



# MANEJO INTEGRADO DE NUTRIENTES PARA UNA CAFICULTURA SOSTENIBLE

Siavosh Sadeghian Khalajabadi<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup> Centro Nacional de  
Investigaciones de  
Café-CENICAFÉ

✉  
Siavosh.Sadeghian  
@cafedecolombia.com

**Palabras clave:**  
Cultivo de café, balance de  
nutrientes, fertilidad del  
suelo, fertilizantes

## RESUMEN

*La caficultura, con más de 970.000 ha, representa la principal actividad agrícola en Colombia. Hoy día más de 560 mil familias derivan parcial o totalmente sus ingresos del café y un número considerable de personas invierten su fuerza laboral en su cultivo. La producción sostenida de café a largo plazo depende del manejo eficiente y sostenible de los recursos, siendo uno de los puntos más sensibles el suelo, con particular interés la fertilidad de éste y la nutrición mineral. Una estrategia para producir de manera respetuosa con el ambiente es el Manejo Integrado de Nutrientes-MIN, técnica que busca optimizar el uso de los elementos requeridos por las plantas mediante la protección del suelo, la conservación de los nutrientes y el suministro apropiado de todos los elementos esenciales mediante el empleo de abonos orgánicos e inorgánicos. Adicionalmente, el MIN se orienta a unir los esfuerzos de los diferentes actores en la cadena productiva: agricultores, investigadores, extensionistas, agentes del gobierno y ONG's. En el siguiente documento se abordan algunos aspectos del MIN, a partir de experiencias de investigaciones desarrolladas por Cenicafé.*

## INTEGRATED NUTRIENT MANAGEMENT FOR A SUSTAINABLE COFFEE GROWING

**Key words:**  
coffee cropping, nutrient  
balance, soil fertility,  
fertilizers

## ABSTRACT

*Coffee growing represents the main agricultural activity in Colombia, with more than 970,000 ha destined for it. Today, more than 560 thousand families obtain their incomes, either partially or completely from coffee, and a considerable number of people invest their workforce in its cultivation. The continued long term production of coffee depends of the efficient and sustainable handling of the resources, especially the soil, with emphasis in its fertility and mineral nutrition. A strategy for an environmentally respectful production is the integrated nutrient management-INM. This technique looks to optimize the use of the plant's required elements through the protection of the soil, the conservation of nutrients, and the appropriate supply of all the essential elements, using organic and inorganic fertilizers. Additionally, the INM is oriented towards uniting the efforts of the different actors of the productive chain: farmers, investigators, extension workers, government agents and NGO's. The following document deals with some aspects of the INM, from investigation experiences developed by Cenicafé.*

SUELOS  
ECUATORIALES  
44 (2): 74-89

ISSN 0562-5351

## INTRODUCCIÓN

Históricamente el café (*Coffea arabica* L.) ha representado uno de los renglones agrícolas más importantes en Colombia; consideración que trasciende de lo económico a lo social, cultural y ambiental. Cerca de 560.000 familias obtienen ingresos del cultivo del café y en el proceso de producción, principalmente la recolección, se genera gran cantidad de mano de obra.

Colombia ocupa el tercer puesto en la producción del grano después de Brasil y Vietnam, y el primero en cafés suaves tipo arábico. Entre los años 2008 y 2012 la producción nacional pasó de 11'478.000 a 7'744.000 sacos de café verde, como consecuencia de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix*) y los cambios climáticos (exceso de lluvia y baja luminosidad). Luego de renovar las plantaciones afectadas con variedades resistentes, aumentar las densidades de siembra y establecer plantaciones en áreas nuevas (96.000 ha), en el 2013 se produjeron 10'900.000 sacos. De acuerdo a las proyecciones, se espera que en los próximos tres años la producción nacional aumente entre dos y tres millones de sacos.

Uno de los aspectos importantes para alcanzar, sostener, e incluso superar la meta trazada es la nutrición de las plantaciones. La implementación correcta de prácticas que conduzcan al logro de este propósito aumenta la productividad y la rentabilidad del negocio, mejora la fertilidad del suelo y ayuda a conservar el medioambiente; en contraste, el ejercicio de labores inapropiadas conlleva a resultados contrarios. En este sentido, el desafío de producir de manera respetuosa con el ambiente requiere del entendimiento profundo de la nutrición de los cafetales, como un componente de los programas sostenibles de producción, junto con la conservación del suelo, la gestión eficaz del agua, el mejoramiento de variedades y el manejo integrado de plagas y enfermedades, entre otros. Bajo este enfoque, el Manejo Integrado de Nutrientes-MIN busca optimizar el uso de los nutrientes requeridos por las plantas desde los puntos de vista agronómico, económico y ambiental (Alley y Vanlauwe, 2009).

## ESTRUCTURA CAFETERA. SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

El área dedicada al cultivo de café en Colombia — 950.000 ha— se encuentra ubicada principalmente sobre las tres cordilleras de los Andes y la Sierra Nevada de Santa Marta, con representación en 21 departamentos y 588 municipios. Como una consecuencia de esta amplia distribución se genera una considerable diversidad tanto en condiciones edáficas y climáticas como en rasgos étnicos; dando

así origen a paisajes contrastantes y sistemas particulares de producción en las diferentes regiones. Las mayores diferencias se relacionan con la variedad, densidad y arreglo de siembra, manejo de sombrero, arvenses, plagas y enfermedades, tipos de renovación, aplicación de fertilizantes y enmiendas, control de la erosión, manejo de problemas físicos del suelo y cultivos asociados, entre otros.

De acuerdo al Sistema de Información Cafetera-SICA, en la actualidad cerca del 95% del área total cultivada se encuentra bajo sistemas tecnificados, los cuales corresponden a plantaciones de las variedades Caturra, Colombia, Castillo y Tabi, establecidas con densidades superiores a 2.500 plantas por ha (en su mayoría entre 4.000 y 6.000), tanto al sol (58%), como bajo semisombra (34%) o sombrero denso (9%). El restante 5% corresponde a cafetales tradicionales, en donde prevalecen las variedades Típica y Caturra, sembradas sin trazo y con una población inferior a 2.500 plantas por ha, bajo sombrero no regulado. En cuanto a la roya se refiere, el 37% es susceptible a esta enfermedad y el restante 63% resistente (variedades Colombia y Castillo).

## NUTRICIÓN. FACTOR DETERMINANTE DE LA PRODUCCIÓN

La expresión fenotípica de cualquier planta, medida en términos de variables como producción, calidad y resistencia a condiciones de estrés (debido a factores como sequía, plagas, enfermedades y arvenses), depende del carácter genético del material (especie, cultivar), en interacción con el clima, suelo y sistema de manejo. Tratándose de especies perennes como café, el productor generalmente no cambia el genotipo en menos de 10 a 15 años, es decir el tiempo en el cual se renuevan las plantaciones por siembras. En razón de ello, una vez seleccionada la planta (variedad) y el sitio (suelo y clima), el reto de los productores consiste en identificar aquellos factores que impiden alcanzar el máximo rendimiento potencial, con el fin de reducir su efecto mediante manejo, sin perder de vista los aspectos económicos y ambientales.

Además, es necesario tener en cuenta que algunos de los factores en mención no son controlables o, por lo menos, no del todo; tampoco se debe olvidar que éstos actúan de manera inter-dependiente; de allí la dificultad que a veces se tiene en reconocer el efecto de cada uno por separado. Entre los aspectos de interés está la demanda de nutrientes en cada una de las etapas fenológicas del cultivo, la cual varía a su vez según la variedad, las condiciones del clima, las características del suelo y el manejo de la plantación.

