

CAPITULO VIII

FERTILIZACION DE CAFETALES

Valencia-Aristizábal Germán

Son 16 los elementos minerales esenciales para las plantas: carbono, hidrógeno, oxígeno que se obtienen del aire y del agua principalmente y representan entre 95 y 96% del peso seco de ellas y nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, boro, cloro, cobre, hierro, manganeso, zinc, molibdeno, que representan del 4 al 5% del peso seco total de las plantas y que éstas toman del suelo por medio del sistema radical (18).

Los elementos nutricionales suministrados por el suelo se encuentran en cantidades variables, a veces no suficientes para su adecuada nutrición y óptima producción y por eso hay necesidad de fertilizar los cultivos; sin embargo, la fertilización química del cafetal sólo se justifica en la medida en que se satisfacen sus exigencias ambientales y tecnológicas.

Suelos de la zona cafetera

En Colombia se encuentra el café en suelos jóvenes (que no han completado su desarrollo pedogenético), de relieve plano, ondulado y abrupto y que pueden ser pedregosos, arenosos, arcillosos. La proporción relativa de los principales materiales de origen se da en la tabla 1.

* Asesor Técnico Fertilizantes Cafeteros Ltda. Santafé de Bogotá, D.C.

TABLA 1

Materiales de origen de los suelos de la zona cafetera colombiana y porcentaje relativo de cada uno (17)

Material de origen	Hectáreas	Porcentaje
Rocas ígneas	1'200 000	40
Rocas metamórficas	900 000	30
Rocas sedimentarias	300 000	10
Cenizas volcánicas	600 000	20
Total zona cafetera mapificada	3'000 000	100

De los tres millones de hectáreas de la zona cafetera, existen 1'150.000 hectáreas en cafetales, de los que el 52% están en suelos derivados de cenizas volcánicas, altamente fijadores de fósforo, con pH inferior a 5.5, ricos en materia orgánica, de excelentes condiciones físicas, son Andisoles con predominio de alófana en la fracción arcilla y poseen óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, factores todos que influyen negativamente en la disponibilidad de nutrimentos para el café.

La composición mineral de estos suelos es muy variable y depende de factores como régimen de lluvias, pH, material volcánico, acumulación de materia orgánica; su balance químico ha sido enormemente modificado en los cafetales por el uso continuado de fertilizantes químicos.

Condiciones físicas del suelo

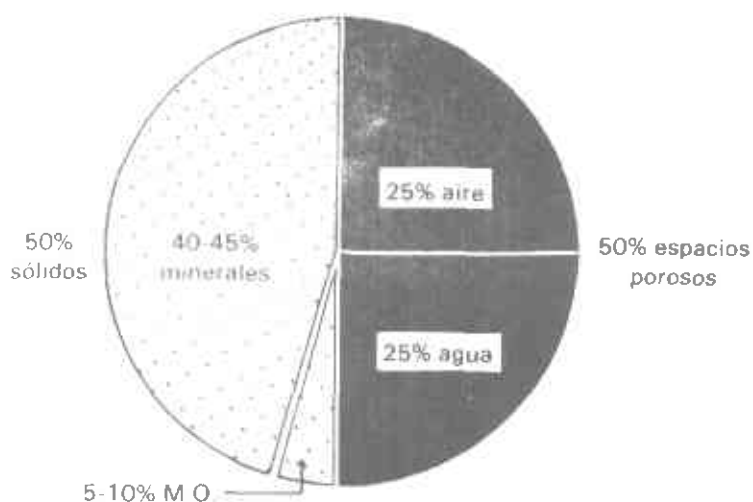
Las características físicas más importantes de analizar en los suelos de la zona cafetera son: textura, estructura, consistencia, densidad real y aparente, retención de humedad, estabilidad de los agregados y profundidad efectiva. Con este conjunto de condiciones físicas, que son de muy difícil y costosa modificación, se puede determinar la *productividad* así como la susceptibilidad del suelo a la erosión y deducir el uso y manejo adecuado del suelo. Después de las condiciones del clima, las condiciones físicas del suelo son las que determinan el uso y el manejo que se le debe dar a éstos.

Una buena condición física del suelo es tanto o más importante que la misma aplicación de fertilizantes y se refleja en buena aireación, buen drenaje interno, buena capacidad de retención de agua, desarrollo normal de raíces, buena y oportuna respuesta a la fertilización, buena actividad biológica.

Si el suelo no proporciona el medio físico adecuado para el cultivo, la fertilización que en él se haga será un gran despilfarro.

Desde el punto de vista físico, un suelo "ideal" según Murphy (9), es aquel que tiene su volumen distribuido así: 50% de sólidos (minerales y materia orgánica) y el otro 50% de espacios porosos repartidos por igual entre aire y agua (Figura 1).

FIGURA 1
Suelo físicamente "ideal" (Murphy)

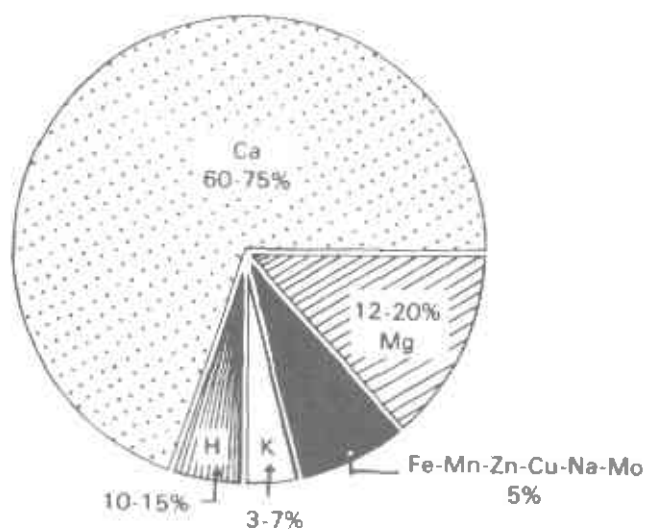


Equilibrio químico del suelo

Desde el punto de vista químico, un suelo equilibrado según McLean citado por Guerrero (6), es aquel en que, en términos de porcentaje de saturación de cationes, tiene entre 60 y 75% de saturación de calcio, entre 12 y 20% de saturación de magnesio, entre 3 y 7% de saturación de potasio, entre 10 y 15% de saturación de hidrógeno y 5% de saturación de micronutrientes, como se en la Figura 2.

