente tienen lugar crecimientos vegetativos y reproductivos, como resultado de estímulos ambientales, particularmente períodos de lluvia y sequía (Figura 2). La presencia de nudos, hojas, estructuras de floración y frutos en un variado estado de desarrollo, conduce a que exista una permanente competencia por los nutrientes entre los diferentes órganos; de allí que un adecuado plan de nutrición deba enfocarse en satisfacer la demanda de nutrientes de la cosecha actual, como la que se necesita para garantizar la formación de órganos vegetativos que soportarán los siguientes ciclos de producción.

Una fracción considerable de los nutrientes acumulados en el fruto proviene de las reservas contenidas en las hojas más próximas a los frutos, sin descartar los aportes del suelo y de la re-movilización de los nutrientes desde otras partes de la planta (Valarini *et al.*, 2005). La caída de las hojas durante el proceso de la maduración de la cosecha, se debe principalmente a la gran movilización de los nutrientes hacia los frutos, fenómeno que reduce su concentración en el tejido foliar. Por esta razón, en muchas ocasiones, durante los años de alta producción ocurre una mayor caída de las hojas, disminuyendo así la cosecha en el siguiente ciclo (Chaves y Sarruge, 1984).

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	0,00	0,00	

Tabla 1.

Cantidad de macronutrientes extraídos (kg) por las partes que componen el fruto de café, equivalentes a 1.000 kg de café almendra. Tomado de Sadeghian et al. (2006)

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

Tabla 2.

Cantidades totales de micronutrientes extraídos (g) por las partes que componen el fruto de café, equivalentes a 1.000 kg de café almendra. Tomado de Sadeghian et al. (2006).

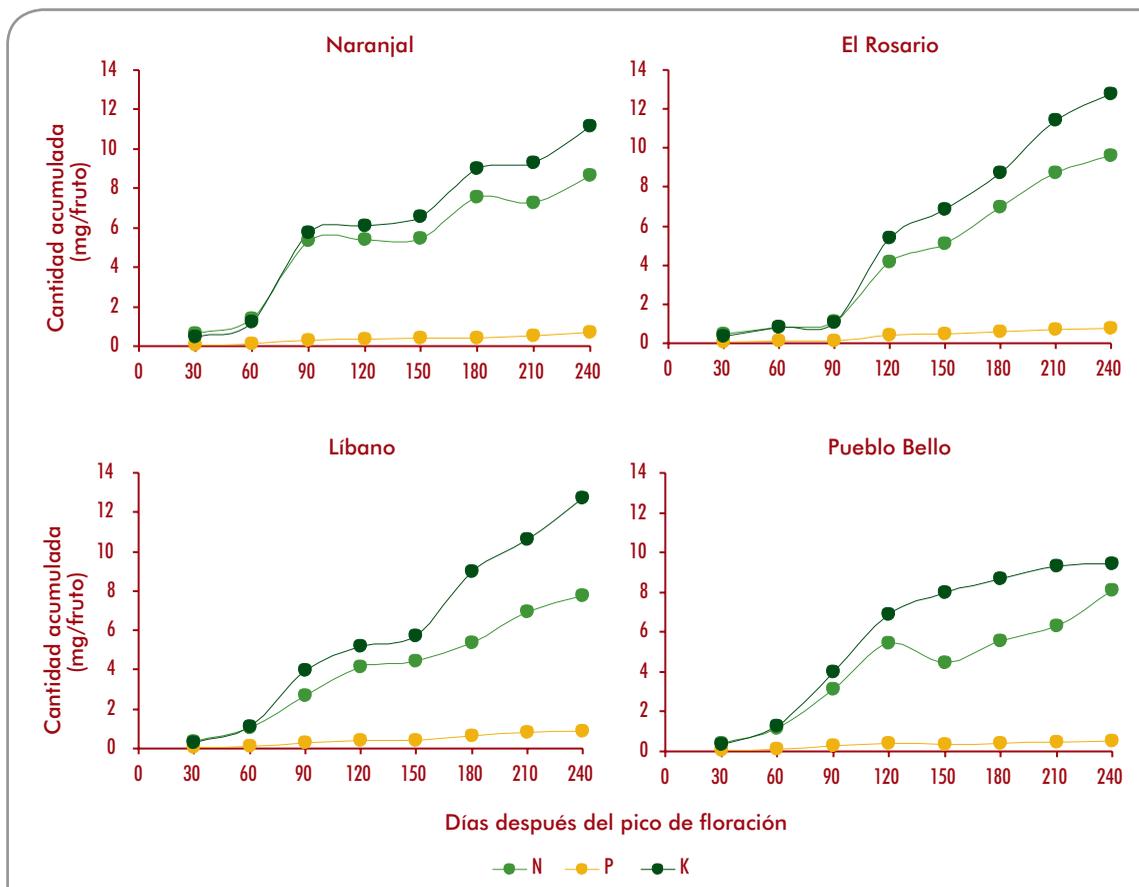


Figura 1.

Cantidad acumulada de N, P y K en los frutos de café en función de tiempo transcurrido después del día pico de la floración, en cuatro Estaciones Experimentales de Cenicafé (Naranjal en Caldas, El Rosario en Antioquia, Líbano en Tolima y Pueblo Bello en César). Tomado de Sadeghian et al. (2013).



Figura 2.

Rama de café con frutos próximos a la cosecha, flores y nuevas estructuras vegetativas (nudos).

La fertilización en cafetales

El crecimiento y el desarrollo de los cafetales y, por ende, su producción y rentabilidad, dependen en buena medida de una adecuada nutrición, la cual se logra cuando la planta dispone de cantidades suficientes y balanceadas de todos los nutrientes requeridos. Adicionalmente, los cultivos correctamente alimentados ofrecen una mejor calidad del grano y son más resistentes a plagas, enfermedades, sequías y otras condiciones adversas.

En muchas ocasiones, las reservas de nutrientes contenidas en el suelo no son suficientes para alcanzar el anterior propósito de manera sostenible; de allí, la importancia de llevar a cabo acciones que permitan incrementar y mantener la fertilidad del suelo, y así satisfacer las necesidades del cultivo. Como ejemplo, podemos considerar el efecto del suministro de nitrógeno, fósforo y potasio en la producción de café, durante tres años, para cuatro localidades (Figura 3). Es posible que la respuesta a la aplicación de los nutrientes no sea alta en la primera cosecha, pero se incrementa con el paso del tiempo, debido a los mayores requerimientos de las plantas y el agotamiento de las reservas en el suelo. En promedio, **la producción de café puede disminuir en más de 40% cuando no se realiza la labor de la fertilización**, para proporcionar los elementos requeridos (Sadeghian, 2010a).

Análisis de suelo

A medida que los caficultores ignoran la fertilidad del suelo y definen planes generales para la nutrición de sus

Consideraciones prácticas

Hoy en día, cuando los caficultores 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 abonos. 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 de nutrientes y estimular su ciclaje (Sadeghian, 2008b).

cultivos, aumentan los riesgos económicos y ambientales, pues estarían aplicando fertilizantes y enmiendas cuya respuesta es incierta; por lo tanto, se hace necesario conocer el estado de la fertilidad del suelo, con el fin de adoptar las mejores alternativas.

Existen diferentes herramientas para evaluar la fertilidad del suelo, siendo el análisis químico el más estudiado y divulgado; mediante éste se diagnostica la disponibilidad de los nutrientes y otras propiedades del suelo que afectan el crecimiento de las plantas.

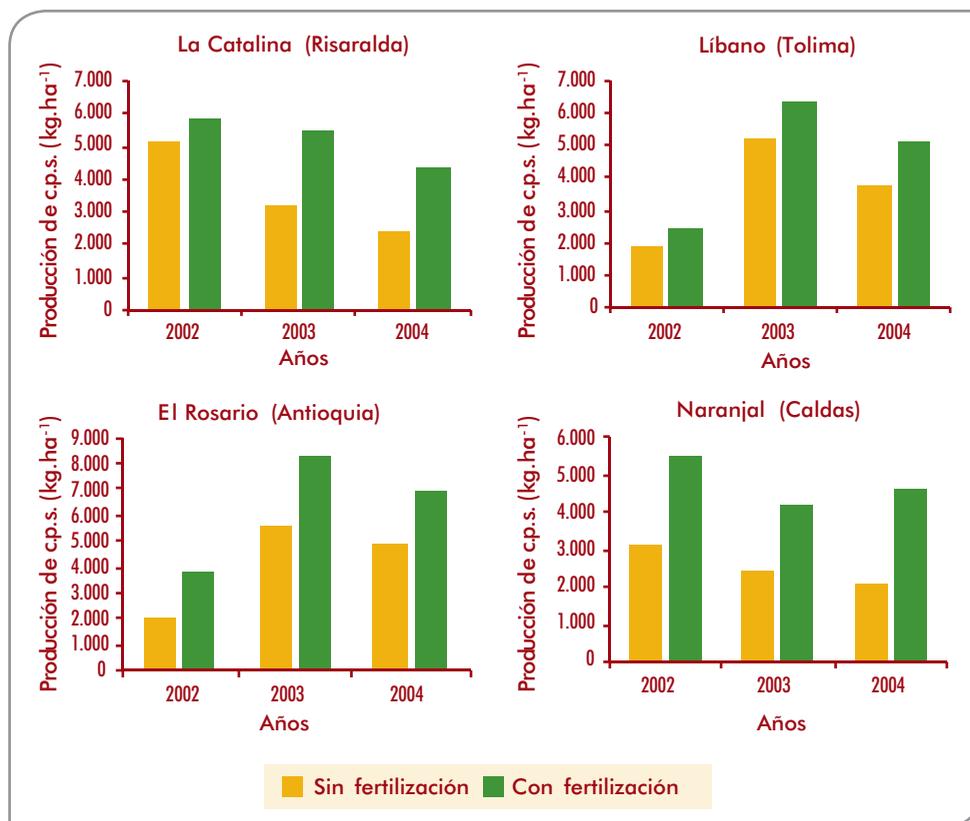


Figura 3.

Producción de café pergamino seco (c.p.s.) en respuesta al suministro de nitrógeno, fósforo y potasio, en cuatro localidades de la zona cafetera de Colombia. Tomado de Sadeghian (2010a).

En Colombia, el costo de los fertilizantes para el cultivo de café hoy día representa entre el 10% y 15% de los costos totales de la producción, y entre el 80% y 90% de los insumos requeridos. Estas cifras parecen no tener mucha importancia como valor porcentual, sin embargo, su magnitud toma otra proporción al conocer que la cantidad que ella representa equivale a más de 250.000 toneladas de abono por año, con un costo que actualmente se aproxima a los 350 mil millones de pesos (200 millones de dólares).

Toma de la muestra para el análisis de suelos

Dado que las propiedades del suelo que determinan su fertilidad presentan una alta variabilidad, aun en cortas distancias, se deben tener ciertos cuidados para que la muestra que se entrega al laboratorio represente la fertilidad del lote. Para ello, se recomienda tener en cuenta los pasos relacionados con la toma de muestras de suelo en el lote (Ver Anexo 10 Procedimiento para la toma de muestras de suelo. Tomo 3).

Consideraciones prácticas

La posibilidad de conocer la fertilidad del suelo mediante un análisis de laboratorio puede aliviar estos costos y reducir el impacto ambiental. En ocasiones, esta herramienta no conlleva a la disminución de costos, pero sugiere la realización de prácticas que son necesarias para una alta producción, según las condiciones locales.

Interpretación de los resultados

Luego de tener los resultados de laboratorio, se debe interpretar la información obtenida a la luz de las investigaciones desarrolladas sobre cada una de las propiedades. Una manera para lograr este propósito es mediante tablas que clasifican las características analizadas en categorías como bajo, medio y alto (Tabla 3). En algunas oportunidades será posible incluir los calificativos muy bajo y muy alto.