### Requerimientos nutricionales del café.

Durante la fase de almácigo —desde la siembra de la plántula hasta 4-6 meses después— una planta de Variedad Castillo puede extraer del suelo/sustrato las siguientes cantidades de nutrientes (mg): 72,66 a 157,60 de N; 20,15 a 29,94 de P; 137,99 a 211,18 de K; 34,19 a 35,46 de Ca; 15,87 a 20,49 de Mg; 7,67 a 22,11 de Fe; 0,91 a 1,23 de Mn; 0,24 a 0,32 de Zn; 0,15 a 0,17 de Cu y 0,13 a 0,16 de B (Sadeghian y González, 2012). En la fase de establecimiento del cultivo en el campo y hasta el inicio de la primera cosecha —aproximadamente 22 meses después de la siembra del almácigo— el crecimiento de la planta es lento y, en razón de ello, extrae del suelo cantidades relativamente bajas de nutrientes. Riaño *et al.* (2004) reportan los siguientes rangos de valores para una planta de la variedad Colombia, desarrollada a plena exposición solar (g): 8,6 a 12,5 de N, 0,6 a 2,7 de P, 7,6 a 25,3 de K, 3,9 a 10,6 de Ca y 1,2 a 2,1 de Mg. Al iniciar la fase reproductiva se incrementa la tasa de crecimiento y la acumulación de nutrientes, hasta alcanzar los siguientes valores a los 5,5 años ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ): N 547, P 51, K 508, Ca 234 y Mg entre 59 y 117 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, tallo, raíces y flores. De acuerdo con Sadeghian *et al.* (2006) la cantidad de macronutrientes removidos por 1.000 kg de café almendra —equivalentes a 5.525 kg de café cereza o 1.250 kg de café pergamino seco—, representa (kg): N 30,9; P 2,3; K 36,9; Ca 4,3; Mg 2,3 y S 1,2. La extracción de los micronutrientes por el fruto corresponde a (g): Fe 107, Mn 61, B 50, Cu 33 y Zn 18.

### Ciclaje y balance de nutrientes.

La disponibilidad de cualquier nutriente está relacionada con su concentración en la solución del suelo y la fracción que rápidamente puede pasar a esta fase durante las diferentes etapas del desarrollo del cultivo. De acuerdo con Álvarez (1994), la **disponibilidad real** de un nutriente, es decir la cantidad que puede absorber el cultivo durante el ciclo vegetativo, resulta del balance entre las ganancias/entradas y las pérdidas/salidas que ocurren en el sistema. Una aproximación al tema para el cultivo de café se presenta en la Tabla 1. No sobra

resaltar que tanto la cantidad como el balance de cada elemento son propios de cada sistema de producción y cambian con el tiempo según el clima, las propiedades del suelo, las especies presentes y sus particularidades (arquitectura, fase de desarrollo y sistema radical, entre otras).

La diferencia entre las cantidades ingresadas y las pérdidas constituye el **balance de nutrientes**. Un balance positivo, es decir cuando las adiciones del nutriente son mayores que las cantidades removidas del suelo, indicaría que el sistema puede ser eficiente y, en casos extremos, que puede haber contaminación ambiental. En contraste, balances negativos bien podrían indicar que los suelos están siendo minados, y que el sistema es insostenible a largo plazo. En este último caso, será necesario reponer los nutrientes con el fin de mantener la producción y la fertilidad del suelo en el futuro (Gruhn *et al.*, 2000).

## FERTILIDAD DEL SUELO, FERTILIZACIÓN Y FERTILIZANTES

### Fertilidad del suelo.

En un sentido amplio se acepta que la fertilidad del suelo hace referencia a la capacidad del medio edáfico para retener, reciclar y suministrar nutrientes esenciales que demandan las plantas para su crecimiento y desarrollo durante largos períodos de tiempo (años). Esta definición va más allá del contenido de los nutrientes, pues incluye la actividad de los organismos del suelo (micro, meso y macrofauna), la cantidad y tipo de minerales arcillosos, la aireación y otras propiedades y procesos biológicos, químicos o físicos. Todos estos factores, en combinación con los regímenes de temperatura y precipitación, afectan la cantidad y tasa de suministro de nutrientes a las especies vegetales (Alley y Vanlauwe, 2009).

El suelo constituye la despensa de nutrientes para las plantas; sin embargo, en la mayoría de las ocasiones las reservas contenidas en éste no son suficientes para satisfacer por completo la demanda que tienen los cafetales tecnificados. En estas plantaciones, la carencia nutricional genera normalmente reducciones en la producción hasta del 55% (Tabla 2), en casos severos el rendimiento puede disminuir en más del 80%. Un ejemplo de este último ocurre con el nitrógeno cuando los suelos son pobres en materia orgánica (Figura 1).

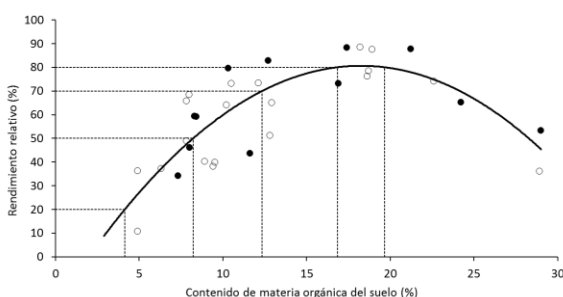
**Tabla 1.** Una aproximación a la disponibilidad de nutrientes para el cultivo de café, expresada como el balance entre las pérdidas y las ganancias que ocurren en el sistema.

Ganancias anuales	Pérdidas anuales
<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Por fertilizantes y cales (kg.ha<sup>-1</sup>):</b> 0 a 300 de N y K<sub>2</sub>O; 0 a 60 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y de MgO y S, 0 a 3 de B y Zn, 0 a 700 de CaO (Sadeghian <i>et al.</i>, 2007).</li> <li>- <b>Por 2.700 kg de pulpa de café (kg)*:</b> 10,2 de N; 0,61 de P; 19,8 de K; 1,6 de Ca; 0,48 de Mg y 0,13 de S (Sadeghian <i>et al.</i>, 2007).</li> <li>- <b>Por la descomposición de hojarasca (4,5 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) en cafetal a libre exposición solar (kg):</b> 95 de N; 6,6 de P; 45,7 de K; 66,2 de Ca; 10,3 de Mg; 0,95 de Fe; 1,1 de Mn; 0,06 de Zn y 0,24 de B (Cardona y Sadeghian, 2005).</li> <li>- <b>Por la lluvia (kg.ha<sup>-1</sup>):</b> 32,5 a 36,0 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 9,9 a 13,3 de K; 27,9 a 75,0 de Ca y 8,6 a 19,5 de Mg (Jaramillo (2003).</li> <li>-</li> <li>- <b>Por leguminosas como abono verde (kg.ha<sup>-1</sup>):</b> 128 a 154 de N; 14 a 17 de P; 96 a 127 de K; 19 a 25 de Ca y 7 a 9 de Mg (Jiménez <i>et al.</i>, 2005).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Por la remoción de la cosecha-1.250 kg de café pergamino seco (kg):</b> 30,9 de N; 2,3 de P; 36,9 de K; 4,3 de Ca; 2,3 de Mg; 1,2 de S; 0,107 de Fe; 0,061 de Mn; 0,018 de Zn; 0,033 g de Cu y 0,050 de B (Sadeghian <i>et al.</i>, 2006).</li> <li>- <b>Por la volatilización de N ureico:</b> 0 a 35% de la cantidad aplicada (Leal <i>et al.</i>, 2007).</li> <li>- <b>Por la erosión y escorrentía (kg.ha<sup>-1</sup>):</b> 0,99 a 1,03 de nitratos; 0,64 a 7,54 de otras formas de N; 0,06 a 0,08 de P; 1,12 a 2,14 de K; 2,04 a 4,71 de Ca; 2,12 a 5,09 de Mg. Suárez De C. y Rodríguez (1962).</li> <li>- <b>Por la lixiviación (medida bajo condiciones de laboratorio):</b> entre 23% a 44% de N aplicado, entre 30% y 97% de K y hasta el 9% de P (Arias, 2008).</li> </ul>

\*Cantidad generada por la producción de 100 arrobas (1.250 kg) de café pergamino seco.

**Tabla 2.** Reducción porcentual de la producción a través de tiempo, debido a la omisión del suministro de nutrientes en cinco Estación Experimental de Cenicafé. (Sadeghian, 2010).

Estación Experimental	Reducción en la producción (%)			Promedio
	Año 2002	Año 2003	Año 2004	
La Catalina (Risaralda)	13	43	45	33
Líbano (Tolima)	22	18	26	22
Naranjal (Caldas)	43	41	55	46
El Rosario (Antioquia)	46	34	29	36
El Tambo (Cauca)	0	20	53	23



**Figura 1.** Relación entre el contenido de la materia orgánica del suelo y el rendimiento relativo de café al sol (○) y bajo semisombra (●). Tomado de Sadeghian (2010).