Figura 2. Equilibrio de cationes en el suelo según Mc Lean.

FIGURA 2
Suelo químicamente "balanceado" (McLean)



MATERIA ORGANICA

PROPIEDADES FISICAS	PROPIEDADES QUIMICAS	PROPIEDADES BIOLÓGICAS
Aireación	Acción buffer	Actividad de
permeabilidad	CIC	microorganismos
retención de humedad	Suministro de:	para la mineralización
estructura	Nitrógeno	
agregación	Fósforo	
	Azufre	
	Boro	
	Hierro	
	Manganeso	
	Zinc	
	Cobre	

En esta tabla se ve que por condiciones físicas hay altos porcentajes de suelos adecuados, pero que por condiciones químicas existe un porcentaje bajo de suelos con adecuados niveles de pH, de materia orgánica, de potasio y de fósforo.

Aquí conviene destacar el enorme significado y trascendencia que el pH y el contenido de materia orgánica del suelo tiene en las propiedades físicas, químicas y biológicas de éste y que se reflejan en la nutrición vegetal, como se ven los esquemas siguientes:

Suelos manejables para café

Son los que mediante adecuado manejo, permitirían llegar a los rangos adecuados, con altas probabilidades de éxito.

TABLA 3
Parámetros, rangos mínimos y porcentajes de suelos *manejables* para café en los perfiles muestreados por Prodesarrollo (16)

Parámetros	Rango	Porcentaje *
pH	4.5-6.0	75
% Materia orgánica	Más de 4.0	67
Ca meq/100 g	Menos de 4.2	61
Ca: Mg	Ca más que Mg	87
% Arcilla	Más de 8 y menos de 41	70
Textura	Francos	72
cm profundidad efectiva	30 o más	56

Estos valores están todos por encima del 50%, lo que indica una frecuencia alta de suelos *manejables* para llegar a los rangos de suelos *adecuados* para café

En la tabla 3 se dan los parámetros y sus respectivos valores para la clasificación de suelos manejables, y los correspondientes porcentajes obtenidos en los muestreos de los estudios de zonificación de suelos del área cafetera colombiana hechos por Prodesarrollo.

Fertilidad natural de los suelos de la zona cafetera

De los muestreos de suelos hechos por Prodesarrollo en a mayor parte del área cafetera del país para los estudios de zonificación y Fertilidad Natural se destacan los siguientes resultados:

- pH:** El 73% presentan un pH *manejable*, entre 4.5 y 6.0, pero sólo el 30% tienen el valor adecuado para café.
- Materia orgánica:** El 66% de los suelos tienen más del 4% de materia orgánica (*manejable*). El 75%, con menos de 8% o más de 20% de materia orgánica, respondería a aplicaciones de 240 kilogramos de nitrógeno/ha/año.
- Arcilla:** El 72% serían suelos *manejables*, con porcentajes de arcilla entre 8 y 41%.
- C.I.C.:** Solamente el 10% de los suelos tienen menos de 10 miliequivalente por 100 gramos de suelos, casos en que debería fraccionarse más de dos veces la dosis anual de fertilizantes.
- Magnesio:** El 56% de los suelos tiene más de 0.6 miliequivalentes por 100 gramos de suelos, que es el límite de deficiencia.
- Relación Ca: Mg:** En el 88% de los casos el contenido de calcio es mayor que el contenido de magnesio, que es la relación normal en suelos *manejables*.
- Potasio:** El 75% de los perfiles mostraron contenidos de potasio inferiores a 0.3 miliequivalentes por 100 gramos de suelos, casos en que la producción del café responde a aplicaciones de potasio.
- Fósforo:** El 82% de los perfiles tienen menos de 10 ppm (límite de deficiencias).
- Nitrógeno y Potasio:** El 57% son deficientes en estos dos elementos, lo que parece corroborarse con resultados de experimentos de fertilización de cafetales en ocho localidades de la zona cafetera, en donde de 36 cosechas registradas, el 69% respondieron a aplicaciones de nitrógeno, 11% respondieron a aplicaciones de fósforo y 42% respondieron a aplicaciones de potasio.

Sistema radical del cafeto

Las raíces son adaptaciones de las plantas que les sirven de soporte y les permiten explorar el suelo para la absorción de nutrimento.

La morfología del sistema radical de una planta, depende en primer lugar de su constitución genética y en segundo lugar de las condiciones físicas del suelo; esto quiere decir que dos plantas genéticamente idénticas, si crecen en suelos diferentes, pueden mostrar diferencias notables en su sistema radical.

Las raíces absorbentes del cafeto desarrollado en un suelo franco, son superficiales: en los primeros 30 centímetros se encontró un 86% de ellas y su concentración disminuye en proporción inversa con la distancia al tronco (11).

Un sistema de raíces bien desarrollado da a la planta la posibilidad de explorar un volumen de suelo tal que le permite a ésta la absorción de agua y nutrimentos en cantidad superior aún a sus necesidades.

El paloteo del cafeto

El *paloteo* es un síntoma de debilidad del cafeto ocasionado por una inadecuada nutrición. Se manifiesta como una pérdida intensa de hojas y secamiento y muerte de ramas; esta muerte se inicia en la punta de ellas y puede llegar a afectar toda la rama. Se presenta en plantas en crecimiento (plantas jóvenes), y en plantas adultas (plantas en producción) (20).

Cuando se presenta el *paloteo* en una plantación, se producen cuantiosas pérdidas, puesto que si ocurre en plantas jóvenes, habrá necesidad de resiembras; y si es una plantación en producción, la cosecha disminuirá notablemente y se bajará la calidad de la misma.