Cuando el nivel de un nutriente en el suelo es bajo o muy bajo, es recomendable que su aplicación se realice empleando dosis relativamente altas, con el fin de elevar

Propiedad del suelo	Bajo	Medio	Alto
pH	< 5,0	5,5 – 5,5	> 5,5
Materia orgánica, %	< 8,0	8,0 – 16,0	> 16
Nitrógeno, %	< 0,34	0,34 – 0,58	> 0,58
Fósforo, mg.kg ⁻¹	< 10	10,0 – 20,0	> 20,0
Potasio, cmol _c .kg ⁻¹	< 0,2	0,2 – 0,4	> 0,4
Calcio, cmol _c .kg ⁻¹	< 1,5	1,5 – 3,0	> 3,0
Magnesio, cmol _c .kg ⁻¹	< 0,6	0,6 – 0,9	> 0,9
Azufre, mg.kg ⁻¹	< 6,0	6,0 – 12,0	> 12,0
Aluminio, cmol _c .kg ⁻¹	< 1,0		> 1,0
CICE, cmol _c .kg ⁻¹	< 3,0	3,0 – 6,0	> 6,0

Tabla 3.

Clasificación de las propiedades químicas del suelo para café, en la etapa de producción. Adaptado de Sadeghian (2008a).

Los métodos empleados para los rangos establecidos corresponden a:

- pH: Potenciométrico en relación suelo:agua 1:1 (p/p)
- Materia orgánica: Walkley Black y determinación por colorimetría a 485 nm
- Nitrógeno total: Kjeldahl
- Fósforo: Extracción con Bray II y determinación por Bray – Kurtz colorimétrica a 660 nm
- Potasio, calcio y magnesio: Extracción con NH₄OAc 1N a pH=7,0 y determinación por Espectrofotómetro de absorción atómica-EAA.
- Azufre: Extracción con fosfato de calcio monohidratado 0,008 M y determinación turbidimétrica a 420 nm
- Aluminio: Extracción con KCl 1N y determinación por EAA
- CICE: Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva, determinado por la suma de cationes intercambiables (calcio, magnesio, potasio y aluminio)

la fertilidad del suelo y atender las necesidades del cultivo, de acuerdo a las condiciones predominantes. Si el contenido del elemento es medio, se sugiere aplicar la cantidad requerida para cubrir principalmente las necesidades de la plantación y aumentar parcialmente su contenido en el suelo. Dado el caso que la fertilidad fuese alta o muy alta, será necesario aplicar menores dosis para mantener los niveles del nutriente en el suelo y reponer las pérdidas causadas por erosión y lixiviación (Lavado), y así evitar el agotamiento del mismo, a través del tiempo.

En el caso del pH, el rango entre 5,0 y 5,5 se considera adecuado para el crecimiento de café, en tanto que valores más altos o más bajos son clasificados como limitantes, bien sea por problemas de acidez (pH menor a 5,0) o de alcalinidad (pH mayor a 5,5). A medida en que los contenidos de aluminio intercambiable superan 1 cmol_c.kg⁻¹, se eleva la probabilidad de ocurrir una mayor toxicidad por este elemento. En contraste, al incrementar los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre, también aumenta su disponibilidad para las plantas. Es pertinente recordar que en el suelo se pueden presentar antagonismos entre los nutrientes; siendo quizá el ejemplo más común, la competencia de potasio por magnesio, pues a medida en que se incrementa la cantidad del primero, disminuye la absorción del segundo.

Manejo de la nutrición en la etapa de crecimiento vegetativo (Levante)



Las labores que se realicen durante el establecimiento de los cafetales se verán reflejadas en el desarrollo del cultivo y, por lo tanto, en la producción de los siguientes ciclos de renovación, los cuales tendrán una duración de 20 años o más. La adecuación física y química del suelo debe comenzarse al momento de la siembra o antes, según la información disponible acerca de las propiedades del suelo. En ocasiones, será necesaria la

aplicación de enmiendas orgánicas e inorgánicas para corregir los problemas de la acidez y acondicionar el suelo (Sadeghian, 2008a).

Durante esta fase del cultivo, el nitrógeno-N es el elemento de mayor requerimiento, por lo que se sugiere incluirlo en todas las aplicaciones. Cuando éste se elimina por completo de los programas de abonamiento, la reducción en la producción de la primera cosecha puede alcanzar el 40% (Sadeghian, 2010a). El fertilizante químico de uso más común es la urea, sin descartar la posibilidad de emplear otros, como el nitrato de amonio o fuentes que además de N contengan otros nutrientes.

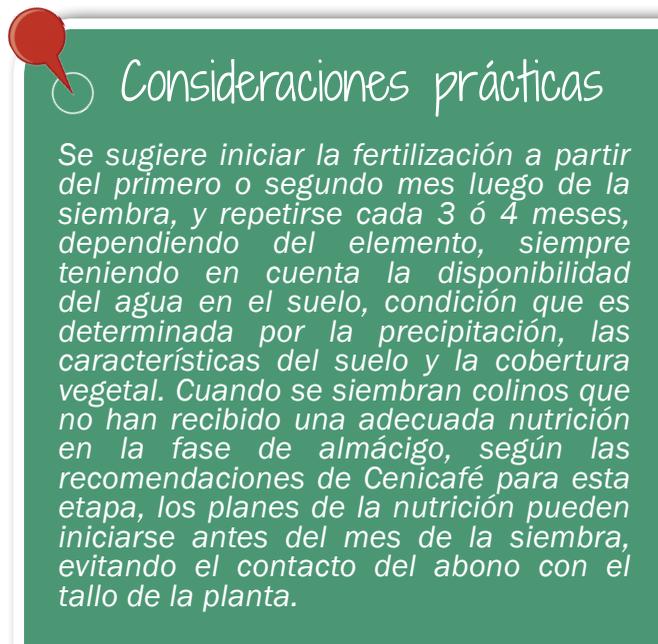
En los primeros meses después de la siembra la disponibilidad de fósforo-P para la planta es relativamente baja, debido a que las raíces todavía no tienen suficiente desarrollo para tomar un nutriente con muy baja movilidad como el P. Lo anterior obliga al suministro de cantidades relativamente altas de fertilizantes, tales como fosfato diamónico-DAP, fosfato monoamónico-MAP y 10-30-10.

El requerimiento de potasio-K aumenta luego de las primeras floraciones con el cuajamiento de los frutos. Cuando se emplea suficiente abono orgánico rico en potasio, para la obtención de almácigos, por ejemplo pulpa de café, mezclado con el suelo en una relación 1 a 2 ó 1 a 3, pueden cubrir las necesidades de este elemento durante un año o más. En contraste, un sustrato pobre en abono orgánico, sumado al uso de bolsas pequeñas en el almácigo, puede obligar a iniciar las fertilizaciones potásicas tempranamente, posiblemente en el primer semestre después de la siembra. El fertilizante de síntesis de mayor uso es cloruro de potasio-KCl, pero también se pueden emplear otros como el sulfato de potasio o los abonos compuestos.

Las necesidades de magnesio durante los dos primeros años no son altas. En suelos ácidos para café, es decir, aquellos que presentan un pH menor a 5,0 y aluminio mayor a 1,0, con el empleo de correctivos ricos en magnesio -por ejemplo caliza dolomítica- se cubre la demanda de magnesio al menos durante un año. Otras fuentes son el óxido de magnesio, el sulfato de magnesio o kieserita, el nitrato de magnesio y el carbonato de magnesio.

Pocas veces se detectan deficiencias de elementos menores en la zona cafetera de Colombia durante la etapa de crecimiento vegetativo, especialmente en suelos relativamente ricos en materia orgánica (Mayor a 8%). Debido a ello, por lo general, se recomienda aplicarlos de manera correctiva, empleando dosis muy bajas, siempre y cuando se tenga la certeza de que

se trata de una deficiencia como tal, pues en muchas ocasiones la presencia de patógenos, malformaciones de raíces, toxicidad por herbicidas, entre otros disturbios fisiológicos, pueden ocasionar una sintomatología similar.



Consideraciones prácticas

Se sugiere iniciar la fertilización a partir del primero o segundo mes luego de la siembra, y repetirse cada 3 ó 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. Cuando se siembran colinos que no han recibido una adecuada nutrición en la fase de almácigo, según las recomendaciones de Cenicafe para esta etapa, los planes de la nutrición pueden iniciarse antes del mes de la siembra, evitando el contacto del abono con el tallo de la planta.

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 (Sadeghian y Gaona, 2005).

Empleo de abonos orgánicos en etapa de levante

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 (Sadeghian et al., 2007).

Para plantaciones a libre exposición solar, se ha demostrado que con la aplicación de 2 kg/planta/año de lombrinaza (Figura 4) se pueden obtener producciones comparables al uso de fertilizantes de síntesis química (Arcila y Farfán, 2007).

Otros abonos orgánicos de importancia, según las actividades agropecuarias que se desarrollan en cada región y finca, son: Gallinaza, pollinaza, porquinaza, bovinaza y cenichaza, entre otros (Tabla 4). Una consideración importante en el uso de abonos orgánicos es el volumen total requerido; por ejemplo, si sólo se quiere realizar dos aplicaciones durante el año de 0,5 kg/planta en cultivos con densidades medias (5.000 plantas/ha) se debe disponer de 5,0 t.ha-año⁻¹.

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



Figura 4.

Descomposición de la pulpa en el lombricultivo.

con bajos niveles de materia orgánica (Uribe y Salazar, 1983). Esta cantidad, la cual coincide aproximadamente con una relación de suelo:pulpa de 3:1, para un hoyo de 30 x 30 x 30 cm, puede resultar costosa cuando no se 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.

Consideraciones prácticas

Algunas alternativas para racionalizar el empleo de los abonos orgánicos en el establecimiento del cafetal consisten en:

1. Dirigir la atención a los sectores más críticos, por ejemplo los "filos" y otros sitios donde ha ocurrido una mayor erosión.
2. Utilizar árboles como alternativa de sombrío, 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 (Cardona y Sadeghian, 2005).
3. 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.
4. Realizar prácticas de conservación tendientes a reducir la erosión.

Referencia	pH	N	P	K	Ca	Mg	Cenizas	Humedad
	(%)							
Pulpa descompuesta	5,9	2,99	0,19	2,52	1,74	0,40	19	58
Lombrinaza	6,6	2,62	0,41	2,08	1,81	0,40	43	61
Gallinaza	8,4	1,49	1,81	2,21	12,28	0,88	45	18
Pollinaza	8,7	2,07	2,20	3,03	5,80	0,91	37	39
Bovinaza	8,0	1,53	0,69	1,96	1,93	0,81	53	39
Porquinaza	SD	2,21	1,65	1,15	5,40	1,00	30	Sin dato
Bocashi	7,9	1,31	1,04	0,97	4,02	0,79	64	41

Tabla 4.

Propiedades de algunos abonos orgánicos. Tomado de Sadeghian et al. (2010b).

Plan de nutrición a partir de fertilizantes de síntesis química

Una de las mejores alternativas para definir los planes de manejo de la nutrición de café es mediante el análisis de suelo. En la Tabla 5 se resumen las recomendaciones para esta fase del cultivo, de acuerdo a lo sugerido por Sadeghian (2008a).

Dadas las altas exigencias de nitrógeno, se recomienda incluirlo en todas las aplicaciones. La principal fuente de éste en el suelo es la materia orgánica (MO); de allí que existe una alta relación entre esta propiedad y la producción de café (Sadeghian, 2010a). Con base en lo anterior se sugiere ajustar las dosis de N según el contenido de la MO (Tabla 5). Para esta etapa sólo se establecen dos categorías de fertilidad: i) Suelos con contenidos bajos a medios ($MO \leq 8\%$), y ii) Suelos con contenidos medios a altos ($MO > 8\%$).