**Fertilización.**

El crecimiento y el desarrollo de los cafetales, y por ende su producción y rentabilidad, depende 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, sequía y otras condiciones adversas. En concordancia con lo anterior, la práctica de fertilización tiene como objetivo mantener o aumentar la fertilidad del suelo para que las plantas se nutran. Para lograr este objetivo se emplean abonos orgánicos e inorgánicos, así como microorganismos que ayudan a corregir las deficiencias o excesos, debido a la naturaleza del material parental, al clima y al uso y manejo del suelo, de acuerdo con las exigencias de los cultivos y el potencial de la productividad del sitio. Teniendo en cuenta el concepto de la fertilidad del suelo, Malavolta (2006) define la ecuación general de la fertilización así:

$$E (\text{fertilizante}) = [E (\text{requerimiento}) - E (\text{suministro})] \times f \quad <1>$$

en donde:

E = Elemento (macro o micronutriente)

**Requerimiento** = necesidad del cultivo para producción y calidad  
**Suministro**: capacidad del suelo para suplir macro y micronutrientes resultantes de la fertilidad

f = factor mayor que 1,0 para compensar las pérdidas por volatilización (N, S), lixiviación (N, K, S, B, Cl), inmovilización (N, S) y fijación (P y micronutrientes).

En general, el aumento en la dosis de un elemento se traduce en incrementos proporcionales (lineales) de su contenido en el suelo, no así la respuesta de los cultivos, la cual sigue una tendencia decreciente; es decir que las ganancias adicionales en producción se hacen cada vez menores, lo que se ha denominado la

“ley de los rendimientos decrecientes”, como se ilustra en la Figura 2 para potasio en café. Nótese que los mayores aumentos en el rendimiento se logran con las primeras dosis, así como las ganancias económicas más elevadas.

Con base en los resultados de investigaciones desarrolladas por Cenicafé, y como una guía general, en la Tabla 2 se presentan las recomendaciones para la fertilización con nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio en cafetales tecnificados, según los resultados de análisis de suelos.

Además de la fertilidad del suelo, otros dos factores han sido tenidos en cuenta para ajustar la dosis de nutrientes en cafetales: el sombrío y la densidad de siembra. El establecimiento de la sombra —bien sea para menguar el efecto de los períodos

prolongados de sequía o como componente de la producción de cafés especiales— generalmente reduce la producción y la respuesta a la fertilización (Figura 3). En cuanto a la densidad de siembra, el incremento de la producción en función del número de plantas o tallos por ha obedece a una tendencia de tipo cuadrático (Figura 4). Con base en las combinaciones que resultan de las categorías de fertilidad del suelo, niveles de sombra y densidad de plantas, se propone realizar ajustes a las dosis sugeridas de nutrientes (Tabla 3). Las dosis que se derivan de estas combinaciones tienen inmerso el factor  $f$  de la ecuación <1>, pues resultan de experimentos de campo; sin embargo, esto no quiere decir que la eficiencia de la labor no se podrá mejorar con ciertos cuidados.

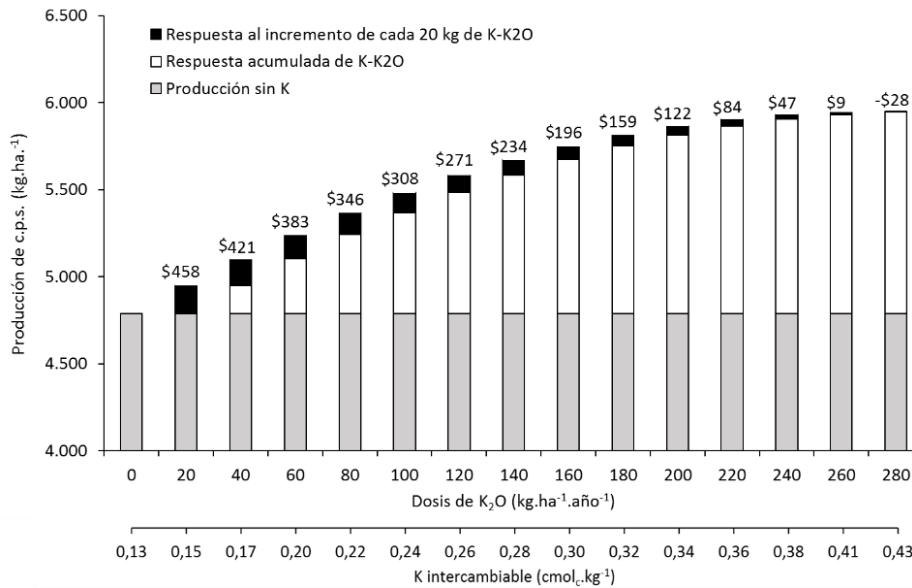


Figura 2. Respuesta de café a las dosis crecientes de potásico.

Los valores sobre las barras indican la ganancia neta en dólares por cada 20 kg de K<sub>2</sub>O aplicados. Supuestos: i) precio de café pergamino seco=2,8 dólares.kg<sup>-1</sup>, ii) precio K<sub>2</sub>O=1,2 dólares.kg<sup>-1</sup>. Adaptado de Sadeghian (2010).

Tabla 2. Guía general para la fertilización de cafetales con bajo nivel de sombra y altas densidades de siembra, según los resultados de análisis de suelos.

Rangos de fertilidad del suelo											
Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Nitrógeno			Fósforo			Potasio			Magnesio		
dosis de N (kg.ha <sup>-1</sup> )			Dosis de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg.ha <sup>-1</sup> )			Dosis de K <sub>2</sub> O (kg.ha <sup>-1</sup> )			Dosis de MgO (kg.ha <sup>-1</sup> )		
300	280	260	60	40	20	300	260	180	60	40	15

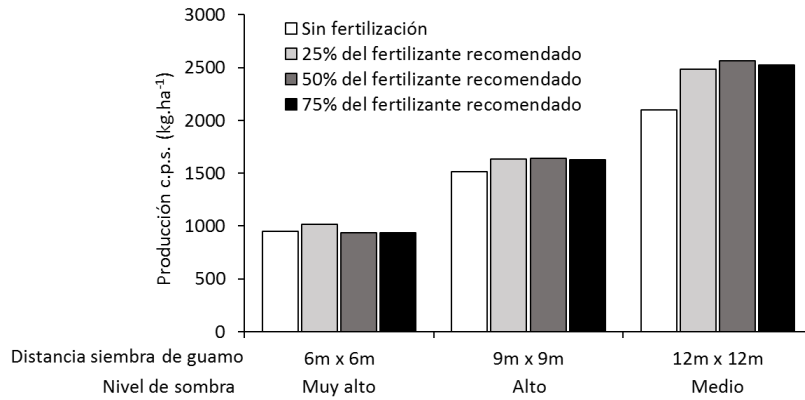


Figura 3. Producción de café pergamino seco-c.p.s., en respuesta a niveles de fertilización (0, 25, 50 y 75% de la dosis recomendada según análisis de suelos) y de sombrío, en Chinchiná, Caldas. Tomado de Farfán y Mestre (2004).

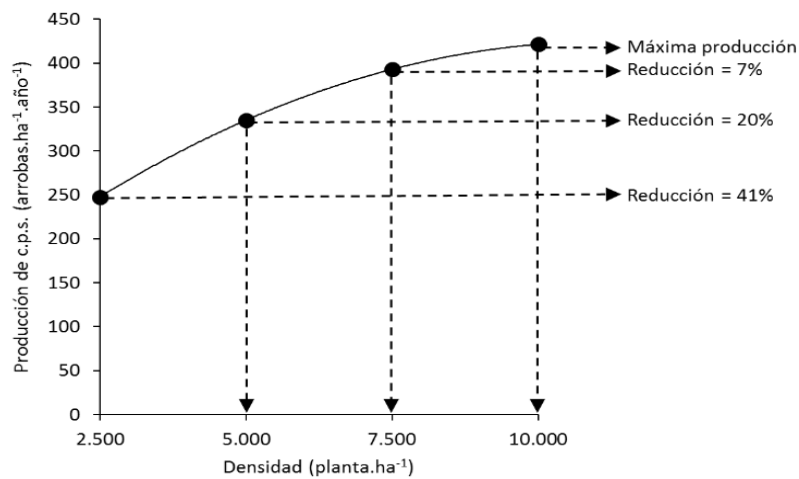


Figura 4. Producción de café pergamino seco-c.p.s., en respuesta a la densidad de siembra (Uribe y Mestre, 1988). Una arroba=12,5 kg.