Existe una serie de causas que pueden producir una inadecuada nutrición del árbol de café y por lo tanto inducir al *paloteo*. A continuación se enumeran las causas principales y su posible control.

Causa: Exceso de producción (cosecha superior a la capacidad de la planta para sostener crecimiento y fructificación).

Control: No puede corregirse el problema, pues generalmente, cuando éste se detecta, la formación de fruto va muy adelante y sólo podrá evitarse su futuro apareamiento, mejorando las fertilizaciones anteriores a la cosecha.

Causa: Inadecuada fertilización (en cantidad o calidad).

Control: Se corrige aumentando o modificando la proporción de los nutrimentos a aplicar.

- Causa:** Competencia de malezas.
- Control:** Deberá recurrirse a desyerbas más frecuentes.
- Causa:** Pobre sistema de raíces, debido a inadecuada colocación de ellas desde la siembra, o a la siembra de plantas en suelos muy compactos o duros.
- Control:** Para evitarlo, se debe tener cuidado al sembrar el material en el almácigo y en el campo, para que las raíces no queden torcidas. En suelos muy compactos o con capas impermeables a poca profundidad, hay necesidad de romper éstas y abrir hoyos grandes para llenar con materiales ricos en materia orgánica.
- Causa:** Presencia de plagas o de enfermedades en la raíz, como en el caso de ataques de nemátodos, de palomilla o ataques de llagas, como la llaga negra, la llaga macana y la llaga estrellada; en estos últimos casos, puede llegarse hasta la muerte de la planta.
- Control:** Hay necesidad de controles sanitarios en la plantación
- Causa:** Verano o invierno intensos o prolongados.
- Control:** Se disminuyen los riesgos, mejorando el medio de desarrollo de las raíces, aplicando riego o construyendo drenajes en el cafetal.
- Causa:** Alta acidez del suelo (pH bajo). A pH bajo, en presencia de aluminio pueden formarse sobre las raíces, precipitados de fosfato de aluminio, los cuales dificultan o impiden la absorción de otros nutrientes.
- Control:** Existe la posibilidad de hacer aplicaciones de cal agrícola, para elevar un poco el pH del suelo y reducir a menos de 60% el porcentaje de saturación de aluminio.

Fertilización química en Colombia

Los fertilizantes químicos se han usado en Colombia desde 1935 cuando la Caja Agraria importó 50 toneladas para ensayos experimentales. En fincas productoras de papa y cereales el consumo de fertilizantes empezó en 1948.

La experiencia con fertilizantes químicos en café se inició en 1958, con las primeras plantaciones a pleno sol; las primeras fórmulas de fertilizante completo usadas en los cafetales colombianos fueron del tipo 5-20-5 y 6-24-6, especialmente para café en crecimiento, según resultados obtenidos en otros países productores de café, como Hawai, Filipinas y Puerto Rico.

Los primeros resultados experimentales obtenidos con fertilizantes en café, lógicamente realizados en cafetales bajo sombra, mostraron lo siguiente: la aplicación de nitrógeno era peligrosa o inoperante y sólo se haría en suelos ricos en fósforo y potasio; hubo respuesta a aplicación de fósforo en los primeros 2 ó 3 años de edad del cafetal y su aplicación se haría cada seis o más años; ocasionalmente se obtenían respuestas a potasio y estas respuestas coincidían con descumbres o podas de los árboles de sombra (7).

La evolución de los grados o fórmulas fertilizantes para café en el país obedece a los sucesivos resultados experimentales obtenidos en CENICAFE, los que siempre han significado positivos avances en procura de la óptima fertilización de los cafetales. Esta evolución se indica en la tabla 4.

TABLA 4
Evolución de los grados o fórmulas de fertilizantes para café en el país, desde 1960 (20)

Fase del cultivo	Grado (fórmula)	Año
Crecimiento (hasta iniciación floración)	5-20-5	Hasta 1966
	6-24-6	
	14-14-14	Hasta 1979
	15-15-15	
	Urea DAP Roca fosfórica	
Producción (desde iniciación floración)	Fertilizantes simples 10-5-10 12-6-24	Hasta 1960
	12-6-22-2 12-12-17-2	Hasta 1979
	17-6-18-2 Urea + KC1	Hasta 1988
	17-6-18-2 y/o fertilizantes simples y enmiendas	Desde 1989

Para cafetales en producción, está demostrado que la aplicación de 12 kilogramos de pulpa de café descompuesta por árbol cada seis meses, reemplaza la fertilización química del cafetal al sol, es decir, la pulpa producida por un cafetal sirve para abonar la quinta parte de ese cafetal (10-12).

En un experimento (3) de comparación de fertilizantes nitrogenados en la producción de café con café Caturra a pleno sol se aplicaron 30 gramos de nitrógeno en el primer año y 40 gramos de nitrógeno en el segundo año, repartidos en tres aplicaciones. En la etapa de producción se aplicaron 240 kilogramos de nitrógeno, 80 kilogramos de P_2O_5 y 240 kilogramos de K_2O .

El nitrógeno (240 kilogramos/ha/año) se aplicó mediante diferentes portadores, como aparece en la tabla 5, en donde se dan también los totales de café pergamino seco por hectárea, en cuatro cosechas.

TABLA 5
Total de café pergamino seco por hectárea (arrobas) en cuatro cosechas con diferentes fuentes de nitrógeno (3)

Tratamientos	Arrobas de café pergamino seco/ha	
	Total 4 cosechas	Promedio
1 Indaco	1 161	290
2 Urea (incorporada)	1.325	331
3 12-12-17-2	1 909	477
4 Nitroform	1 219	305
5 Urea (superficial)	1 459	365
6 Pulpa descompuesta	1 987	497

Se puede observar que las mayores producciones fueron con pulpa descompuesta y con fertilizante 12-12-17-2, que estas dos fuentes son comparables y confirman resultados anteriores.