Cuando los contenidos de fósforo en el suelo se encuentren por debajo de su nivel crítico (30 mg.kg^{-1}), se recomienda aplicarlo a los 2, 10 y 18 meses después del transplante en el campo (Tabla 5). Para contenidos de fósforo por encima de 30 mg.kg^{-1} no se espera respuesta a la aplicación de fertilizantes fosfóricos. La razón por la que no se fracciona más el fósforo, tiene su origen en la alta residualidad cuando se aplica localizadamente.

Si los contenidos de potasio en el suelo se encuentran por debajo de $0,20 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, se debe incluir en los

planes de fertilización a los 10 y 18 meses (Tabla 5). Para niveles entre $0,20$ y $0,40 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, el plan de manejo se podrá iniciar a los 18 meses, siempre y cuando no aparezcan síntomas de deficiencia.

Para situaciones en las que el nivel de magnesio en el suelo sea bajo, pero no exista la necesidad de corregir la acidez del suelo mediante caliza dolomítica, se deberá recurrir al uso de fertilizantes que lo contengan. Se podrán aplicar dosis equivalentes a 2 y 3 g/planta de magnesio (MgO), a los 10 y 18 meses después de la siembra, respectivamente, si el nivel del elemento en el suelo es inferior a $0,9 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$.



Si no se cuenta con los resultados del análisis de suelo, y por lo tanto, no es posible saber qué tan disponibles se encuentran los nutrientes, los planes de fertilización deben incluir las dosis más altas de cada elemento, con el fin de garantizar los requerimientos que demanda el cultivo (Sadeghian y González, 2012). Este procedimiento conlleva a incrementar los riesgos económicos y ambientales.

Resultado de análisis de suelo	Meses después de la siembra				
	2	6	10	14	18
Materia orgánica-MO (%)	Nitrógeno - N (g/planta)				
MO ≤ 8	7	9	12	14	16
MO > 8	5	7	9	12	14
Fósforo-P (mg.kg^{-1})	Fósforo - P_2O_5 (g/planta)				
P ≤ 30	4		5		6
Potasio-K ($\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$)	Potasio - K_2O (g/planta)				
K ≤ 0,2	0	0	5	0	10
$0,2 < K \leq 0,4$	0	0	0	0	10
Magnesio-Mg ($\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$)	Magnesio - MgO (g/planta)				
Mg ≤ 0,3	0	0	2	0	3
$0,3 < \text{Mg} \leq 0,9$	0	0	0	0	3

Tabla 5.

Dosis recomendadas de nutrientes para cafetales en la etapa de crecimiento vegetativo, de acuerdo a los resultados de análisis de suelo.

Adaptado de Sadeghian (2008). Notas: Para contenidos de P, K y Mg mayores a 30 mg.kg^{-1} , $0,40 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ y $0,9 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$, respectivamente, se sugiere no suministrar el nutriente. %=porcentaje, $\text{cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ =centimol carga por kilogramo (es equivalente a meq/100 g), mg.kg^{-1} =miligramo por kilogramo (equivalente a partes por millón)

Recomendaciones sin análisis de suelos	Plan general de fertilización
<p>Opción 1: Urea: DAP:KCl y óxido de Mg, puede seguir el siguiente plan general:</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1 a 2 meses después de la siembra: 20 g/planta de una mezcla urea:DAP en proporción 3:2 ▪ 6 meses después de la siembra: 20 g/planta de urea ▪ 10 meses después de la siembra: 40 g/planta de una mezcla urea:DAP:KCl en proporción 3:1,5:1. Aplicar separadamente 2 g/planta de óxido de magnesio ▪ 14 meses después de la siembra: 30 g/planta de urea ▪ 18 meses después de la siembra: 60 g/planta de la mezcla urea:DAP:KCl en proporción 3:1:1,5. Aplicar separadamente 3 g/planta de óxido de magnesio
<p>Opción 2: Utilizar otra fuente de magnesio, que permita una mezcla con los demás abonos, se podrá hacer uso de kieserita (Sulfato de magnesio) y nitrato de magnesio. En el caso del primero las proporciones de mezcla y las dosis son las siguientes:</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 10 meses después de la siembra: 50g/planta g de una mezcla urea:DAP:KCl:Kieserita en proporción 3:1,5:1:1, que también equivale a la siguiente relación de valores enteros: 6:3:2:2 ▪ 18 meses después de la siembra: 70 g/planta de una mezcla urea:DAP:KCl:Kieserita en proporción 2,5:1:1,5:1, equivalente a la relación 5:2:3:2, expresada en valores enteros
<p>Opción 3: Si se quiere utilizar Nitromag (Nitrato de magnesio) como fuente de magnesio y nitrógeno, las proporciones de mezcla y las dosis son:</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 10 meses después de la siembra: 55 g/planta de una mezcla urea:DAP:KCl:Nitromag en proporción 1:1,5:1:3, relación que en valores enteros es igual a 2:3:2:6 ▪ 18 meses después de la siembra: 80 g/planta de una mezcla urea:DAP:KCl:Nitromag en proporción 1:1:1,5:3,5, relación que en términos de valores enteros equivale a: 2:2:3:7

En cuanto a la forma de aplicación, en las primeras dos o tres oportunidades, los fertilizantes se ubican 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, cuando el tallo es más leñoso), será posible aplicar los fertilizantes al voleo en el plato del árbol.

Nutrición de los cafetales renovados por zoca

Para los cafetales renovados por zoca se sugiere iniciar la fertilización luego de 3 meses de haber realizado el corte y después de la selección de chupones. En algunos sitios del país se puede llevar a cabo esta labor después de los 6 meses, sin que se afecte la producción de la primera cosecha (Salazar y Sadeghian, 2010).

En el primer año, es decir, la etapa correspondiente al crecimiento vegetativo, las plantas presentan un crecimiento mayor que las nuevas siembras; debido a

ello, sus requerimientos nutricionales son más altos. De acuerdo con Valencia (1999), los criterios para la fertilización durante este período son semejantes a los de los cafetales renovados por siembra en el segundo año de establecimiento, meses 14 y 18, de la Tabla 5. A partir del segundo año, los criterios para la fertilización son similares a los cafetales en la etapa de producción.

Manejo de la nutrición en la etapa de producción

Durante esta etapa, el nitrógeno se considera el nutriente más limitante de la producción, pues cuando se excluye de los planes de fertilización, el rendimiento se puede reducir hasta en 80% (Sadeghian, 2011). La materia orgánica del suelo al mineralizarse (Descomponerse) proporciona cantidades considerables de este elemento; sin embargo, por lo general, no alcanza a cubrir por completo la demanda del cultivo, razón por la cual es necesario proporcionarlo frecuentemente durante el año.



- *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 (Sadeghian, 2009). En suelos muy deficientes (Menor a $0,2 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$) se pueden presentar reducciones de la producción cercanas al 30%.*
- *La respuesta al suministro de fósforo ha sido ocasional y de baja magnitud (Uribe, 1983); sólo se ha encontrado una reducción significativa en el rendimiento, cuando los niveles de éste en el suelo son bajos (Menor a $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) (Sadeghian, 2009).*
- *Es común observar deficiencias de magnesio en las hojas de las ramas productivas a medida que avanza el desarrollo de los frutos, pese a ello las cantidades requeridas de este elemento no son muy altas (Sadeghian et al., 2006).*
- *Rara vez se detectan síntomas de la deficiencia de azufre en las diferentes regiones cafeteras del país, y en cuanto a la respuesta a la fertilización se refiere, las cantidades requeridas se asemejan a las del fósforo y magnesio (Sadeghian y González, 2012).*

Dada la poca ocurrencia de hallar deficiencias de elementos menores en la mayoría de las regiones cafeteras del país, actualmente no se sugiere incluirlos en los planes de fertilización. Cuando la sintomatología de su carencia se presenta sólo de manera eventual, basta con aplicaciones puntuales, en tanto que para sitios donde las manifestaciones son permanentes, pueden incluirse de manera regular. Algunas formulaciones comerciales contienen entre 0,1% y 0,2% de boro y cinc, a través de los cuales se llegan a proporcionar cerca de $2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de cada uno de estos elementos. De acuerdo a las experiencias obtenidas en otros países productores del grano estas cantidades serían suficientes.

Planes de nutrición

Los planes de la nutrición de los cafetales pueden definirse según la información disponible. La mejor alternativa la constituyen los planes específicos de manejo, determinados con base en el análisis de suelos, y ajustados según las características de la plantación, la cantidad y distribución de la lluvia y el precio de los fertilizantes, entre otros. En algunas oportunidades los registros históricos de suelo a escala regional, pueden servir de ayuda para establecer opciones de manejo para zonas homogéneas. En contraste, cuando no se disponen de indicadores que permitan conocer la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, se debe recurrir a planes generales de manejo. Como es de esperarse, a medida en que se utiliza una mayor información para la toma

de decisiones, se reduce el riesgo de cometer una equivocación en las recomendaciones.

Ajuste por densidad de siembra y sombrío

La producción de los cafetales depende de la densidad de plantas y el nivel de sombra, de allí la importancia de tener en cuenta estos factores con el fin de ajustar los planes de la nutrición. Para cafetales con altas densidades de siembra (Mayor de 7.500 plantas o ejes por hectárea) y un nivel de sombra muy bajo (Menor de 35%), se sugiere suministrar las máximas dosis de los nutrientes, las cuales se toman como **criterio base**. En plantaciones con densidades entre 5.000 y 7.500 plantas/ha se podrá aplicar el 85% o el 95% del criterio base, según el nivel de sombra (Factor de ajuste 0,85 ó 0,95 respectivamente); de igual manera, cuando el número de plantas por hectárea es menor a 5.000, los ajustes incluyen desde dejar de aplicar el elemento en cafetales altamente sombreados, hasta el 85% del criterio base para cultivos con sombrío muy bajo (Menor de 35%). Cuando el nivel de sombra es muy alto (Mayor a 55%), la producción tiende a ser muy baja y no se presenta respuesta a la fertilización.

En la Tabla 6 se presentan los factores por los cuales se deben multiplicar los requerimientos nutricionales para lograr los ajustes por nivel de sombra y densidad.

Nivel de sombra	Densidad (Plantas o ejes/ha)		
	Mayor de 7.500	Entre 5.000 y 7.500	Menor de 5.000
Inferior a 35% (Muy bajo)	1,00*	0,95	0,85
Entre 35% y 45% (Bajo)		0,85	0,75
Entre 45% y 55% (Medio)			0,50
Mayor de 55% (Alto)			0

Tabla 6.

Factores para ajustar los requerimientos nutricionales de acuerdo al nivel de sombra y la densidad. *Criterio base. Tomado de Sadeghian (2008a).