Tabla 3. Factores para ajustar la dosis de nutriente según el nivel de sombra y la densidad.

Nivel de sombra	Densidad (plantas o tallos.ha <sup>-1</sup> )		
	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

\* Criterio base. Tomado de Sadeghian (2008). Nota: Se deben multiplicar las recomendaciones sugeridas en la Tabla 2 para cafetales con altas densidades y muy bajo sombrío por el factor de ajuste.

Una vez resuelta la ecuación de la fertilización en cuanto a la **dosis**, quedan por definir tres aspectos más: **la fuente**, **la época** y **la localización** del nutriente, los cuales son altamente específicos a cada sitio (Bruulsema *et al.*, 2008). De manera paralela al anterior proceso, se deben revisar la rentabilidad y los efectos ambientales y sociales de la fertilización. Adicionalmente, y con el fin de aumentar la eficiencia de la fertilización, será necesario integrar el suministro

de nutrientes con otros factores y cuidados, pues cada vez que se optimice uno de éstos, el factor  $f$  de la ecuación general de la fertilización se aproxima más a 1,0. Estos incluyen:

- Preparación adecuada del suelo
- Prácticas de conservación
- Enmiendas para el manejo de la acidez
- Variedades eficientes y productivas

- Establecimiento en las épocas adecuadas
- Siembra impecable
- Sol y agua
- Manejo de arvenses
- Control de plagas
- Control de enfermedades
- Nutrientes balanceados
- Prácticas culturales adecuadas y oportunas
- Cuidado en la cosecha

### Fertilizantes.

La actividad cafetera emplea anualmente entre 280 y 320 mil t de fertilizantes de síntesis química; cantidad que representa el 18% del volumen total comercializado en el país (1'600.000 t), y sitúa al renglón cafetero como el mayor consumidor de este insumo junto con la palma (Tabla 4). Pese a lo anterior, el café es el cultivo con menor uso de fertilizantes por unidad de área en Colombia, pues en promedio se aplican sólo 364 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>. Esta cantidad presenta variaciones considerables según la región, nivel de tecnificación, etapa fenológica, sistema de producción, densidad de siembra y sombrero, entre otros. Basta saber que en ocasiones se suministran más de 3.000 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, sin que existan criterios claros que definan esta cantidad, y a veces se aplican dosis muy bajas o no se fertiliza. Un estudio reciente de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia-FNC revela que los caficultores aplican cerca de la mitad de los requerimientos del cultivo, siendo más crítica la situación para algunos departamentos. En café, cerca del 35% del volumen total empleado corresponde a fertilizantes tipo complejo granulado (principalmente 17-6-18-2), el 40% resultan de mezclas físicas (en su mayoría a base de urea, MAP/DAP, KCl y Kieserita/K-Mag) y el restante 25% a fuentes simples.

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 tiene un costo cercano a los 350 mil millones de pesos anuales (150 millones de dólares).

En cuanto a los abonos orgánicos se refiere, como es de esperarse, la principal fuente es la pulpa de café. En el país se generan cerca de 4'500.000 t de este material al año, las cuales pueden llegar a aportar las siguientes cantidades de nutrientes: 7.366 t de N, 1.022 t de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 17.165 t de K<sub>2</sub>O. Si las anteriores cifras se expresan en términos de los fertilizantes comerciales como urea, DAP y KCl, su costo estaría cerca de los 80 mil millones de pesos.

**Tabla 4.** Estimación del consumo de fertilizantes en Colombia para algunos cultivos durante el año 2013.

Cultivo	Consumo (miles de t)	Área (ha)	Consumo (kg.ha <sup>-1</sup> )
Café	300	823.700	364
Palma	294	400.000	735
Arroz	216	400.000	539
Papa	188	115.000	1.635
Banano	92	52.700	1.750
Frutales	119	158.200	751
Caña de azúcar	110	220.000	500
Hortalizas	99	98.000	1.005
Maíz	56	121.500	463
Plátano	45	51.600	863
Caña panelera	18	35.000	500
Algodón	16	31.000	511
Flores	15	6.000	2.500

### PÉRDIDA DE LA FERTILIDAD DEL SUELO

Las prácticas culturales aplicadas durante largos periodos de tiempo —en ocasiones más de 70 años—, han modificado la fertilidad natural de los suelos. En muchas ocasiones el balance tiende a ser negativo; siendo los aspectos más críticos la erosión y la degradación química, en especial la acidificación. Lo anterior debe conducir a estrategias que generen conciencia sobre los efectos del manejo inapropiado de este recurso, en especial cuando los daños son irreversibles. Cabe recordar que: “*un suelo productivo siempre es un suelo fértil, pero un suelo fértil no siempre es productivo*”. Por lo tanto, un plan adecuado de nutrición debe ir necesariamente de la mano con prácticas de conservación y mejoramiento de la calidad de los suelos.

#### Erosión y escorrentía.

Las pérdidas por erosión varían según las propiedades del suelo, la pendiente del terreno, la precipitación y la cobertura. Aunque en el proceso de la erosión también se pierden nutrientes, generalmente se prefiere hacer referencia a las pérdidas del suelo como tal, dado su mayor impacto ambiental y económico. Por ejemplo, en los andisoles de la zona cafetera de Colombia, con pendiente del 60% y precipitación anual promedio de 2.600 mm, se pierden entre 50 y 3.600 kg.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> de suelo, según el sistema de manejo (tipo y nivel de sombra, densidad de siembra, presencia de arvenses o de *mulch* y prácticas de conservación de suelos, entre otros) (Cenicafé, 1982). El proceso más directamente relacionado con el transporte y la pérdida de los elementos es la escorrentía, cuya magnitud también varía de acuerdo a los factores antes mencionados (Tabla 5).

### Acidez y acidificación.

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 veinte años (Tabla 6), un alto porcentaje de las muestras evaluadas presenta problemas potenciales ( $\text{pH} < 5,0$  y  $\text{Al}^{3+} > 1,0 \text{ cmol}_c.\text{kg}^{-1}$ ). Aunque la acidificación del suelo y la subsecuente pérdida de bases intercambiables ocurre de manera natural, su magnitud se intensifica con el uso de los fertilizantes, en especial los que contienen o generan amonio- $\text{NH}_4^+$ , en especial la urea. La aplicación de dosis altas de

nitrógeno ( $300 \text{ kg}.\text{ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ ) vía urea, normalmente reduce el pH sólo en 0,2 unidades, pero el incremento del  $\text{Al}^{3+}$  y la pérdida de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  puede representar cerca del 30% para cada elemento (Figura 5). Una propiedad importante a tener en cuenta es la Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva-CICE, pues en suelos de carga variable, como son la mayoría en la zona cafetera del país, sus valores se reducen con la disminución del pH. Lo anterior, sumado a la presencia del  $\text{Al}^{3+}$  en los sitios de intercambio, aumenta las pérdidas por lixiviación de las bases intercambiables, reduciendo la eficiencia de la fertilización.

**Tabla 5.** Valores promedio de escorrentía y nutrientes perdidos a través de este proceso en cuatro sistemas de uso y manejo en la zona cafetera central de Colombia.