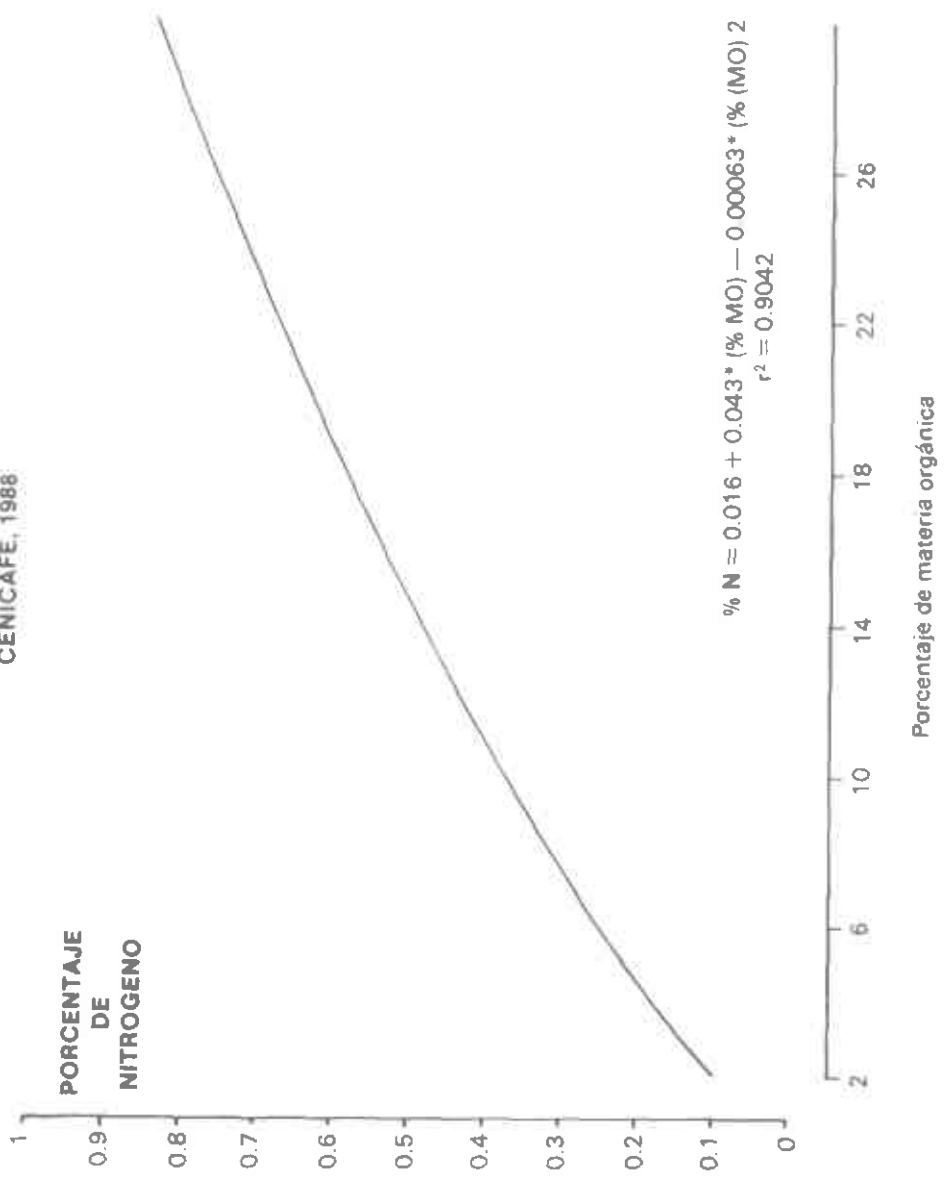
Relación C/N en suelos de la zona cafetera

En un estudio de más de 600 muestras de suelos de 21 municipios de la zona cafetera, se encontró un rango de variación de la relación C/N entre 9.9 y 14.31 y se considera que el proceso de mineralización de la materia se cumple, cuando esta relación orgánica está entre 11 y 16, es rápido cuando aquella relación es inferior a 8 y lento cuando es mayor que 12 (5).

En el Laboratorio de Química Agrícola de CENICAFE (2) se ha establecido, con base en 1.174 determinaciones en suelos de la zona cafetera una valiosísima ecuación para estimar el contenido de nitrógeno del suelo con base en el contenido de materia orgánica de éste. Esta ecuación, con valor de $r = 0.9042$ es la siguiente:

$$\% N = 0.016 + 0.0453 (\% M.O.) - 0.00063 (\% M.O.)^2$$

RELACION NITROGENO-MATERIA ORGANICA
 ECUACION Y DATOS ORIGINALES N = 1174
 CENICAFE, 1988



$$\% N = 0.016 + 0.043 * (\% MO) - 0.00063 * (\% MO)^2$$

$$r^2 = 0.9042$$

Esta ecuación, representada en la figura 3, válida para contenidos de materia orgánica entre 2 y 20%, elimina la necesidad de la costosa determinación química de nitrógeno en los análisis de suelos.

El azufre en la nutrición del café

El azufre se absorbe principalmente como ión sulfato (SO_4^{2-}), se reduce en la planta y se incorpora en compuestos orgánicos. Es constituyente de cistina, cisteína, metionina, tiamina, biotina, coenzima A.

Se encuentra en la materia orgánica del suelo, como fuente natural; además los volcanes, la combustión del carbón, de la madera, del petróleo lo liberan al aire donde combinado con el oxígeno es llevado al suelo por la lluvia.

El azufre no es muy móvil dentro de la planta y por eso los primeros síntomas de deficiencia aparecen en las hojas nuevas, con una coloración verde amarillenta que comienza a lo largo de la nervadura principal. Aparece el árbol como con deficiencia de nitrógeno, pero en el caso de S-deficiencia las hojas presentan aspecto moteado que puede confundirse con síntomas de Zn-deficiencia o de Fe-deficiencia.