Recomendaciones para la fertilización con base en el análisis de suelo

- Los **análisis de suelo deben conducir principalmente 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.
- De acuerdo a los resultados de dichos análisis, y teniendo en cuenta los ajustes sugeridos para nivel de sombra y densidad de plantas, se recomienda aplicar entre 120 y 300 kg.ha-año⁻¹ de nitrógeno, de 0 a 300 kg.ha-año⁻¹ de potasio, entre 0 y 60 kg.ha-año⁻¹ de magnesio y de fósforo, y hasta 50 kg.ha-año⁻¹ de azufre (Tabla 7).
- Una vez seleccionados los fertilizantes para cubrir la demanda de los nutrientes, definida por el análisis de suelos, será necesario establecer con anterioridad cómo repartirlos durante el año. Para ello, se deben tener en cuenta aspectos como la cantidad y distribución de la lluvia, la disponibilidad y el costo de la mano de obra para realizar la aplicación, las épocas fenológicas del cultivo, la cantidad y el tipo del fertilizante, entre otros.
- Dado que las raíces de las plantas toman los nutrientes únicamente desde la solución del suelo (Fase líquida), la cantidad de lluvia debe ser lo suficientemente abundante para disolver los fertilizantes y mantener en esta fase, la cantidad necesaria de los elementos requeridos. Ante condiciones predominantemente secas –regiones con baja lluvia o años “El Niño”–, es preferible distribuir los abonos en dos oportunidades –aproximadamente cada 6 meses–, para las cuales existe una mayor probabilidad de llover. En los sitios donde normalmente ocurre una alta precipitación o ante condiciones de años “La Niña” en lugares relativamente lluviosos, se puede pensar en tres aplicaciones –más o menos cada 4 meses– con el fin de reducir los riesgos de la pérdida de nutrientes por lixiviación (Lavado o precolación). En las regiones que se caracterizan por una distribución bimodal de las lluvias, las aplicaciones se pueden llevar a cabo al iniciar los períodos de mayor humedad, mientras que en aquellas zonas, caracterizadas por ser unimodales, la primera labor debe realizarse con la entrada de las aguas y la segunda, uno o dos meses antes que finalice.
- Cuando la cantidad del fertilizante es relativamente poca, como ocurre normalmente con el óxido de magnesio o el DAP, se recomienda que la totalidad del abono se suministre en una sola dosis al año. En el caso de nitrógeno, y en la mayoría de las veces el potasio, se puede pensar en dos o tres fraccionamientos al año. Con respecto a los microminerales, por ejemplo el boro, a pesar de ser bajas las cantidades a suministrar, son preferibles dos aplicaciones, dadas las implicaciones de generar toxicidad.
- En cuanto a la fenología de la planta, se ha demostrado que **la mayor acumulación de nutrientes en el fruto ocurre entre los 2 y los 6 meses después de la floración; por lo tanto, resulta más beneficiosa para la producción el abonamiento que se realiza inmediatamente antes de esta fecha con respecto a la que se lleva a cabo 2 meses previos a la cosecha**. En este punto se debe recordar que un adecuado plan de nutrición en café debe satisfacer tanto la demanda del cultivo para la producción del grano como atender los requerimientos que tiene el crecimiento vegetativo (Ramas, nudos y hojas).
- La forma más aconsejable de aplicar los fertilizantes es esparciéndolos “al voleo” en el “plato” del árbol, sin quitar la hojarasca** (Ver Anexo 11 Proceso fertilización de cafetales Tomo 3). Mediante esta práctica se logran los mismos resultados en producción que otras formas de aplicación, con beneficios económicos en lo concerniente a la mano de obra. El plato del árbol debe estar libre de arvenses.

Alternativas generales de fertilización para la etapa de producción

Cuando los caficultores no disponen de análisis de suelos, se hace necesario implementar alternativas o planes generales, de acuerdo a la información existente, principalmente la densidad de plantas por hectárea y el nivel de sombra. En estos planes deben incluirse todos los nutrientes que normalmente se recomiendan a través del análisis de suelo en las cantidades más

Resultado de análisis de suelo	Sombrío menor de 35% (Muy bajo)			Sombrío entre 35% y 45% (Bajo)		Sombrío entre 45% y 55% (Medio)
	Densidad (Plantas o ejes/hectárea)					
	Mayor a 7.500	Entre 5.000 y 7.500	Menor a 5.000	Entre 5.000 y 7.500	Menor a 5.000	Menor a 5.000
Materia orgánica-MO (%)	Dosis de nitrógeno-N (kg.ha-año ⁻¹)					
MO≤8	300	285	255	255	225	150
8>MO≤12	280	266	238	238	210	140
12>MO≤16	260	247	221	221	195	130
16>MO≤20	240	228	204	204	180	120
20>MO	260	247	221	221	195	130
Fósforo-P (mg.kg ⁻¹)	Dosis de fósforo-P ₂ O ₅ (kg.ha-año ⁻¹)					
P≤10	60	57	51	51	45	30
10>P≤20	40	38	34	34	30	20
20>P≤30	21	20	18	18	16	10
Potasio-K (cmol _c .kg ⁻¹)	Dosis de potasio-K ₂ O (kg.ha-año ⁻¹)					
K≤0,2	300	285	255	255	225	150
0,2>K≤0,4	260	147	221	221	195	130
0,4>K≤0,6	180	171	153	153	135	90
0,6>K≤0,8	140	133	119	119	105	70
0,8>K	100	95	85	85	75	0
Magnesio-Mg (cmol _c .kg ⁻¹)	- Dosis de magnesio-MgO (kg.ha-año ⁻¹)					
Mg≤0,3	60	57	51	51	45	30
0,3>Mg≤0,6	40	38	34	34	30	20
0,6>Mg≤0,9	15	14	13	13	11	8
Azufre-S (mg.kg ⁻¹)	Dosis de azufre-S (kg.ha-año ⁻¹)					
S≤6	50	48	43	43	38	25
6>S≤12	25	24	22	22	19	13

Tabla 7.

Dosis recomendadas de macronutrientes para cafetales en la etapa de producción, de acuerdo a los resultados de análisis de suelo, nivel de sombra y densidad. Adaptado de Sadeghian (2008). Nota: Para contenidos de P, Mg y S mayores a 30 mg.kg⁻¹, 0,9 cmol_c.kg⁻¹ y 12 mg.kg⁻¹, respectivamente, se sugiere no suministrar el nutriente.

altas, pues se desconoce su disponibilidad; por ejemplo, para plantaciones con más de 7.500 plantas o ejes/ha, a libre exposición solar, se sugiere el suministro de 300 kg.ha-año⁻¹ de N, 260 kg.ha-año⁻¹ de K₂O y 50 kg.ha-año⁻¹ de P₂O₅, de MgO y de S (Sadeghian et al., 2012). En la Tabla 8 se detallan las cantidades sugeridas, según la información existente.

Las cantidades sugeridas en la Tabla 8 pueden suministrarse a través de fertilizantes en mezcla física, obtenidas en la propia finca, por ejemplo, para un cafetal con alta densidad de plantas y poca sombra se sugieren 610 kg.ha-año⁻¹ de urea, 110 kg.ha-año⁻¹ de DAP, 430 kg.ha-año⁻¹ de KCl y 200 kg.ha-año⁻¹ de Kieserita, equivalente a una proporción de mezcla aproximada de

6:1:4:2, respectivamente. Cuando las densidades son menores, y mayores los niveles de sombra, se reducen los requerimientos nutricionales, pero se conservan las relaciones entre los fertilizantes.

- Otra opción radica en realizar el fraccionamiento de acuerdo a la cantidad del abono y la época fenológica; por ejemplo, distribuir los 600 kg.ha.año⁻¹ de la urea en tres aplicaciones, realizar una sola aplicación de DAP y fraccionar el KCl y la Kieserita en dos oportunidades, así:
- Primera aplicación: 200 kg/ha de urea, 110 kg.ha⁻¹ de DAP, 215 kg.ha⁻¹ de KCl y 100kg.ha⁻¹ de Kieserita. Estas cantidades equivalen a una mezcla de urea:DAP:KCl:Kieserita en proporción 2:1:2:1.

- Segunda aplicación: 200 kg.ha⁻¹ de urea, 215 kg.ha⁻¹ de KCl y 100 kg.ha⁻¹ de Kieserita, equivalentes a una mezcla en proporción 2:2:1 para urea:KCl:Kieserita.
- Tercera aplicación: 200 kg.ha⁻¹ de urea.

Las cantidades en referencia también pueden suministrarse mediante fertilizantes compuestos, bien sean complejos granulados o mezclas físicas. Para definir la cantidad de éstos, se debe considerar la concentración de uno de los elementos que lo conforman. Por lo general, el nitrógeno es el elemento que más limita la producción de café en Colombia, y el único que nunca debe excluirse de los planes de fertilización, por lo tanto, resulta razonable tenerlo en cuenta como punto de referencia para calcular la cantidad del fertilizante. En la Tabla 9

Nivel de sombra (%)	Densidad de plantas o ejes por hectárea		
	Mayor de 7.500	Entre 5.000 y 7.500	Menor de 5.000
Dosis de nitrógeno-N (kg.ha.año ⁻¹)			
Menor de 35	300	285	255
Entre 35 y 45		255	225
Entre 45 y 55			150
Dosis de potasio-K ₂ O (kg.ha.año ⁻¹)			
Menor de 35	260	250	220
Entre 35 y 45		220	195
Entre 45 y 55			130
Dosis de fósforo-P ₂ O ₅ , de magnesio-MgO y de azufre-S (kg.ha.año ⁻¹)			
Entre 35 y 45	50	48	43
Entre 45 y 55		43	38
Entre 45 y 55			25

Tabla 8.

Dosis de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y azufre, según densidad de siembra y sombrío del cafetal. Tomado de Sadeghian y González (2012).

Grado del fertilizante	Cantidad de fertilizante (kg.ha.año ⁻¹)	Cantidad de nutriente aportado por el fertilizante						
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	B	Zn
17-6-18-2	1.765	300	106	318	35	35	4	2
19-4-19-3	1.579	300	63	300	47	47	2	2
21-3-17-6	1.429	300	43	243	86	100	0	0
24-3-20-3	1.250	300	38	250	38	50	0	0
25-4-24	1.200	300	48	288	0	0	0	0
25-3-19-3	1.200	300	36	228	36	48	0	0

Tabla 9.

Nutrientes aportados por algunos fertilizantes de uso común para café. Tomado de Sadeghian y González (2012).

se consignan las cantidades de nutrientes aportados por algunos fertilizantes de uso común, calculados a partir de los requerimientos de nitrógeno para plantaciones con altas densidades y niveles bajos de sombrío.

En las Tablas 10, 11, 12, 13 y 14 se relacionan para los fertilizantes antes mencionados, las cantidades requeridas, de acuerdo a densidad, nivel de sombra y número de aplicaciones.

Es habitual que los caficultores expresen la cantidad de abono en gramos por árbol, sin tener en cuenta el grado del fertilizante, la frecuencia de aplicación, la densidad de siembra ni el nivel de sombra. Por ejemplo, el aporte de nutrientes derivado de 100 g del fertilizante 25-4-24 es diferente al que se haría a través de la misma cantidad de 17-6-18-2. Del mismo modo, no sería igual aplicar esta cantidad una, dos o tres veces al año, en cafetales con 5.000 ó 10.000 plantas/ha.

Abonos orgánicos para la etapa de producción. 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. 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.

Consideraciones prácticas

El aseguramiento de una buena nutrición de los cafetales depende además de la pertinencia y la oportunidad de la labor, del cálculo de las dosis ajustadas a la concentración de los nutrientes del fertilizante seleccionado, de la densidad de siembra y del porcentaje de sombrío del cultivo.

El fertilizante orgánico de mayor disponibilidad en las fincas cafeteras es la pulpa descompuesta, que se recomienda aplicar en dosis entre 6 y 12 kg/árbol/año (Uribe y Salazar, 1983). Cuando se utiliza lombrinaza de pulpa de café la dosis es más baja, Arcila y Farfán (2007) sugieren 2 ó 3 kg/árbol/año para plantaciones con 10.000 árboles/ha, es decir, entre 20 y 30 t.ha⁻¹. Estas cantidades, al igual que los fertilizantes de síntesis química, se podrán ajustar de acuerdo con la densidad de plantas y el nivel de sombra.

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

Densidad (Plantas o ejes/ha)	Dos aplicaciones por año			Tres aplicaciones por año		
	Nivel de sombra (%)					
	Menor de 35	Entre 35 y 45	Entre 45 y 55	Menor de 35	Entre 35 y 45	Entre 45 y 55
4.000	188	165	110	125	110	74
4.500	167	147	98	111	98	65
5.000	168	150		112	100	
5.500	152	136		102	91	
6.000	140	125		93	83	
6.500	129	115		86	77	
7.000	120	107		80	71	
7.500	112	100		75	67	
8.000	110			74		
8.500	104			69		
9.000	98			65		
9.500	93			62		
10.000	88			59		

Tabla 10.