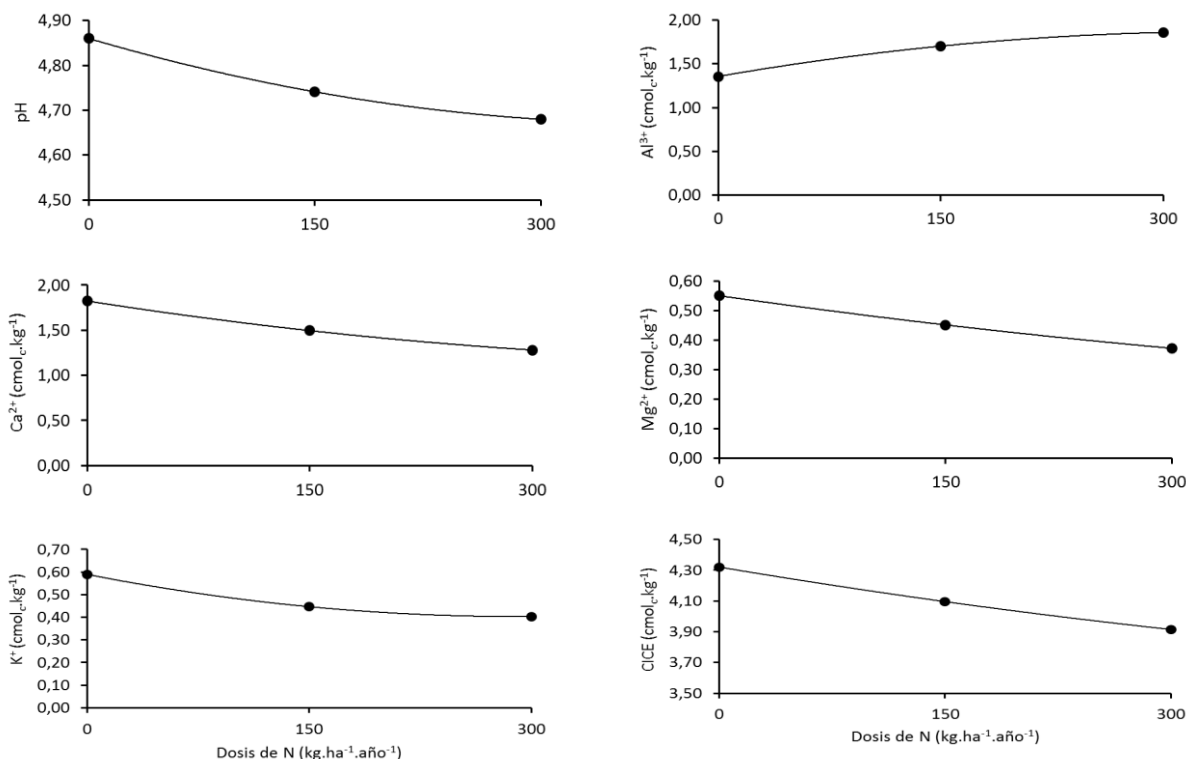
Cobertura	Escorrentía	Nitratos	Otras formas de N	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Total
	(mm)							
Suelo desnudo	1.730	6,95	18,29	0,98	24,03	238,63	151,66	440,54
Potrero	517	2,46	4,12	0,15	5,58	24,84	26,39	63,54
Cafetal joven	190	1,03	7,54	0,06	2,14	4,71	5,09	20,57
Cafetal viejo	59	0,99	0,64	0,08	1,12	2,04	2,12	6,99

Tomado de Suárez De C. y Rodríguez (1962). Promedio de tres años.

**Tabla 6.** Porcentaje de muestras de suelo analizadas con problemas potenciales de acidez, en algunos departamentos de Colombia. (Sadeghian, 2013).

Departamento	Número de muestras analizadas	% de muestras con valores de $\text{pH} \leq 5$	% 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





**Figura 5.** Cambios en la acidez, CICE y bases intercambiables en respuesta a la fertilización nitrogenada vía urea. Datos sin publicar. Promedio de ocho Estaciones Experimentales de Cenicafé.

## MANEJO INTEGRADO DE NUTRIENTES

El aumento creciente en la demanda de café, al igual que los demás productos agrícolas, se satisface básicamente por dos vías, una mediante la incorporación de nuevas áreas, las cuales cada vez se hacen más reducidas, y otra a través del incremento del rendimiento en las tierras que actualmente se encuentran cultivadas. En ambos casos, el cumplimiento sostenido de la meta de producción a largo plazo dependerá del manejo eficiente y sostenible de los recursos, siendo uno de los puntos más importantes el suelo, con particular interés la nutrición mineral. Al respecto, será necesario tener presente que la fertilización por sí sola no garantiza las mayores producciones. Para lograr este propósito se debe llevar a cabo un plan adecuado de nutrición, integrado a las demás prácticas culturales; procedimiento enmarcado dentro de Buenas Prácticas de Manejo-BPM. En muchas ocasiones se obtienen interacciones positivas y sinergismos entre los insumos y las prácticas (agua, fertilizantes, plaguicidas, poda, etc.), es decir que el efecto de dos o más insumos y prácticas empleados de manera

conjunta puede ser mayor que la suma de las respuestas individuales (SICCPHA, 2004).

El Manejo Integrado de Nutrientes-MIN busca mantener, y de ser posible mejorar, la fertilidad de los suelos con el fin de sostener/aumentar la productividad de los cultivos, al tiempo que se protege el medio ambiente para las futuras generaciones. El MIN, como técnica, incorpora estrategias conducentes a proteger el suelo, conservar los nutrientes y suministrar apropiadamente todos los elementos esenciales que demandan las plantas mediante el empleo de abonos orgánicos e inorgánicos, además de enmiendas y microorganismos. El éxito del MIN depende de los esfuerzos mancomunados de los agricultores, los investigadores, los agentes de extensión agrícola, los gobiernos y las organizaciones no gubernamentales (Gruhn *et al.*, 2000).

### Aplicación de nutrientes necesarios en forma balanceada.

Uno de los pilares fundamentales del MIN es la aplicación balanceada de nutrientes a través de fertilizantes apropiados. Ello se logra cuando se definen la dosis y la fuente requeridas para alcanzar el

óptimo crecimiento del cultivo bajo condiciones agroclimáticas particulares a través de un manejo por sitio específico. Tanto la sobre-fertilización como la sub-dosificación de los abonos afectan la sustentabilidad de la actividad agrícola; en el primer caso debido a los costos innecesarios y la contaminación ambiental, y en el segundo, por los menores ingresos y la desprotección del suelo a los agentes erosivos en consecuencia de un menor crecimiento de las plantas.

La Figura 6 revela, como ejemplo, que para alcanzar las mayores producciones de café se debe establecer un balance en la cantidad suministrada de nitrógeno y potasio; de modo similar, la Figura 7 indica que el suministro de potasio interfiere con la absorción de magnesio, de allí los cuidados a tener en cuenta al momento de seleccionar la cantidad de cada nutriente.

García y González (2010) proponen tener en cuenta el balance de nutrientes como uno de los indicadores para evaluar las Buenas Prácticas de Manejo-BPM en el uso de los fertilizantes. En concordancia con lo planteado, estos autores indican que en el sistema suelo-planta los balances pueden considerarse a distintas escalas de tiempo y espacio; por lo tanto, un esquema de balances parciales busca estimar las entradas y salidas de los nutrientes en el suelo durante cierto periodo. Un ejemplo de lo anterior, aplicado al cultivo de café en Colombia (Tabla 7), sugiere que en el año 2013 el aporte de nutrientes vía fertilización fue mayor que la extracción por la cosecha y, por lo tanto, el balance fue positivo. Este ejercicio puede involucrar a las demás entradas y salidas del sistema (Tabla 1), y aplicarse a diferentes escalas de detalle (lote, finca, región, etc.). Por último, se debe aclarar que el concepto de una dosis de fertilizante para el mantenimiento de la fertilidad del suelo o reposición de los nutrientes removidos por la cosecha, se aplicaría más a elementos como P, Ca, Mg y K, antes que N o S, dado que la fuente principal de estos dos últimos es la materia orgánica del suelo y, en razón de ello, la alternativa de manejo estaría más dirigida a este componente.

En el mercado nacional se ofrece una gama relativamente amplia de productos fertilizante y enmiendas, y aunque en su mayoría son de buena calidad, no siempre resulta fácil para el caficultor seleccionar las fuentes más adecuadas; bien sea por la falta de elementos de juicio, debido al factor económico o por la influencia que ejerce la fuerza de venta sobre sus decisiones.