El café se encuentra abastecido de azufre cuando las hojas contienen 0.20% de S-sulfato y las mayores producciones de café están asociadas con niveles de 15 ppm de S-sulfato en el suelo.

En cafetales colombianos no se ha reportado S-deficiencia y la posibilidad de que ello ocurra existe en suelos muy pobres en materia orgánica.

Fertilización radical o edáfica

Cafetales al sol

La fertilización química del cafetal sólo se justifica cuando las exigencias ambientales y tecnológicas del cultivo se satisfacen adecuadamente y se han utilizado en él todos los residuos o desechos orgánicos de la finca, los cuales mejoran las condiciones físicas del suelo y hacen más exitosas las posteriores aplicaciones de fertilizantes (18).

La fertilización del cafetal, por ajustada que se haga a las necesidades del cultivo y a los resultados del análisis de suelos, no resuelve otros problemas derivados de inadecuadas condiciones físicas del suelo, del clima o del manejo del cafetal; en consecuencia, para el éxito de las recomendaciones sobre fertilización son válidas las siguientes consideraciones (4):

- a) Que sea un cafetal en zona de clima óptimo y en suelos con profundidad efectiva de 30 centímetros o más (profundidad efectiva es la que permite el

crecimiento y desarrollo de las raíces sin ningún obstáculo ni químico ni físico), lo cual permitiría producciones de 400 ± 30 arrobas/ha/año

Pero si la producción, por razones de suelo, clima y manejo, está deajo de estos niveles, la aplicación de fertilizantes deberá reducirse proporcionalmente a la producción.

- b) Que se realicen oportunamente las prácticas de cultivo como renovaciones, podas, desyerbas y los controles sanitarios requeridos, así como las prácticas necesarias de conservación de suelos.
- c) Que las muestras de suelos hayan sido debidamente identificadas, tomadas un mes antes de la fertilización, en la zona de raíces, a 20 centímetros de profundidad, con varias submuestras por unidad de muestreo, evitando contaminaciones. El muestreo de suelos para análisis en un mismo lote o finca puede hacerse cada dos años.
- d) No debe sobrepasar para cada árbol en producción y por aplicación, la dosis de 100 gramos de úrea, ni de 200 gramos de mezcla de fertilizantes simples, ni de 250 gramos de cal.
- f) La fertilización no debe hacerse cuando el suelo esté muy seco.

Objetivos

El objetivo principal del uso de fertilizantes en los cultivos es obtener el mayor beneficio económico o mayor rendimiento posible con el mínimo de costo, para hacer rentable la actividad agrícola.

La adecuada fertilización de un cultivo debe hacerse como respuesta a las siguientes cinco preguntas:

1. ¿DONDE debe aplicarse el fertilizante?
2. ¿COMO debe hacerse la aplicación?
3. ¿CUANDO debe hacerse la aplicación?
4. ¿CUANTO producto aplicar?
5. ¿QUE producto aplicar?

Para el caso del café, afortunadamente, después de muchos años de investigación en CENICAFE, se tienen las más concretas respuestas a estos interrogantes así:

¿Dónde?

Bajo la copa (follaje) del árbol, donde se encuentra más del 80% de las raíces que absorben agua y nutrimentos. Es por tanto, en el área cubierta por el follaje (plato del árbol) en donde se aplicará el producto fertilizante o enmienda.

¿Cómo?

La fertilización del cafetal debe hacerse *al voleo*, superficialmente en el plato que es la forma que requiere menos mano de obra y no difiere en producción con otras formas de aplicación ensayadas (corona, media luna, en banda, tapado); en el caso de aplicación de cales o enmiendas, se debe limpiar el plato, ya que por su escasa solubilidad, éstas no deben quedar depositadas sobre la hojarasca. Si la enmienda se hace antes de la siembra, debe incorporarse al suelo en el hoyo.

¿Cuándo?

Para decidir el momento más oportuno de la fertilización debe tenerse en cuenta si se trata de:

- Arboles jóvenes*, en etapa de crecimiento acelerado (hasta 18 meses de edad aproximadamente, que inicia la floración).

Según el análisis de suelos, al momento de la siembra puede ser necesario, incorporar al suelo enmiendas o productos como: cal agrícola, cal dolomítica, roca fosfórica, abono fosfórico, en dosis no superiores a 80 gramos por planta

La primera fertilización con úrea o con fosfato diamónico se efectuará *un mes después de la siembra* en el campo y *luego cada cuatro meses*, para un total de cinco aplicaciones en cada fase así:

Un mes después del trasplante	10-15 g/planta
Cinco meses después del trasplante	15-20 g/planta
Nueve meses después del trasplante	20-25 g/planta
Trece meses después del trasplante	25-30 g/planta
Diecisiete meses después del trasplante	30-35 g/planta

- Zocas* Se debe iniciar la fertilización *tres meses después del corte* (zoqueo), como si fuera un cafetal de un año de edad. No es necesaria la fertilización inmediatamente anterior al zoqueo
- Cafetal en producción* se considera cuando inicia las floraciones (aproximadamente a los 18 meses de siembra en el campo), por lo tanto la siguiente fertilización después de la etapa de crecimiento, se hará *a los dos años de edad en el campo*, cuando se inicia la aplicación de la dosis anual, repartida en dos aplicaciones que se efectuarán *dos meses antes* de la travesía o mitaca y *dos meses antes* de la cosecha principal, puesto que en los dos últimos meses de desarrollo del fruto ocurre una gran demanda de nutrimentos por parte de éste así: entre 37 y 49% del nitrógeno total final, el 36% del fósforo y entre 39 y 44% del potasio. Por ejemplo, en una región donde las cosechas se presentan entre abril y mayo y entre octubre y noviembre, las fertilizaciones se harán en febrero y agosto

Si se requiere la adición de correctivos o productos para enmiendas, estos se aplicarán uno o dos meses después de la fertilización.

Qué y Cuándo aplicar?