Dosis, en gramos por planta o eje, para el fertilizante 17-6-18-2, según densidad de plantas o ejes, nivel de sombra y número de aplicaciones.

Densidad (Plantas o ejes/ha)	Dos aplicaciones por año			Tres aplicaciones por año		
	Nivel de sombra (%)					
	Menor de 35	Entre 35 y 45	Entre 45 y 55	Menor de 35	Entre 35 y 45	Entre 45 y 55
4.000	168	148	99	112	99	66
4.500	149	132	88	99	88	58
5.000	150	134		100	89	
5.500	136	122		91	81	
6.000	125	112		83	75	
6.500	115	103		77	69	
7.000	107	96		71	64	
7.500	100	89		67	60	
8.000	99			66		
8.500	93			62		
9.000	88			58		
9.500	83			55		
10.000	79			53		

Tabla 11.

Dosis, en gramos por planta o eje, para el fertilizante 19-4-19-3, según densidad de plantas o ejes, nivel de sombra y número de aplicaciones.

Densidad (Plantas o ejes/ha)	Dos aplicaciones por año			Tres aplicaciones por año		
	Nivel de sombra (%)					
	Menor de 35	Entre 35 y 45	Entre 45 y 55	Menor de 35	Entre 35 y 45	Entre 45 y 55
4.000	152	134	89	101	89	60
4.500	135	119	79	90	79	53
5.000	136	121		91	81	
5.500	123	110		82	74	
6.000	113	101		75	67	
6.500	104	93		70	62	
7.000	97	87		65	58	
7.500	91	81		60	54	
8.000	89			60		
8.500	84			56		
9.000	79			53		
9.500	75			50		
10.000	71			48		

Tabla 12.

Dosis, en gramos por planta o eje, para el fertilizante 21-3-17-6, según densidad de plantas o ejes, nivel de sombra y número de aplicaciones.

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 (Cardona, 1972); pese a ello, todavía no se ha demostrado un efecto benéfico de la aplicación 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 (Mejía, 2006). Por lo anterior, esta práctica no está incluida dentro de las recomendaciones que generan beneficios económicos.

Densidad (Plantas o ejes/ha)	Dos aplicaciones por año			Tres aplicaciones por año		
	Nivel de sombra (%)					
	Menor de 35	Entre 35 y 45	Entre 45 y 55	Menor de 35	Entre 35 y 45	Entre 45 y 55
4.000	133	117	78	89	78	52
4.500	118	104	69	79	69	46
5.000	119	106		79	71	
5.500	108	97		72	64	
6.000	99	89		66	59	
6.500	91	82		61	54	
7.000	85	76		57	51	
7.500	79	71		53	47	
8.000	78			52		
8.500	74			49		
9.000	69			46		
9.500	66			44		
10.000	63			42		

Tabla 13.

Dosis, en gramos por planta o eje, para el fertilizante 24-3-20-3, según densidad de plantas o ejes, nivel de sombra y número de aplicaciones.

Densidad (Plantas o ejes/ha)	Dos aplicaciones por año			Tres aplicaciones por año		
	Nivel de sombra (%)					
	Menor de 35	Entre 35 y 45	Entre 45 y 55	Menor de 35	Entre 35 y 45	Entre 45 y 55
4.000	128	113	75	85	75	50
4.500	113	100	67	76	67	44
5.000	114	102		76	68	
5.500	104	93		69	62	
6.000	95	85		63	57	
6.500	88	78		58	52	
7.000	81	73		54	49	
7.500	76	68		51	45	
8.000	75			50		
8.500	71			47		
9.000	67			44		
9.500	63			42		
10.000	60			40		

Tabla 14.

Dosis, en gramos por planta o eje, para los fertilizantes 25-4-24 y 25-3-19-3, según densidad de plantas o ejes, nivel de sombra y número de aplicaciones.

Fertilizantes

En el ámbito general, se entiende por fertilizante cualquier material, bien sea orgánico o inorgánico, de origen natural o sintético, que una vez aplicado al suelo suministre a las plantas uno o más de los nutrientes esenciales para su crecimiento (Brady y Weil, 1999).

Los fertilizantes difieren en su composición y aprovechabilidad; este último término hace referencia a la capacidad del fertilizante en suministrar el o los nutrientes a través de tiempo, y está relacionada con la solubilidad y la efectividad de la fuente empleada (Guerrero, 2004). Algunos fertilizantes como la urea son muy solubles en agua, por esta razón su aprovechabilidad por las plantas ocurre en un tiempo relativamente corto, pero con un mayor riesgo de perderse; en cambio otros, como el óxido de magnesio, son de menor solubilidad, por lo tanto, su aprovechabilidad se da a mediano plazo, pero sufren menos pérdidas.

Con relación al contenido nutricional de los fertilizantes, actualmente el nitrógeno se expresa en forma elemental (N), el fósforo como pentóxido (P_2O_5) y el potasio como óxido (K_2O); los macronutrientes secundarios, es decir calcio, magnesio y azufre, son expresados tanto en forma elemental (Ca, Mg y S) como óxidos (CaO , MgO y SO_4); mientras que los microelementos normalmente se expresan en su forma elemental (Guerrero, 2002; United Nations Industrial Development Organization, 1998). Al respecto, el grado de un fertilizante hace alusión al contenido nutricional (Expresado en porcentaje), de N, P_2O_5 y K_2O , respectivamente. Por ejemplo, el fertilizante 25-4-24 contiene 25% de N, 4% de P_2O_5 y 24% de K_2O . En este orden de ideas, el grado de la urea es 46-0-0, el de Cloruro de potasio-KCl es 0-60-0, y el de Fosfato diamónico-DAP es 18-46-0. A veces un fertilizante puede contener 4, 5 ó más nutrientes, por ejemplo, el 17-6-18-2 (2% de MgO) y 19-4-19-3-1,8 (3% de MgO y 1,8% de S).

Cuando un fertilizante contiene solo uno de los elementos primarios esenciales, se denomina **fertilizante simple**, como por ejemplo, la urea, el KCl y el óxido de magnesio. Si el fertilizante contiene más de uno de los nutrientes esenciales primarios, tales como 15-15-15, 17-6-18-2, 25-4-24 y DAP, se considera un **fertilizante compuesto**. En este último caso, se distinguen dos tipos:

Fertilizantes complejos. Resultan de reacciones químicas de ingredientes o materias primas (Guerrero, 2002; United Nations Industrial Development Organization, 1998). Su mayor ventaja radica en que cada partícula presenta la misma composición química, por lo tanto, existe la garantía que todas las plantas reciban una misma proporción de nutrientes.

Fertilizantes de mezcla física. Se obtienen por la mezcla mecánica de dos o más fertilizantes. La mayor ventaja que los caracteriza es su menor costo relativo; sin embargo, se deben tener en cuenta algunas consideraciones en su preparación y uso. Los materiales a emplear deben ser similares en su granulometría (Tamaño de partículas) y densidad aparente (Peso por unidad de volumen), de lo contrario, las partículas tienden a separarse durante su manejo, transporte y almacenamiento, problema que se conoce como **segregación** (Guerrero, 2004).

La granulometría de la urea, DAP y KCl es relativamente similar, por lo tanto, por su tamaño no presentan mayores problemas para mezclarse; caso contrario ocurre con el óxido de magnesio, cuyas partículas son más finas y pesadas, por lo que tienden a migrar hacia abajo, razón por la cual no se sugiere mezclar este abono con los anteriores. Adicionalmente, los fertilizantes solubles en su mayoría son sales, y se humedecen al entrar en contacto con el aire atmosférico, especialmente si éste tiene altos niveles de humedad; debido a ello, es necesario que las mezclas físicas obtenidas en la finca se apliquen luego de su preparación.

Pese a las ventajas comparativas que se derivan de la mezcla física de los fertilizantes, muchos caficultores prefieren aquellos de tipo complejo, bien sea porque no requieren mano de obra adicional para su mezcla, o debido a que creen obtener así rendimientos más altos.

En un experimento realizado en tres localidades representativas de la zona cafetera se demostró que la producción de café pergamino seco, obtenida al aplicar los fertilizantes en mezcla física, es igual a la registrada con el complejo granulado (Tabla 15). Lo anterior deja en entredicho la creencia que con la utilización de los fertilizantes complejos se obtienen producciones superiores a las de las mezclas físicas.

En la Tabla 16 se incluye el grado de los fertilizantes de uso común en Colombia.

Encalamiento en cafetales

Uno de los factores limitantes de la producción en muchas regiones cafeteras de Colombia es la acidez del suelo. De acuerdo a los registros históricos de los análisis de laboratorio, realizados durante los últimos 20 años (Tabla 17), un alto porcentaje de las muestras evaluadas presenta problemas potenciales, principalmente valores de pH menores a 5,0 y aluminio intercambiable $-Al^{3+}$ mayor a $1 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$.

Sitio	Promedio de producción de cuatro cosechas (kg/parcela de c.p.s.)	
	Mezcla física*	Complejo granulado
Estación Central Naranjal	60	59
Estación La Catalina	99	94
Estación Santander	60	54

Tabla 15.

Promedios de valores de producción, obtenidos con la aplicación de fertilizantes complejos y en mezcla física en tres localidades. Tomado de Sadeghian *et al.* (2007). * Obtenida a partir de urea, DAP y KCl. El magnesio, suministrado como óxido, se aplicó de manera separada.

Fertilizante	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	B	Zn
Urea	46							
Nitrón	26							
Sulfato de amonio	21					24		
Nitrabor	15			26			0,3	
Nitromag	21				7			
Nitrasam	28	4				6		
DAP	18	46						
MAP	11	53						
10-30-10	10	30	10					
10-40-10	10	40	10					
Cloruro de potasio			60					
Sulfato de potasio			50			17		
Nitrato de potasio	13		44					
K-mag			22		18	22		
Carbonato de magnesio			0		40			
Óxido de magnesio			0		88			
Kieserita			0		25	20		
17-6-18-2	17	6	18		2	2	0,2	0,1
25-4-24	25	4	24					
Hydrán	19	4	19		3	2	0,1	0,1
Kafé	21	3	17		6	7		
Kafé Caldas	25	3	19		3	4		
Kafertil	24	3	20		3	4		
Nutri 3	24	3	19		3	2	0,01	0,01
Producafé	23	3	19		3	4	0,2	0,2
Embajador	20	4	18		3	3	0,1	0,1
Agrimins	8	5		18	6	1,6	1,0	2,5

Tabla 16.

Composición de algunos fertilizantes de uso común en Colombia.

Departamento	Número de muestras analizadas	Porcentaje de muestras con valores de $\text{pH} \leq 5$	Porcentaje de muestras con valores de $\text{Al} \geq 1$
Antioquia	69.718	79	81
Caldas	16.599	42	32
Cauca	6.602	49	57
Cundinamarca	1.389	77	62
Huila	17.245	53	45
Norte de Santander	1.790	63	51
Quindío	29.198	64	28
Risaralda	4.518	37	23
Santander	2.412	88	74
Tolima	12.992	46	36
Valle del Cauca	24.834	21	10

Tabla 17.

Porcentaje de muestras con valores bajos de pH y altos contenidos de aluminio intercambiable, detectados en los registros históricos de análisis de suelos cultivados en algunos departamentos de Colombia.

Aunque la acidificación del suelo ocurre de manera natural –en consecuencia de la interacción del material parental, el clima y los organismos–, su magnitud se intensifica con el manejo de los cultivos. En los sitios más lluviosos ocurre una mayor pérdida por lixiviación de cationes de naturaleza alcalina o básica como Ca, Mg, K y Na, los cuales dan su lugar a otros de carácter ácido, principalmente H, Al, Fe y Mn. La descomposición de la materia orgánica, la oxidación del azufre y la nitrificación del amonio, también son procesos que ocurren naturalmente y contribuyen a incrementar la acidez. Por otro lado, las raíces de las plantas al absorber los cationes básicos desde la solución del suelo, liberan iones hidrógeno (H^+) y, por ende, contribuyen a generar un ambiente más ácido; condición que se ve favorecida por la tecnificación de las plantaciones (Zapata, 2004).