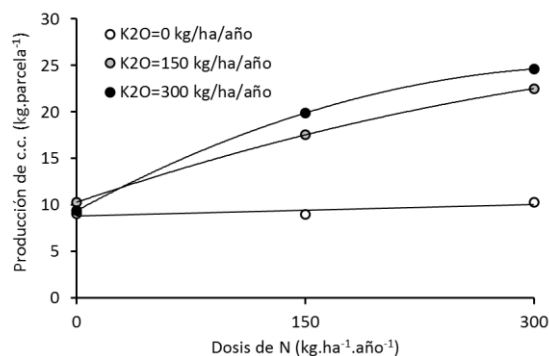


Figura 6. Producción de café cereza-c.c. en respuesta a dosis de nitrógeno y potasio, obtenida en la Estación Experimental San Antonio (Florida Blanca, Santander). Datos sin publicar.

### Conservación y toma de nutrientes.

Un segundo componente del MIN se relaciona con la conservación del suelo y de los nutrientes mediante alternativas que disminuyan su pérdida en procesos como erosión, escorrentía, lixiviación y volatilización. Para ello, Kumwenda *et al.*, (1996), citados por Gruhn, *et al.* (2000), proponen enfocar los esfuerzos en tres estrategias: i) prácticas relacionadas con la conservación del suelo, tales como la labranza mínima y las siembras en contorno, ii) el uso de mulch, coberturas vivas y cultivos intercalados, como barreras físicas que reducen la erosión hídrica y eólica y ayudan a mejorar la estructura y demás características del suelo y, iii) el empleo de abonos orgánicos de origen vegetal o animal a fin de que ayuden a la conservación del suelo mediante el mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológica y proporcionar nutrientes secundarios y micronutrientes

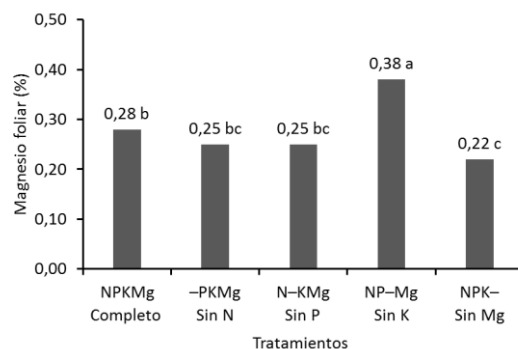


Figura 7. Concentración foliar de magnesio en respuesta a tratamientos de fertilización, definidos con base en la técnica del elemento faltante. Tomado de Sadeghian (2008).

**Tabla 7.** Balance de nutrientes para el cultivo de café en Colombia durante el año 2013.

	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>MgO</b>	<b>S</b>	<b>Zn</b>	<b>B</b>
Extracción país (t) <sup>1</sup>	20.235	3.388	28.998	1.478	791	12	33
Aporte fertilizante (t) <sup>2</sup>	63.000	12.000	57.000	6.000	6.000	150	300
Relación aplicación/remoción	3,1	3,5	2,0	4,1	7,6	12,9	9,2

1/Calculada para 10<sup>3</sup>900.000 sacos de café verde.

2/Estimada para 300.000 t de fertilizante con un grado promedio 20-4-20-2(MgO)-2(S)-0,005(Zn)-0,01(B).

El efecto de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos, sumado a las prácticas de conservación del suelo, va más allá del suministro de nutrientes o evitar que se pierdan; el enfoque se dirige al uso eficiente de los recursos, un ambiente más sano y la protección de los recursos para el futuro. La atención no debe orientarse sólo a los requerimientos inmediatos del cultivo, sino a las necesidades a mediano y largo plazo. La meta será entonces construir la fertilidad del suelo, con esfuerzos para preservarlo, junto con su capacidad productiva para otras generaciones.

La corrección de la acidez, además de crear un ambiente más propicio para el crecimiento radical —principalmente por reducir el Al<sup>3+</sup>— aumenta la disponibilidad de nutrientes y eleva la capacidad para retener las bases intercambiables en suelos de carga variable, como en la mayoría de la zona cafetera colombiana. Esta práctica tiene que soportarse necesariamente en el análisis de suelos, herramienta poco utilizada por los caficultores. Actualmente Cenicafé adelanta investigaciones para generar más información acerca de los requerimientos de la cal según tipo de suelo, fuente, forma y época de aplicación. En cuanto a la fuente se refiere, en el mercado se ofrecen muchas alternativas (mezclas de óxidos, hidróxidos, carbonatos y silicatos de Ca y Mg, además de yeso), pero para muchos de ellos se desconocen en profundidad sus ventajas comparativas para nuestras condiciones.

El empleo de abonos orgánicos y el aporte de biomasa vía hojarasca y raíces aumenta la materia orgánica del suelo, con consecuencias en sus propiedades (organismos en general, actividad biótica, estructura, porosidad, retención de humedad, CIC, acidez y nutrientes). El primer paso para alcanzar los beneficios de la materia orgánica es la protección de la misma mediante el control de la erosión, antes que su aplicación. Cabe anotar la interacción positiva que se presenta cuando un cafetal bien fertilizado aumenta el aporte de hojarasca, la que en su momento disminuye las pérdidas de erosión (por ejemplo Tabla 5).

La fertilización con fuentes de síntesis química constituye un componente importante de muchos sistemas de producción, más no el único; además, si se realiza de manera inapropiada, tendrá efectos negativos no sólo en la fertilidad de los suelos y los rendimientos, sino en la calidad de los alimentos, con efectos graves en la salud de los animales y los hombres (Voisin, 1970).

El nitrógeno-N es el nutriente más limitante en la producción de café en Colombia (Sadeghian, 2009), y quizá el más cuestionado cuando se suministra vía urea, dado que sus pérdidas por volatilización alcanzan el 30% (Leal *et al.*, 2007; González y Sadeghian, 2012). Se ha demostrado que este fenómeno se puede reducir significativamente a través de prácticas como: incorporación a 3-6 cm de profundidad, mayor dispersión, cobertura del gránulo con formaldehído, mezcla con fertilizantes de reacción ácida o aplicación en solución. Pese a lo anterior, las investigaciones desarrolladas con fuentes alternativas de N (Sadeghian, 2013) o distintas formas de aplicación (Mestre y Salazar, 1989) no indican ventajas comparativas (Sadeghian *et al.*, 2007; Sadeghian, 2013), más aún cuando incrementan los costos.

La solubilidad de los fertilizantes ha sido uno de los principales argumentos para su uso y promoción; sin embargo, no siempre los productos más solubles presentan mayores beneficios; por ejemplo, el empleo continuado de óxido de Mg —producto con una relativa baja solubilidad— puede incrementar más la concentración del elemento en el suelo y en la planta que el sulfato de Mg, en razón de su mayor residualidad y posible efecto en la acidez (Figura 8). Lo anterior refuerza la idea de que la fertilización no sólo debe atender los requerimientos inmediatos del cultivo sino las futuras necesidades, mediante la construcción de reservas a mediano y largo plazo. Por otra parte, la fertilización foliar se ha convertido en una práctica común, sin que sus bondades sean claras o probadas.

## Análisis de suelos y estado nutricional de las plantas.

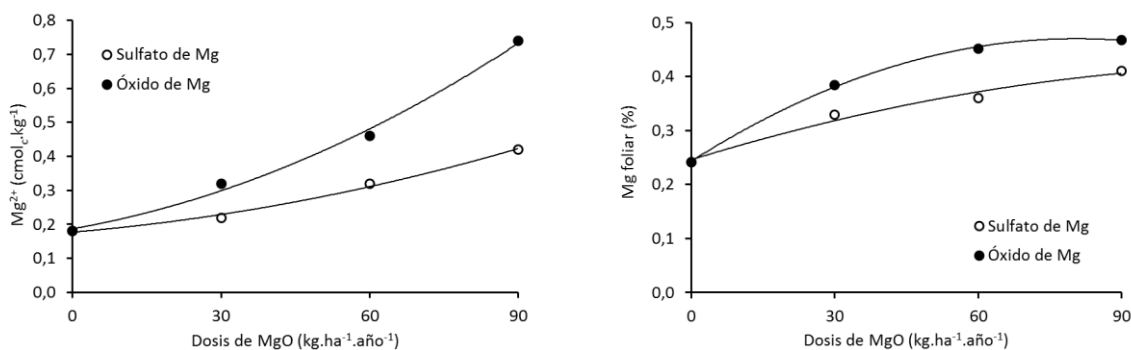
Una de las funciones del suelo es servir de almacén para los nutrientes que demandan las plantas; por lo tanto, una fertilización eficiente debe suministrar aquellos elementos esenciales que el suelo no tiene en cantidades suficientes con el propósito de satisfacer las necesidades del cultivo para alcanzar la producción que sea económicamente más rentable. Cuando las decisiones de la fertilización se soportan en los resultados de análisis de suelos y otras herramientas de diagnóstico, se reducen los riesgos económicos y ambientales, debido a que se suministran al cultivo los elementos requeridos en las cantidades adecuadas. Pese a las grandes ventajas que ofrece el análisis de suelos, en Colombia son relativamente pocos los caficultores que lo usan de manera frecuente (menos del 5%) (Sadeghian y González, 2012).