La continua fertilización de los cafetales con productos químicos que en su mayoría tienen efecto residual acidificante, ha traído como consecuencia una disminución del pH, del calcio, del magnesio y aumento del aluminio y del manganeso intercambiables, con la consiguiente pérdida de efectividad de los fertilizantes aplicados

Fundamentalmente, las recomendaciones consideran que el cafetal hasta la floración necesita principalmente fertilización con nitrógeno y fósforo y a partir de la floración requiere principalmente nitrógeno y potasio.

Los cafetales en producción, con un rendimiento histórico promedio de 400 arrobas (5 000 kilogramos) de café pergamino seco por hectárea por año, *sin análisis de suelos*, recibirán una dosis anual de 240 kilogramos de nitrógeno, 80 kilogramos de P_2O_5 (pentóxido de fósforo) y 240 kilogramos de K_2O (óxido de potasio), los cuales pueden suministrarse con 1.400 kilogramos de fertilizante 17-6-18-2 o con aproximadamente 1.100 kilogramos de una mezcla de dos o más fertilizantes simples (fuentes) como se indica en el Avance Técnico Cenicafé N° 149 (14).


Análisis químico de suelos

Para responder a las preguntas *¿qué y cuánto?* debe aplicarse al cafetal, es decir, la clase y cantidad de fertilizante y/o enmienda, es indispensable el análisis químico de fertilidad del suelo, tanto por las modificaciones químicas ya provocadas en éste, como por la diversidad de materiales que originan suelos de diferente fertilidad en la zona cafetera y que requieren diferentes cantidades y diferentes produc-
tos

Muestreo de suelos para análisis químico de fertilidad

Aunque el suelo está constituido por una muy compleja mezcla de sustancias y elementos, los métodos de análisis empleados en el laboratorio tienen muy buena confiabilidad y son aplicables a un amplio rango de condiciones de suelos y de cultivos; sin embargo, lo que hace posible que las recomendaciones de fertilidad y/o enmiendas derivadas de la interpretación de los análisis químicos es la correcta toma de las muestras para esta finalidad así:

Muestreo correcto de suelos para análisis de fertilidad

 Una muestra de suelos para análisis químico con fines de fertilización es la que mejor representa o se parece mucho al promedio de las condiciones de la *unidad de muestreo* que es la que tiene condiciones semejantes por color, pendiente, cultivo, manejo, drenaje, erosión, etc

En cada unidad de muestreo, con herramientas e implementos limpios se toman varias submuestras y se recogen en un balde donde se mezclan muy bien; una porción de esta mezcla se empaqueta y se identifica para enviar a análisis, con nombre de la finca, vereda, municipio, propietario, dirección, edad y densidad del cafetal, lote o referencia del lote.

Cada submuestra se tomará bajo la gotera del árbol (plato) y hasta 20 centímetros de profundidad, después de retirar la hojarasca y las basuras de la superficie.

La muestra puede recogerse en cualquier época, preferiblemente un mes antes de la correspondiente fertilización, sin que el suelo esté muy húmedo o muy seco.

No tomar muestra en sitios donde se han hecho quemas o donde se descargan fertilizantes, ni cerca de galpones, caminos o carreteras.

No fumar cuando se está efectuando el muestreo.

Interpretación de resultados de análisis de suelos

La verdadera e importante dimensión de los análisis de suelos se obtiene cuando se hace la correcta interpretación de los resultados de aquel análisis, al permitir al técnico hacer las mejores recomendaciones de las mezclas adecuadas de fertilizantes simples o la dosis de 17-6-18-2 o las enmiendas requeridas para el cultivo, con el consiguiente aumento de la fertilidad del suelo, de la eficiencia de los productos aplicados y la disminución de los costos de producción.

Los Comités de Cafeteros disponen de la interpretación sistematizada de estos análisis y las correspondientes alternativas de productos para cafetales tecnificados, a pleno sol, cafetales de cualquier edad, aún antes de la siembra, con cualquier densidad de siembra, así como zocas de cualquier edad y con indicación de los precios de las respectivas recomendaciones.

Las recomendaciones derivadas de esta interpretación del análisis de suelos pueden ser modificadas por el técnico de la región como se indica a continuación.

Cálculo de nutrimentos y/o enmiendas para café

La diferencia entre las cantidades de nutrimentos que el suelo tiene según el análisis químico de fertilidad y los que el suelo debe tener para el óptimo rendimiento del cultivo, da las cantidades que deben adicionarse como fertilizante o como enmienda.

Esta diferencia debe ajustarse con la eficiencia del producto aplicado, (Tabla 6), con el valor del factor de corrección para pasar de ppm y/o meq/100 g de suelo a kilogramos/hectárea de P_2O_5 - K_2O - CaO - MgO según la densidad aparente del suelo y la profundidad hasta la que se ha tomado la muestra respectiva Tabla 7

Si el lote o finca produce menos de 400 arrobas, se debe reducir la dosis aquí calculada, según el concepto de módulos de fertilización (19) por ejemplo, si la producción es de 200 arrobas las dosis a aplicar serían 465 kg de N, 46 kg de P_2O_5 y 86 kg de K_2O por hectárea, por año; la cantidad de cal no se modifica.

TABLA 6
Eficiencia (E) estimada de nutrimentos y/o enmiendas

Elemento	E (%)	Observaciones
Nitrógeno	0.4 - 0.5	O inferior por exceso de lluvia
Fósforo	0.25 - 0.30	A pH alto se forman fosfatos de Ca in- A pH bajo se forman fosfatos de Fe y Al, insolubles.
Potasio	0.5 - 0.6	Según C.I.C.
Calcio	0.8 - 0.9	Según C.I.C. } Hay mayor eficiencia en las granulometrías más finas.
Magnesio	0.8 - 0.9	Según C.I.C. }

En la tabla 8 se da un ejemplo de cálculo de cantidad de nutrimentos y enmiendas para café.