Cuando se aplican fertilizantes amoniacales, o aquellos que conlleven a la formación de este compuesto –por ejemplo sulfato de amonio, nitrato de amonio y urea–, también se produce H^+ . A su vez, los aniones nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) y cloruro (Cl^-), provenientes de la descomposición de la materia orgánica o de los

fertilizantes, se unen con los cationes de la solución del suelo y los arrastran más allá del alcance de las raíces, utilizando como vehículo el agua.

La propiedad química del suelo por excelencia para valorar la acidez es el pH –potencial de hidrogeniones–, la cual expresa la concentración de los iones libre de hidrógeno (H^+) en la solución del suelo. Es así como entre más alta sea la concentración de H^+ , menor será el pH y, por lo tanto, mayor la acidez. Para café el rango adecuado de pH se encuentra alrededor de 5,0 y 5,5. Para suelos ácidos de las unidades 200 y Chinchiná, con valores del pH menores a 5,0 ó mayores a 6,0 el crecimiento del café se reduce en más de 15% (Figura 5).

Los problemas de la acidez en los suelos están básicamente relacionados con dos aspectos: i) La toxicidad causada por el Al^{3+} ; y ii) La infertilidad (Deficiencias de Ca, Mg y P, baja capacidad de intercambio catiónico, reducción en la actividad microbiana, entre otros). El contenido de Al^{3+} guarda una relación inversa con la acidez activa del suelo (Figura 6), en tal sentido

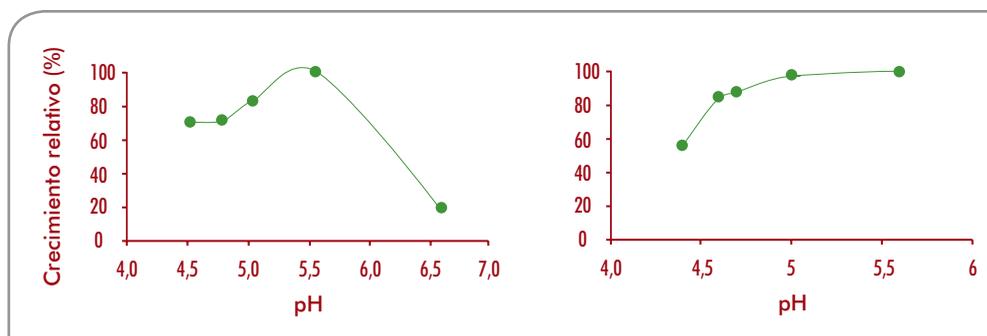


Figura 5.

Efecto del pH en el crecimiento del café, en suelos de las unidades 200 (izquierda) y Chinchiná (derecha). Adaptado de Díaz (2006).

cuando el pH es menor a 5,0, se espera que los niveles de Al^{3+} estén por encima de $1\text{ cmol}_c\cdot\text{kg}^{-1}$, y para suelos con valores de pH mayor a 5,0 por debajo de este valor; si el pH es 5,5 ó más, se considera casi inexistente la presencia de Al^{3+} , razón por la cual los laboratorios normalmente no lo determinan analíticamente.

En los suelos de la zona cafetera de Colombia rara vez se detectan síntomas de toxicidad por el Al^{3+} (Figura 7); aspecto que se debe a la presencia de altos contenidos de la materia orgánica, la cual neutraliza a este elemento.

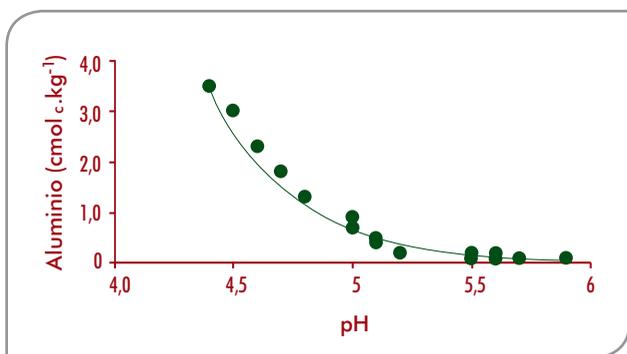


Figura 6.

Aluminio intercambiable en función del pH del suelo.

Existen diferentes alternativas para corregir los problemas de la acidez, siendo la más común y rápida el uso de cales o materiales alcalinizantes, principalmente carbonatos, óxidos, hidróxidos y silicatos de calcio o magnesio. De acuerdo a su composición química, pureza y finura (Tamaño de partículas), éstos varían en su capacidad para neutralizar la acidez. En la Tabla 18 se presentan las características principales de las fuentes más comúnmente empleadas en la agricultura. Frente al carbonato de calcio –cal agrícola–, el óxido de calcio ofrece 79% más capacidad para corregir la acidez y la caliza dolomítica 8% más, es decir, éstos poseen un poder de neutralización –PN– de 179% y 108%, respectivamente. Lo anterior tiene implicaciones prácticas en términos de la cantidad del material a utilizar; por ejemplo, 1.000 kg de cal agrícola tienen un poder de neutralización equivalente a 559 kg de cal viva y 926 kg de caliza dolomítica.

Otro producto empleado para corregir los problemas de acidez es el yeso –sulfato de calcio–, el cual a pesar de no tener un efecto significativo en el pH, reduce el aluminio, al mismo tiempo que proporciona calcio y azufre. Se ha demostrado que dosis equivalentes a $350\text{ kg}\cdot\text{ha}\cdot\text{año}^{-1}$ de yeso pueden ser suficientes para este propósito (Sadeghian, 2008a).



Figura 7.

Síntomas de toxicidad por aluminio en la parte aérea (izquierda) y en las raíces (derecha).

Nombre comercial	Nombre técnico	Fórmula	Porcentaje de calcio	Porcentaje de magnesio	PN
Cal agrícola	Carbonato de calcio	$CaCO_3$	40		100
Cal viva	Óxido de calcio	CaO	71		179
Cal apagada	Hidróxido de calcio	$Ca(OH)_2$	54		138
Caliza dolomítica	Dolomita	$CaCO_3\cdot MgCO_3$	22	13	108
Óxido de magnesio	Óxido de magnesio	MgO		60	248
Carbonato de magnesio	Carbonato de magnesio	$MgCO_3$		29	119

Tabla 18.

Composición de algunos materiales para la corrección de la acidez en los suelos. Tomado de Havlin et al., 1999. PN: Poder de neutralización.

La selección de la fuente depende de las características del suelo y la disponibilidad y costo de los materiales. En la mayoría de los casos, la acidez está acompañada de bajos contenidos de magnesio, razón por la cual la caliza dolomítica es la mejor opción, pero ante una elevada disponibilidad de este elemento, se podrá emplear cal agrícola o roca fosfórica, según el caso. En la Tabla 19 se consigna una guía general para escoger la fuente.

En el mercado existen productos que resultan de la mezcla de diferentes materiales encalantes. En algunos casos es posible fabricarlos en la finca según los requerimientos y los costos. Un ejemplo frecuente es la mezcla de caliza dolomítica y yeso, otro caso resulta de la mezcla de cal agrícola o dolomítica con roca fosfórica. Estas alternativas pueden ser adecuadas, siempre y cuando las materias primas sean de buena calidad y su aplicación se enmarque dentro de un plan adecuado del manejo de la fertilidad del suelo.

La cantidad de la cal depende del tipo de suelo, el grado de la acidez, la fuente a emplear y la forma de la aplicación, entre otros. En general, los suelos con altos contenidos de materia orgánica requieren mayores cantidades de material encalante para neutralizar un mismo nivel de acidez.

Con respecto a los indicadores de la acidez, tanto el pH como el aluminio de cambio –o en su defecto su porcentaje de saturación– pueden emplearse para determinar los requerimientos de la cal, pues existe una alta correlación entre éstos. Dado que en muchas ocasiones el análisis de laboratorio sobrevalora el contenido del Al^{3+} (Ortiz et al., 2004), se ha optado por utilizar el valor del pH para sugerir la cantidad de la cal, la cual se puede ajustar con base en el contenido de calcio. Este último debido al efecto de calcio como elemento y por ser éste un indicador de la capacidad de intercambio catiónico, dada su relación con otros cationes, principalmente hidrógeno, aluminio y magnesio.

En cuanto a la forma de aplicación se refiere, la más eficaz consiste en incorporar la cal al suelo, práctica que sólo puede realizarse antes de la siembra, pues si se lleva a cabo después, se ocasionan daños a las raíces y se aumenta el riesgo de la erosión. En promedio, por cada gramo de cal agrícola que se incorpora a 1 dm^3

de suelo, el pH se incrementa en aproximadamente 0,2 unidades y el Ca en $1,0 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ (Díaz et al., 2008).

Corrección de la acidez en la etapa de crecimiento vegetativo (Levante)



Se sugiere realizar el encalamiento en dos oportunidades: En la siembra o unos días antes y 12 meses después de esta fecha (Sadeghian, 2008a).

En las dos ocasiones se puede emplear la misma cantidad y tipo de cal, pero cambia el modo de la aplicación; en la siembra debe incorporarse el material encalante al suelo del hoyo (Figura 8), mientras que al año se aplica sobre la superficie del plato del árbol (Desde el tallo hasta unos 5 a 10 cm más allá de la gotera), libre de arvenses y hojarasca, esparciendo la enmienda uniformemente en toda el área (Figura 9). En el caso que no se haya efectuado el encalamiento al momento de la siembra o unos días antes, esta labor debe realizarse de manera prioritaria en el intermedio de dos fertilizaciones.

Se sugiere incrementar la cantidad de cal a medida que aumenta la acidez y disminuye el contenido de Ca intercambiable (Tabla 20). Para suelos muy ácidos ($\text{pH} \leq 4,0$) las dosis varían entre 80 y 120 g/sitio (Hoyo o planta), y para valores de pH entre 4,0 y 5,0, la cantidad de cal varía de 60 a 100 g/sitio. Si el nivel de Ca es inferior a $1,5 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ y el pH se encuentra en el rango adecuado, se sugiere adicionar dosis bajas de cal (40 g/planta) o de yeso (20 g/planta) con el fin de suministrar el Ca como nutriente. 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 $1,5 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$, no se recomienda realizar prácticas de encalado o suministro de calcio.

Contenido de fósforo en el suelo	Contenido de magnesio en el suelo	
	Mayor de $0,9 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$	Menor de $0,9 \text{ cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$
Mayor de $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	Cal agrícola	Caliza dolomítica
Menor de $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	Roca fosfórica, Escorias Thomas, Calfos	Caliza dolomítica

Tabla 19.

Sugerencias para la selección de la fuente del material encalante con base en los contenidos de magnesio y fósforo en el suelo.



Figura 8.

Aplicación de la cal en la siembra. **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.



Figura 9.

Aplicación de la cal en el cafetal de un año. **a.** Con los platos limpios; **b.** Aplicación superficial de la cal de manera homogénea en toda la zona radical (Desde la gotera hasta el tallo).

Las cantidades sugeridas en la Tabla 20 para el momento de la siembra están dadas para un hoyo con las siguientes dimensiones: 30 x 30 x 30 cm (27 dm³). Estas cantidades deben ajustarse si el tamaño del hoyo es otro; por ejemplo, para dimensiones de 25 x 25 x 30 cm (18,75 dm³) se deben incorporar 70 g de cal agrícola/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” (Figura 10).