La efectividad de los planes de fertilización y encalamiento 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). En muchas ocasiones los registros de producción ayudan a evaluar la pertinencia de los planes de 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 durante varios años, lotes de una misma finca, fincas de una región, regiones de un país y diferentes países.

A través del diagnóstico visual se compara en el campo el aspecto de las plantas afectadas por la falta o exceso de uno o más elementos frente a las plantas que se consideran “normales” en cuanto a su nutrición. Para este propósito generalmente se utiliza la hoja, y en ocasiones la raíz o el fruto, según el elemento. En la Tabla 8 se presenta, como guía, la relación entre la nutrición, la producción, la frecuencia con que aparecen los síntomas de deficiencia y el respectivo diagnóstico nutricional.

El análisis foliar permite obtener mayor información acerca de la disponibilidad real de los nutrientes con el fin de solucionar problemas que ocurren en el campo. En Colombia, esta herramienta ha sido empleada principalmente en trabajos de investigación; sin embargo, no se descarta su uso para propósitos como: confirmar los síntomas visibles de deficiencias, evaluar interacciones y balances entre nutrientes y, verificar la toma de nutrientes suministrados por la planta.



**Figura 8.** Magnesio intercambiable (A) y foliar (B) en respuesta a dosis y fuentes del magnesio en un cafetal de la Estación Central Naranjal (Chinchiná, Caldas). Datos sin publicar.

**Tabla 8.** Síntomas visibles de deficiencia o toxicidad, como indicador del estado nutricional de la planta. (Sadeghian, 2013).

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

## ACTORES INVOLUCRADOS

La tarea de promover y poner en marcha estrategias conducentes a conservar y mejorar el suelo —con fines de mantener la productividad cafetera mediante una adecuada nutrición— descansa principalmente en los hombros de caficultores, Federación Nacional de Cafeteros-FNC, investigadores, extensionistas, asistentes técnicos, instituciones financieras, industria de fertilizantes y enmiendas, agentes gubernamentales y ONG's.

El conocimiento acerca del caficultor, su entorno, necesidades y recursos son insumos básicos para desarrollar tecnologías apropiadas del MIN y definir las acciones que conlleven a su adopción. Al respecto, es importante saber que cerca del 95% de los caficultores colombianos poseen menos de 5 ha de café y, por lo tanto, se consideran pequeños productores. Muchos de ellos son campesinos y derivan la mayor parte de sus ingresos a través de la producción de café, la cual tiende a ser relativamente baja, como resultado de las condiciones agroclimáticas predominantes y los sistemas de producción (exceso de sombra, bajas densidades de siembra y reducido aporte de fertilizantes). El restante 5%, en su mayoría empresarios, aplican tecnologías que se traducen en una mayor productividad, siendo la fertilización una de ellas.

Tanto la FNC como otras entidades de carácter público y privado, han generado información valiosa en torno a los suelos de la zona cafetera del país y la nutrición de cafetales; no obstante, y dada la gran diversidad de condiciones agro-climáticas existentes, todavía quedan muchos aspectos por precisar. Los trabajos desarrollados por la FNC y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi-IGAC han permitido conocer la aptitud de los suelos en mención y los cuidados que se deben tener en cuenta para su uso y manejo. Las investigaciones de Cenicafé, universidades y empresas productoras de fertilizantes y enmiendas, han contribuido a profundizar en aspectos relacionados con: i) las propiedades químicas, físicas, biológicas y mineralógicas de los suelos cafeteros y su variabilidad espacial y temporal en los diferentes sistemas de producción, ii) dinámica de los elementos, iii) extracción, remoción y ciclaje de nutrientes y iv) respuesta del cultivo a la aplicación de fertilizantes y enmiendas de distintas naturalezas, entre otros. Con base en los resultados obtenidos se han publicado artículos científicos, libros, boletines y avances técnicos para divulgar información que de

alguna manera contribuye al MIN, y se han realizado capacitaciones al Servicio de Extensión de la FNC, caficultores y estudiantes.

Actualmente cerca de 1.500 extensionistas de la FNC asesoran a los caficultores colombianos en los asuntos técnicos, sociales y económicos, relacionados con la producción del café. Este número parece alto cuando se compara con los asistentes técnicos que atienden en otros cultivos; sin embargo, ello implica que cada extensionista en promedio asesora a 370 fincas/familias. Lo anterior obliga a que en la mayoría de los casos la atención tenga un enfoque más grupal que individual. Durante los últimos años estos agentes se han venido capacitando en diferentes aspectos a través de cursos virtuales y presenciales, siendo temas principales la conservación del suelo y la nutrición de cafetales. En la medida en que los extensionistas se capaciten, podrán asesorar de manera más pertinente a los caficultores, con beneficios económicos, ambientales y sociales.

Adicional al Servicio de Investigación y Extensión, la FNC ha impulsado el empleo de los fertilizantes —como una práctica esencial para mantener e incrementar la productividad de los cafetales— y su uso racional mediante diferentes instrumentos: subsidios, créditos, convenios con casas comerciales y cooperativas, laboratorios de análisis de suelos, investigación participativa, charlas y campañas educativas, programas televisivos y radiales, entre otros.

## RETOS Y RECOMENDACIONES PARA MEJORAR LA GESTIÓN DE NUTRIENTES

Ante la demanda creciente de café en las próximas décadas, un desafío fundamental radica en aumentar y mantener la productividad, sin que ello comprometa la sostenibilidad de los recursos suelo, agua y aire para las futuras generaciones. El cumplimiento de este propósito depende del esfuerzo mancomunado de actores, cada uno con un papel protagónico y esencial.

La nutrición, como pieza infaltable en el rompecabezas de la producción, no debe limitarse a la aplicación de fertilizantes; más bien debe trascender a una serie de prácticas cuya conjugación se refleje tanto en el rendimiento de las cosechas como el bienestar de las familias cafeteras en el largo plazo; de allí la importancia en la implementación del manejo integrado de nutrientes-MIN para reducir la degradación del suelo y aumentar la eficiencia en el uso de los nutrientes. Dado que el MIN involucra a los diferentes actores públicos y privados, se deben

definir estrategias que permitan aunar los esfuerzos de manera concertada, buscando una mayor sinergia, eficacia y eficiencia en el uso de los recursos.

La sensibilización de todos los participantes, en especial los caficultores, es el insumo básico para iniciar las tareas. Para ello será necesario generar una mayor conciencia sobre el tema y facilitar los recursos técnicos y económicos que se requieren en el logro de la meta trazada. El análisis económico de los sistemas y el estudio del costo-efectividad de las tecnologías a diferentes escalas de tiempo ayudarán a tener una visión más amplia de la sostenibilidad.

Por su parte, *“los investigadores deben indagar asuntos o cuestiones de naturaleza fundamental, aquellos que traten más del porqué de las cosas en vez del qué”*. Esto implica, además, generar información que trascienda del campo teórico al práctico a través de tecnologías apropiadas para condiciones particulares de suelo y clima, sin perder de vista los aspectos económicos, sociales y ambientales. El trabajo interdisciplinario y participativo permitirá desarrollar variedades adaptadas a condiciones medioambientales específicas. Las pesquisas sobre la respuesta a dosis, fuentes, época, sitios y forma de aplicación de nutrientes serán la base para determinar los planes de fertilización, los cuales podrán ajustarse con la información correspondiente a: i) extracción, remoción y ciclaje de nutrientes, ii) propiedades del suelo, iii) variables climáticas, principalmente cantidad y distribución de lluvia, iv) costos/rentabilidad y v) sistema de producción, entre otros. En la misma dirección, será necesario generar alternativas para reducir las pérdidas del suelo por erosión, al tiempo que se indaga sobre cómo conservar más los nutrientes.