TABLA 7
Factor de conversión F para pasar de ppm. y m.e/100 g a kilogramos/ha
 P_2O_5 - K_2O - CaO y MgO, para 20 centímetros de profundidad de muestreo y
para diferentes densidades aparentes (d.a.) del suelo

d a g/cm ³	Unidad	F para una profundidad de 20 cms			
		P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
0.5		2.29	348	280	199
0.6	Fresno	2.75	562	336	239
0.7		3.21	655	392	279
0.8	Chinchiná	3.66	749	448	319
0.9		4.12	842	504	359
1.0	Montenegro y Quindío	4.58	936	560	398
1.1		5.04	1.039	616	438
1.2		5.50	1.123	672	478
1.3	San Simón	5.95	1.217	728	518
1.4		6.41	1.310	784	558

Adaptada de Guerrero (6)

Densidad aparente

Suelos con densidad aparente superior a 1.2 no son adecuados para café; son pocas las unidades de suelos a las que se les ha determinado su densidad aparente (d a); entre las que se les conoce su densidad están (20):

Suelos derivados de cenizas volcánicas:

Unidad Chinchiná	0.68 a 0.91 g/cc
Unidad Quindío	0.85 g/cc.
Unidad Montenegro	0.84 a 0.86 g/cc
Unidad Fresno	0.61 a 0.73 g/cc.

Suelos provenientes de Tobas Volcánicas:

Huila	0.86 a 1.09 g/cc
Tolima	0.97 g/cc.

Suelos provenientes de Rocas Igneas, Metamórficas y Sedimentarias:

Tolima	0.90 a 1.4 g/cc
Huila	0.80 a 1.4 g/cc
Risaralda	0.50 a 1.2 g/cc

En la tabla 7 se dan los valores de conversión F para kilogramo de óxidos por hectárea y en la tabla 6 se dan las Eficiencias (E) estimadas en porcentaje para los cálculos respectivos según la fórmula

$$Q = \frac{D \times F}{E}$$

Donde:

Q = Kilogramos de óxido/ha/año.

D = Diferencia entre el nivel deseado del nutrimento para el cultivo y el contenido del nutrimento en el suelo.

F = Factor de conversión para pasar de ppm o me/100 g de suelo a kilogramos de P_2O_5 , K_2O , CaO o de MgO según densidad aparente y profundidad de muestreo (Tabla 7)

E = Eficiencia del nutrimento (Tabla 6)

TABLA 8

Ejemplo de cálculo de cantidad de nutrimentos y/o enmiendas para 400 arrobas de café pergamino seco/ha/año en un suelo de densidad aparente 1 y para 20 cm de profundidad de muestreo

Resultado del análisis de suelo		Nivel deseado	Diferencia D	Eficiencia E	Oxidos Según d.a. F	Kg/ha/año a aplicar
pH	4.4	Mayor	—	—	—	—
M.O. %	7.4	10.4	3	0.50	—	930 N*
P ppm	5	10	5	0.25	4.58	92 P ₂ O ₅
K me	0.29	0.40	0.11	0.60	936	172 K ₂ O
Ca me	1.4	2.40	1.0	0.80	560	700 CaO
Mg me	1.1	0.8	—	0.80	398	—
Al me	2.7	—	—	—	—	—
Textura	Fr	—	—	—	—	—

Cuidado: No sobrepasar la dosis de 100 gramos de úrea por árbol por aplicación

Requerimientos nutricionales máximos del cafeto

Se estima que las necesidades del cafeto para vegetación son 100 - 10 - 90 kilogramos de N - P₂O₅ - K₂O respectivamente por hectárea y que para cada 100 arrobas (1.250 kg) de café pergamino seco por hectárea se requieren 32 - 4 - 40 kilogramos de aquellos elementos; esto significa que para 400 arrobas de café por hectárea, son necesarias las siguientes cantidades: 4 veces (32-4-40) más 100-10-90, lo que da: 225-26-250 kg de N - P₂O₅ - K₂O por hectárea por año, valores cercanos a los recomendados por la Federación Nacional de Cafeteros.

En la tabla 9 se presentan los resultados de una revisión bibliográfica sobre cálculos de las cantidades de N - P₂O₅ - K₂O necesarias para la producción de 100 arrobas de café pergamino seco por hectárea por año. Se aprecia en estos datos que los valores calculados según las recomendaciones de FEDERACAFE (CENI-CAFE 1988) están relativamente cerca a los otros estimativos encontrados en la literatura (19).

La materia orgánica se debe aumentar gradualmente con aplicación de mulch, pulpa, gallinaza o residuos orgánicos descompuestos.

El potasio, el calcio y el magnesio en el nivel deseado guardan la relación 1:6:2 propuesta por Valencia (13), como adecuada para el cafeto y se tiene en cuenta que por encima de 0.35 meq de K por 100 gramos de suelo, la probabilidad de respuesta del cafeto en producción, es inferior al 5% según Mestre, citado por Bravo (1).

En plantación bajo sombra, con 2.500 plantas de café de la variedad Borbón, con 200 gramos de fertilizante por árbol (500 kg/ha/año) se han obtenido producciones de 280 arrobas (3.500 kilogramos) de café pergamino seco por hectárea por año y el testigo, sin fertilizante, siempre produjo más de 100 arrobas de café

TABLA 9
Fertilización del café para cada 100 arrobas de producción (c.p.s.)
por hectárea/año. Revisión bibliográfica (19)

Referencia	Kilogramos por hectárea por año				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
CENICAFE 1988	60	20	60	(17)	(4)
IAPAR (1986)	65	10	75	18	11
IBC 1986	87	6	66	42	15
Costa Rica 1984	87	17	96	23	10
Carrillo 1985	66	12	71	32	16
Malavolta 1985	60	10	60	—	5-10

pergamino seco por hectárea por año. En plantaciones al sol, sin fertilización, se han obtenido producciones promedias por tres o más años (Tabla 10) superiores a 100 arrobas (1.500 kg) de café pergamino seco por hectárea por año (8)