Para cafetales renovados por zoca se sugieren cantidades parcialmente mayores de cal, en comparación con las nuevas siembras (Tabla 21), las cuales se aplican 8 meses después del zoqueo. Con respecto a las fuentes, se conservan los mismos criterios para su selección mencionados en la Tabla 19.

Corrección de la acidez en la etapa de producción

Sadeghian (2008a) sugiere incrementar la cantidad del material encalante a medida que disminuye el pH



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 (Generalmente a los 2 años).

y el contenido del Ca intercambiable (Tabla 22). Para suelos muy ácidos (pH ≤ 4,0) la dosis por hectárea varía entre 1.000 y 1.400 kg, los cuales se deben aplicar en el intermedio de dos fertilizaciones. Para valores de pH entre 4,0 y 4,5 la cantidad de cal está entre 800 a 1.200 kg, y para pH de 4,5 a 5,0 entre 600 y 1.000 kg.ha⁻¹. No es prudente exceder las dosis de la cal por planta en más de 250 g, situación que puede ocurrir para densidades medias o bajas.



Figura 10.

Síntomas de la clorosis calcárea.

Cuando los suelos tienen una acidez adecuada para el café y niveles de Ca superiores a $1,5 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, no se recomienda realizar prácticas de encalado. Si el nivel de Ca es menor al valor mencionado y el pH se encuentra en el nivel óptimo, se sugiere suministrar el Ca como nutriente, mediante la adición de dosis bajas de cal $-400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ o de yeso $-350 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, el cual tiene 20% a 30% de CaO y 15% de azufre. Cuando se presentan deficiencias de Ca, en condiciones de pH mayores a 5,5, es recomendable el empleo de yeso y no de cales.

pH	Dosis de cal agrícola en gramos por hoyo o plato del árbol		
	$\text{Ca} \leq 1,5$	$1,5 < \text{Ca} \leq 3,0$	$\text{Ca} > 3,0$
	$(\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1})$		
$\text{pH} \leq 4,0$	120	100	80
$4,0 < \text{pH} \leq 5,0$	100	80	60
$5,0 < \text{pH} \leq 5,5$	40	0	0

Tabla 20.

Dosis de cal agrícola para la siembra y 12 meses después, con base en el pH y el contenido de calcio.

pH	Dosis de cal agrícola en gramos por planta		
	$\text{Ca} \leq 1,5$	$1,5 < \text{Ca} \leq 3,0$	$\text{Ca} > 3,0$
	$(\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1})$		
$\text{pH} \leq 4,0$	140	120	100
$4,0 < \text{pH} \leq 5,0$	120	100	80
$5,0 < \text{pH} \leq 5,5$	40	0	0

Tabla 21.

Recomendaciones para el encalamiento de los cafetales 8 meses después de la zoca con base en el pH y los contenidos de calcio.

pH	Dosis de cal agrícola en kilogramos por hectárea cada dos años		
	$\text{Ca} \leq 1,5$	$1,5 < \text{Ca} \leq 3,0$	$\text{Ca} > 3,0$
	$(\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1})$		
$\text{pH} \leq 4,0$	1.400	1.200	1.000
$4,0 < \text{pH} \leq 4,5$	1.200	1.000	800
$4,5 < \text{pH} \leq 5,0$	1.000	800	600
$5,0 < \text{pH} \leq 5,5$	400	0	0

Tabla 22.

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

Herramientas para determinar el estado nutricional de la planta



La efectividad de los planes de fertilización y enclavamiento de los cafetales debe ser analizada permanentemente a través del estado nutricional de las plantas. Entre las herramientas más empleadas para lograr este propósito están: Los registros de la producción, el diagnóstico visual y el análisis foliar (Malavolta et al., 1989).

A continuación se presentan algunas herramientas para evaluar el estado nutricional de las plantas:

Registros de producción

En muchas ocasiones estos registros ayudan a evaluar la pertinencia de los planes de la nutrición, realizados a través de tiempo. El procedimiento consiste básicamente en establecer comparaciones entre las producciones obtenidas en diferentes áreas y períodos de tiempo; por ejemplo, la cantidad cosechada de café en un mismo lote y durante varios años, lotes de una misma finca, fincas de una región, regiones de un país y diferentes países.

Diagnóstico visual

A través de esta técnica se compara en el campo el aspecto de plantas afectadas por la falta o exceso de uno o más elementos frente a plantas que se consideran “normales” en cuanto a su nutrición. Para este propósito, generalmente se usa la hoja, y en ocasiones la raíz o el fruto, según el elemento.

La aparición de los síntomas de deficiencias de los nutrientes en ciertos sitios específicos de la planta está

relacionada con las funciones fisiológicas que estos elementos realizan y su movilidad dentro de la planta. Es así como la carencia de nitrógeno se manifiesta como clorosis –amarillamiento– de las hojas más viejas. El cambio de color verde a amarillo está relacionado con la función que juega el nitrógeno en la formación de la clorofila, y la aparición de los síntomas en las hojas más viejas, es el resultado de su alta movilidad. El fósforo, el potasio y el magnesio también se caracterizan por ser móviles en la planta, y por ende, sus deficiencias aparecen principalmente en las hojas más viejas; en contraste, el calcio, el azufre y los micronutrientes son poco móviles y los síntomas de su carencia se manifestarán principalmente en los tejidos más nuevos. En la Tabla 23 se describen las deficiencias de los nutrientes para café y sus síntomas visibles.

Cuando la nutrición de la planta es muy deficiente, se reduce significativamente la producción y aparecen muy frecuentemente síntomas visibles de la carencia de los elementos (Tabla 24). En contraste, a media que se proporcionan los elementos requeridos en las cantidades suficientes y balanceadas, se obtienen producciones relativamente más altas y se reduce la probabilidad de presentarse síntomas visibles de sus carencias. Una nutrición excesiva o desbalanceada afecta negativamente la producción, con sintomatologías visibles en caso severos.

Cabe resaltar que, en el ámbito general, las plantas que reciben cantidades suficientes y balanceadas de nutrientes normalmente conservan en la zona de fructificación parte de las hojas hasta las épocas próximas a la cosecha (Figura 11). Si el suministro de nutrientes ha sido deficiente, los nudos con frutos permanecen sin hojas en los últimos 2 ó 3 meses. Cuando los planes de fertilización son muy deficientes, la caída de las hojas en la zona de producción es acompañada de una clorosis de las hojas más nuevas. En casos muy severos, se presenta paloteo, con necrosis en la punta de las ramas.

Análisis foliar

La planta, a través de sus raíces, absorbe los elementos que se encuentran en forma disponible desde la solución del suelo y los transporta a otros órganos, en donde son utilizados para las diferentes funciones fisiológicas. Mediante el análisis composicional de la planta es posible tener mayor información acerca de la disponibilidad real de dichos elementos, con el fin de solucionar problemas que ocurren en el campo; en este sentido, el órgano que mejor representa el estado nutricional de la planta es la hoja.

Tabla 23.

Descripción de las deficiencias de los nutrientes para café.

Nutriente	Síntomas de deficiencia
<p data-bbox="428 369 531 395">Nitrógeno</p> <div data-bbox="242 428 457 668">  </div> <div data-bbox="502 428 717 668">  </div>	<ul data-bbox="816 417 1509 628" style="list-style-type: none"> • Clorosis o amarillamiento uniforme de las hojas más viejas • Senescencia prematura y posterior defoliación en las ramas productivas <ul data-bbox="992 519 1328 546" style="list-style-type: none"> • Poca emisión de nuevos brotes • En casos severos, clorosis de las hojas más nuevas en la zona de producción seguida por la muerte descendente de las ramas y paloteo
<p data-bbox="440 685 519 711">Fósforo</p> <div data-bbox="242 733 457 974">  </div> <div data-bbox="502 733 717 974">  </div>	<ul data-bbox="816 794 1509 882" style="list-style-type: none"> • Amarillamiento desuniforme en las hojas más viejas, acompañado de manchas rojizas • Defoliación en casos severos
<p data-bbox="440 1002 519 1028">Potasio</p> <div data-bbox="242 1050 457 1290">  </div> <div data-bbox="502 1050 717 1290">  </div>	<ul data-bbox="867 1122 1458 1188" style="list-style-type: none"> • Necrosis en la punta y los bordes de las hojas más viejas • Defoliación en casos severos
<p data-bbox="445 1319 514 1345">Calcio</p> <div data-bbox="242 1367 457 1607">  </div> <div data-bbox="502 1367 717 1607">  </div>	<ul data-bbox="912 1461 1407 1487" style="list-style-type: none"> • Clorosis en los bordes de las hojas más nuevas
<p data-bbox="428 1635 531 1662">Magnesio</p> <div data-bbox="242 1683 457 1924">  </div> <div data-bbox="502 1683 717 1924">  </div>	<ul data-bbox="935 1755 1390 1821" style="list-style-type: none"> • Clorosis intervenal de las hojas más viejas • Defoliación en las ramas productivas

Continúa...

...continuación

Nutriente	Síntomas de deficiencia
<p data-bbox="415 279 483 305">Azufre</p> 	<p data-bbox="901 432 1333 458">Clorosis uniforme de las hojas más nuevas</p>
<p data-bbox="423 620 474 646">Boro</p> 	<ul data-bbox="782 701 1482 869" style="list-style-type: none">• Manchas de color café en los brotes (hojas nuevas)• Muerte de las yemas terminales y aparición de nuevos brotes• Hojas más viejas con color “verde aceituna” que se extiende desde el ápice hacia la base, en forma de “V” invertida• Tejido corchoso en las venas de las hojas más viejas
<p data-bbox="423 954 474 980">Cinc</p> 	<ul data-bbox="850 1087 1414 1153" style="list-style-type: none">• Hojas nuevas más pequeñas, lanceoladas y cloróticas• Entrenudos cortos
<p data-bbox="389 1297 508 1323">Manganeso</p> 	<ul data-bbox="816 1437 1448 1502" style="list-style-type: none">• Hojas nuevas más grandes de lo normal, de color verde claro uniforme y las nervaduras de color verde más oscuro
<p data-bbox="415 1631 483 1657">Hierro</p> 	<ul data-bbox="782 1777 1482 1843" style="list-style-type: none">• Hojas nuevas de color amarillo hasta verde pálido, con nervaduras verdes

Nutrición	Producción relativa	Aparición de síntomas visibles	Diagnóstico nutricional
Muy deficiente	Muy baja	Muy frecuente	Deficiencia severa
Deficiente	Baja	Ocasional	Deficiencia latente
Adecuada	Alta	Rara vez	Nutrición correcta
Excesiva	Media	Ocasional	Toxicidad oculta
Muy excesiva	Baja	Frecuente	Toxicidad visible

Tabla 24.

Síntomas visibles de deficiencia o toxicidad, como indicador del estado nutricional de la planta.



El análisis foliar permite: 1) Confirmar los síntomas visibles de deficiencias nutricionales; 2) Diagnosticar las deficiencias de los nutrientes en plantas con y sin síntomas identificados; 3) Diagnosticar áreas con deficiencias incipientes; 4) Identificar interacciones y antagonismos entre elementos; 5) Verificar la entrada a la planta de nutrientes suministrados; y 6) Evaluar el balance nutricional (Raj, 1991).



a

Aspecto de una rama productiva de café con una adecuada nutrición.



b

Aspecto de una rama productiva de café con suministro deficiente de nutrientes.



c

Aspecto de una rama productiva de café con suministro muy deficiente de nutrientes.



d

Rama de café con necrosamiento apical, como consecuencia de la falta de fertilización.

Figura 11.

Aspecto de ramas productivas de café con diferentes planes de nutrición.