A su vez, los extensionistas tendrán la misión de conocer en detalle las herramientas del MIN, generada a través de la investigación, y asesorar a los caficultores en seleccionar las tecnologías más apropiadas, según cada caso. Ellos, además de transferir la información, podrán conocer las alternativas que proponen los productores y servir de puente con los investigadores, buscando así una comunicación en doble vía que contribuirá al avance de las metas propuestas.

## REFERENCIAS

- ALLEY, M. M.; VANLAUWE, B. 2009. The role of fertilizers in Integrated Plant Nutrient Management. International Fertilizer Industry Association. 59 p.
- ÁLVAREZ V., V. H. 1994. Avaliação da fertilidade do solo. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior-ABEAS-Brasília/DF. Curso de fertilidade e manejo do solo-Módulo 11.
- ARIAS S., E. 2008. Efecto de la textura del suelo sobre las pérdidas por lixiviación de nitrógeno, fósforo y potasio, aplicados en la fertilización. Manizales, Universidad de Caldas. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 96 p. (Tesis Ingeniero Agrónomo).
- BRUULSEMA T.; WITT C.; GARCÍA F.; LI S.; RAO T.N.; CHEN F.; IVANOVA S. 2008. A Global Framework for Fertilizer BMPs. Better Crops 92 (2): 13-15. IPNI. Norcross, GA. USA.
- CARDONA C., D.A.; SADEGHIAN K., S. 2005. Ciclo de nutrientes y actividad microbiana en cafetales a libre exposición solar y con sombrero de /Inga/ spp. Cenicafé. 56(2):127-141.
- CENICAFÉ. 1982. Cuarenta años de investigación en Cenicafé. Vol. I. Suelos. Chinchiná, Cenicafé.
- FARFÁN V., F.; MESTRE M., A. 2004. Respuesta del café cultivado en un sistema agroforestal a la aplicación de fertilizantes. Cenicafé 55(2):161-174.
- GARCÍA F.; GONZÁLEZ S., M.F. 2010. Balances de nutrientes en Argentina ¿Cómo estamos? ¿Cómo mejoramos? Informaciones Agronómicas del Cono Sur. 48:1-5.
- GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S. 2012. Volatilización del nitrógeno a partir de diferentes fuentes fertilizantes en la etapa de crecimiento vegetativo del café. Revista Cenicafé 63 (1):133-143.
- GONZÁLEZ O., H.; SADEGHIAN K., S.; MEDINA R., R.D.; CASTRO Q., A.F. 2012. Alternativas para disminuir las pérdidas de nitrógeno por volatilización en la zona cafetera colombiana. En: Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo (16: Octubre 2-5: Riohacha). SCCS, 5 p.

- GRUHN, P.; GOLETTI, F.; YUDELMAN, M. 2000. Integrated Nutrient Management, Soil Fertility, and Sustainable Agriculture: Current issues and future challenges. International Food Policy Research Institute. Washington. 31 p.
- JARAMILLO R., A. 2003. Contenido de nutrimentos en la lluvia, agua de lavado foliar y escorrentía en cafetales con diferentes sombríos. Meteorología Colombiana. No. 7:135-140.
- JIMÉNEZ S., A.M.; FARFÁN V., F.; MORALES L., C.S. 2005. Descomposición y transferencia de nutrientes de *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea* y *Tephrosia candida* como abonos verdes en cafetales. *Cenicafé* 56(3):216-236.
- LEAL V., L.A.; SALAMANCA J., A.; SADEGHIAN K., S. 2007. Pérdidas de nitrógeno por volatilización en cafetales en etapa productiva. *Cenicafé*. 58(3):216-226.
- MALAVOLTA, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. Editora Agronômica Ceres, São Paulo. 631 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. DE. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 201 p.
- MESTRE M., A.; SALAZAR A., J.N. 1989. Comparación de cinco formas de aplicación de fertilizantes en café. *Cenicafé* 40(3):80-85.
- RIAÑO H., N.M.; ARCILA P., J.; JARAMILLO R., A.; CHAVES C., B. 2004. 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.
- SADEGHIAN K., S. 2006. Efecto de fuentes solubles de magnesio y azufre en la producción y calidad del café. En: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ-Cenicafé. CHINCHINÁ. Informe anual de actividades Disciplina de Suelos 2005-2006. Chinchiná, *Cenicafé*. 13 p.
- SADEGHIAN K., S. 2008. Actualización y tendencia en la fertilización de café. In: Actualización en fertilización de cultivos y uso de fertilizantes. Bogotá, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. p. 41-57.
- SADEGHIAN K., S. 2008. Fertilidad del suelo y nutrición del café en Colombia: Guía práctica. (Boletín Técnico No. 32). Chinchiná: CENICAFE. 43 p.
- SADEGHIAN K., S. 2009. Calibración de análisis de suelo para N P K y Mg en cafetales al sol y bajo semisombra. *Cenicafé* 60(1):7-24.
- SADEGHIAN K., S. Fertilización: 2010. Una práctica que determina la producción de los cafetales. En: Chinchiná: Avances Técnicos *Cenicafé*, No. 391. 8 p.
- SADEGHIAN K., S. 2011. Respuesta de cafetales al sol y bajo semisombra a nitrógeno y su relación con la materia orgánica del suelo. *Revista facultad nacional de agronomía* 64(1):5781-5791.
- SADEGHIAN K., S. 2011. Evaluación de la fertilidad del suelo para una adecuada nutrición de los cultivos. Caso café. *Suelos ecuatoriales* 41(1):46-64.
- SADEGHIAN K., S. 2013. Nutrición de cafetales. p. 85-116. En: CENICAFE. Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Chinchiná: FNC: CENICAFE.
- SADEGHIAN K., S. 2013. Efecto de dosis y fuentes de nitrógeno en la producción de café. En: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ-Cenicafé. CHINCHINÁ. Informe anual de actividades Disciplina de Suelos 2012-2013. Chinchiná, *Cenicafé*. 17 p.
- SADEGHIAN K., S.; GONZALEZ O., H. 2012. Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción. Chinchiná: CENICAFE. Avances Técnicos No. 424. 8 p.
- SADEGHIAN Y GONZÁLEZ, 2012. Respuesta del café (*Coffea arabica* L.) a fuentes y dosis de nitrógeno en la etapa de almácigo. En: Congreso colombiano de la ciencia del suelo (16 : Octubre 2-5 2012: Riohacha) Bogotá : SCCS.

- SADEGHIAN K., S.; HERNÁNDEZ G., E.; GONZÁLEZ O., H. 2007. Mezcla de fertilizantes en la finca, una buena opción para el caficultor. *Avances Técnicos Cenicafé*, No. 362. 8 p.
- SADEGHIAN K., S.; MEJIA M., B.; ARCILA P., J. 2006. Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha en la zona cafetera de Colombia. *Cenicafé* 57(4):251-261.
- SADEGHIAN K., S.; MEJÍA M., B.; ARCILA P., J. 2007. Composición elemental de los frutos de café y extracción de nutrientes por la cosecha. *Avances Técnicos Cenicafé* No. 364.8 p.
- SOIL IMPROVEMENT COMMITTEE CALIFORNIA PLANT HEALTH ASSOCIATION-SICCPHA.2004.Manual de fertilizantes para cultivos de alto rendimiento. Noriega Editores. México. 366 p.
- SUÁREZ DE C., F.; RODRÍGUEZ G., A. 1962. Investigaciones sobre la erosión y conservación de suelos en Colombia. FNC, Chinchiná, Colombia.
- URIBE H., A.; MESTRE M., A. 1988. Efecto de la densidad de población y de la disposición de los árboles en la producción de café. *Cenicafé* (Colombia) 39(2):31-42.
- VOISIN, A. 1970. Nuevas leyes científicas en la aplicación de los abonos. Editorial Tecnos S.A., Madrid. 150 p.