En Colombia, esta herramienta ha sido empleada principalmente en trabajos de investigación; sin embargo, no se descarta su uso para los propósitos mencionados. Al igual que el análisis de suelos, se necesitan ciertos cuidados en la toma de las muestras foliares, pues de lo contrario, los resultados tendrán poca validez. Se recomienda llevar a cabo esta labor 6 meses antes de la cosecha, pues de esta

manera será posible corroborar el estado nutricional de la planta en el momento que comienza la mayor demanda por parte del fruto y habrá la posibilidad de realizar los ajustes necesarios. Puesto que esta fecha normalmente corresponde a uno o dos meses luego de la fertilización, también se podrá evaluar la efectividad de dicha labor. El procedimiento consiste en:

- La muestra que se lleva al laboratorio debe corresponder a un lote homogéneo, en cuanto al tipo de suelo (Color, textura, entre otras características), la topografía, la edad de las plantaciones, el sombrero y las prácticas de fertilización y enclavamiento realizadas recientemente.
- Seleccionar en cada lote 20 plantas de manera aleatoria.
- En cada planta escoger cuatro ramas en la zona de producción, en los cuatro puntos cardinales.
- Tomar de cada rama una hoja, ubicada en el tercero o cuarto nudo a partir del ápice (Figura 12).
- Realizar el muestreo en las primeras horas de la mañana.
- Depositar las hojas recolectadas en una bolsa de papel nueva.
- Rotular la bolsa con una clara identificación, y entregar al laboratorio la información correspondiente a la fecha

de muestreo, ubicación de la finca, identificación del lote, características de la plantación (Edad, densidad de siembra, sombrero, entre otras), prácticas recientes de fertilización y enclavamiento.

- Enviar la muestra al laboratorio en el menor tiempo posible. En el caso de una demora, secar al aire la muestra sobre un papel limpio o guardarla en la nevera, sin que se congele.
- La muestra debe estar libre de suelo, polvo, pesticidas y fertilizantes.
- Cuando existe la sospecha de una deficiencia nutricional, es necesario tomar muestras por separado, en las plantas normales y con anomalías, en el mismo lote.

En la Tabla 25 se consignan las concentraciones de nutrientes que se consideran adecuadas en hojas de café para Colombia.



Figura 12.

El muestreo foliar en el tercero o cuarto par de hoja formadas.

Elemento	Contenido normal
Nitrógeno	2,30 - 2,80%
Fósforo	0,10 - 0,18%
Potasio	1,50 - 2,00%
Calcio	0,50 - 1,30%
Magnesio	0,30 - 0,40%
Azufre	0,17 - 0,22 mg.kg ⁻¹
Manganeso	150 - 220 mg.kg ⁻¹
Hierro	90 - 140 mg.kg ⁻¹
Boro	40 - 60 mg.kg ⁻¹

Tabla 25.

Concentraciones normales de nutrientes en hojas de café. Tomado de Valencia y Arcila (1977) y Sadeghian y González (2013).

Recomendaciones prácticas

- Recuerde que para obtener buenas cosechas es necesario nutrir adecuadamente sus cultivos.
- Previamente debe conocer las propiedades del terreno, mediante el análisis del suelo; esta herramienta le ayudará a definir los planes de fertilización y los requerimientos de enmiendas, como la cal.
- Cuando las decisiones acerca de la fertilización de los cafetales son soportadas en los resultados de análisis de suelos, se reducen los riesgos económicos y ambientales, debido a que se suministran al cultivo los elementos requeridos en las cantidades adecuadas.
- El análisis de suelo puede ser muy útil, siempre y cuando se tengan todos los cuidados necesarios para el muestreo. Además, los resultados de estos análisis tendrán validez si los métodos de laboratorio son los sugeridos y su interpretación se hace correctamente, a la luz de las investigaciones desarrolladas.
- Las necesidades nutricionales de los cafetales varían según la etapa del cultivo, el número de árboles por hectárea, la sombra y la fertilidad del suelo.
- Establezca los planes de manejo con suficiente anterioridad –preferiblemente al comienzo de cada año–, teniendo en cuenta la disponibilidad del agua en el suelo, condición que es determinada por las lluvias, las características del suelo y la sombra.
- Durante la fase de establecimiento, es decir, desde la siembra hasta aproximadamente un año después, debe poner especial atención al suministro de nitrógeno y fósforo, pues son los dos nutrientes que generalmente más limitan el crecimiento de las plantas. Lo anterior se logra mediante la aplicación de fertilizantes como la urea y DAP.
- Se sugiere iniciar la fertilización a partir del primero o segundo mes después de la siembra, y repetirla cada 3 ó 4 meses, dependiendo del elemento.
- Durante la etapa de producción los nutrientes de mayor demanda son el nitrógeno y el potasio, seguidos por fósforo, magnesio y azufre. Por lo general, los requerimientos de calcio se suplen mediante las prácticas de encalado. En ocasiones será necesario suministrar elementos menores, en especial el boro.
- Los planes de la fertilización deben ser suficientes para satisfacer tanto la demanda de los frutos como las necesidades nutricionales de los órganos vegetativos (Ramas y hojas) que soportan las futuras cosechas.
- Para la formación y el cuajamiento de los frutos tiene mayor ingerencia la fertilización que se realiza en los primeros 3 meses después de la floración, que 2 a 3 meses previos a la recolección.
- Es importante conocer la composición y las propiedades de los fertilizantes que vaya a aplicar. Por lo general, resultan más económicas los fertilizantes que se obtienen mediante mezclas físicas que los complejos granulados; además, los resultados que se obtienen con éstos en producción y calidad son similares.
- Para cafetales en la etapa de producción, la dosis del fertilizante por planta se debe definir con base a la información acerca de: El grado del fertilizante, densidad de plantas por hectárea, nivel de sombra y número de aplicaciones.
- Uno de los problemas comunes en la zona cafetera de Colombia es la acidez del suelo. ¿Usted sabe si en su cafetal se presenta este problema? ¿Sabe que el desarrollo de las plantas de café se afecta por la acidez del suelo?
- La fertilización es más eficiente cuando se han corregido los problemas de acidez, de allí la importancia del análisis del suelo.
- Es importante que identifique las sintomatologías de las deficiencias nutricionales en su cultivo, pero es más importante que realice un plan adecuado de nutrición para que no aparezcan estas sintomatologías.

Literatura citada

- ARCILA P., J.; FARFÁN V., F. Consideraciones sobre la nutrición mineral y orgánica en los sistemas de producción de café. p. 201-232. En: ARCILA P., J.; FARFÁN V., F.; MORENO B., A.M.; SALAZAR G., L.F.; HINCAPIE G., E. Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 309 p.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. The nature and properties of soils. 12da. ed. New Jersey : Prentice Hall, 1999. 881 p.
- 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.
- CHAVES, J.C.D.; SARRUGE, J.R. Alterações nas concentrações de macronutrientes nos frutos e folhas do cafeeiro durante um ciclo produtivo. Pesquisa agropecuaria brasileira 19(4):427-432. 1984.
- DIAZ M., C. Efecto del enclamiento sobre el crecimiento de las plantas de café en la etapa de almácigo. Manizales : Universidad de Caldas, 2006. 246 p.
- DIAZ M., C.; SADEGHIAN K., S.; MORALES L., C.S. Cambios químicos ocasionados por enclamiento y uso de lombrinaza en la etapa de almácigo del café. Cenicafé 59(4):295-309. 2008.
- GUERRERO R., R. Propiedades generales de los fertilizantes: Manual técnico. 4ta. ed. Bogotá : Monómeros colombo venezolanos, 2004. 46 p.
- HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. 6ta. ed. Upper Saddle River : Prentice Hall, 1999. 499 p.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo : Agronômica Ceres, 2006. 631 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. DE. Avaliação do estado nutricional das planta: Princípios e aplicações. Piracicaba : Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 1989. 201 p.
- 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.
- ORTIZ E., M.E.; ZAPATA H., R.D.; SADEGHIAN K., S.; FRANCO A., H.F. Aluminio intercambiable en suelos con propiedades ándicas y su relación con la toxicidad. Cenicafé 55(2):101-110. 2004.
- 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 (Colombia), Octubre 4-6, 2006. Memorias. Bogotá (Colombia), Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2006. p.
- RAIJ, B. VAN. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba : POTAFOS, 1991. 343 p.
- RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; CHÁVES 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.
- SADEGHIAN K., S. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. Chinchiná : CENICAFÉ, 2008a. 43 p. (Boletín Técnico No. 32).
- SADEGHIAN K., S. Actualización y tendencia en la fertilización de café. p. 41-57. En: ACTUALIZACIÓN En fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. Bogotá : Sociedad colombiana de la ciencia del suelo, 2008b. 236 p
- SADEGHIAN K., S. Calibración de análisis de suelo para N P K y Mg en cafetales al sol y bajo semisombra. Cenicafé 60(1):7-24. 2009.
- SADEGHIAN K., S. Fertilización: Una práctica que determina la producción de los cafetales. Chinchiná : CENICAFÉ, 2010a. 8 p. (Avances Técnicos No. 391).
- SADEGHIAN K., S. La materia orgánica: Componente esencial en la sostenibilidad de los agroecosistemas cafeteros. Chinchiná : CENICAFÉ, 2010b. 61 p.
- SADEGHIAN K., S.; GAONA J., S. Aula virtual cafetera: El suelo formación, fertilidad y conservación. [En línea]. Chinchiná : CENICAFÉ : FNC : Fundación Manuel Mejía : SENA, 2005. Disponible internet: Esp. (CD-ROM).

- SADEGHIAN K., S.; GONZÁLEZ O., H. *Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de levante*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2012. 4 p. (Avances Técnicos No. 423).
- SADEGHIAN K., S.; GONZÁLEZ O., H. *Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2012. 8 p. (Avances Técnicos No. 424).
- SADEGHIAN K., S.; HERNÁNDEZ G., E.; GONZÁLEZ O., H. *Mezcla de fertilizantes en la finca, una buena opción para el caficultor*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 8 p. (Avances Técnicos No. 362).
- SADEGHIAN K., S.; HERNÁNDEZ G., E.; ROSS, M.; GUERRERO R., R. *Fuentes solubles de magnesio y azufre en la producción y calidad del café*. Bogotá : Congreso colombiano de la ciencia del suelo, 2006. 7 p.
- 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.
- SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; ARCILA P., J. *Composición elemental de los frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2007. 8 p. (Avances Técnicos No. 364).
- SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; GONZÁLEZ O., H. *Acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio por los frutos de café*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2013. 8 p. (Avances Técnicos No. 429).
- SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; GONZÁLEZ O., H. *Acumulación de calcio, magnesio y azufre por los frutos de café*. Chinchiná : CENICAFÉ, 2013. 8 p. (Avances Técnicos No. 430).
- SALAZAR G., L.F.; SADEGHIAN K., S. *Respuesta del café a la fertilización antes y después de la renovación por zoca*. En: Congreso colombiano de la ciencia del suelo (15 : Octubre 27-29 2010 : Pereira). Pereira : SCCS, 2010. 5 p.
- UNITED NATIONS. *Industrial development organization. Fertilizer manual*. Dordrecht : UNIDO : IFDC, 1998. 615 p.
- URIBE H., A. *Efecto del fósforo en la producción de café*. Cenicafé 34(1):3-15. 1983.
- URIBE H., A.; SALAZAR A., J.N. *Influencia de la pulpa del café en la producción del cafeto*. Cenicafé 34(2):44-58. 1983.
- VALARINI, V.; BATAGLIA, O.C.; FAZUOLI, L.C. *Macronutrientes em folhas e frutos de cultivares de café arábica de porte baixo*. Bragantia 64(4):661-672. 2005.
- VALENCIA A., G. *Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto*. Chinchiná : CENICAFÉ : Agroinsumos del café, 1999. 94 p.
- VALENCIA A., G.; ARCILA P., J. *Efecto de la fertilización con N, P, K a tres niveles en la composición mineral de las hojas del cafeto*. Cenicafé 28(4):119-138. 1977.
- ZAPATA H., R.D. *Química de la acidez del suelo*. Cali : Cargraphics, 2004. 208 p.