TABLA 10
Producción (arrobas c.p.s./ha/año). Proyecto C-34 promedio de tratamientos
sin fertilización en 5 lugares (8)

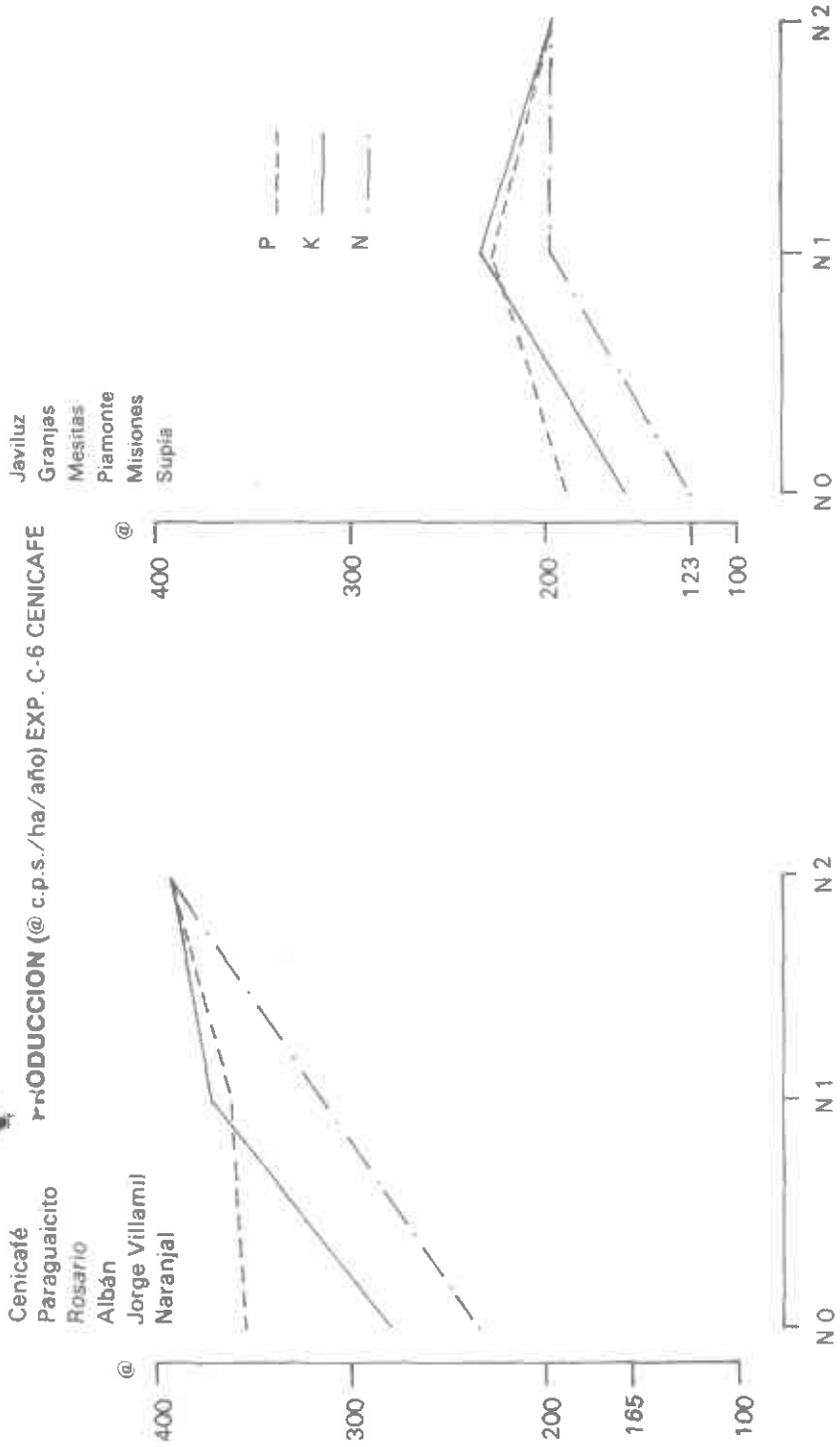
Lugar (Subestación)	Producción	Nº cosechas
Naranjal	168	6
El Rosario	208	5
Paraguaicito	232	7
La Trinidad	116	3
Albán	164	8

Conviene recordar aquí que hasta 1956 Colombia producía anualmente 6'235 000 sacos de café en 782.805 hectáreas en cafetales bajo sombra, sembrados a 3,20 metros entre plantas y sin empleo de fertilizantes químicos, lo que equivale a 38 arrobas (475 kilogramos) de café pergamino seco por hectárea por año; esta producción bien podría haberse duplicado aumentando al doble el número de plantas por hectárea y sin fertilización.

Oferta ambiental de producción

En la figura 4, obtenida con resultados del experimento C-6 de CENICAFE, realizado en 12 lugares diferentes de la zona cafetera colombiana, que corresponde a un factorial de tres elementos en tres dosis, se puede apreciar que hay dos grupos de seis localidades cada uno, según el potencial ambiental de producción así: un grupo de alto potencial de producción (alrededor de 400 arrobas) con la dosis más alta de N, P₂O₅ y K₂O y un segundo grupo de bajo potencial de producción (menos de 250 arrobas), cuyos máximos se logran con la dosis media de los tres elementos

FIGURA 4
Producción (arrobas c.p.s./ha/año). Experimento C-6 CENICAFE, en doce lugares
zona Cafetera Colombiana (8).



Dosis: 0-120-240 kg/ha/año

TABLA 11
Alternativas para fertilización de cafetales (según su producción histórica)

Kg. fertilizantes al suelo, al voleo								
Producción histórica a, c.p.s./ ha/año	Nº Módulos	(1) 17-6-18-2 2 veces/año \$		(3) Mezcla simples 2 veces/año \$		Pulpa seca por árbol	Inyección al suelo (veces/ año)	Foliar (veces/ año)
		Menos de						
100	—	—	—	—	—	—	—	—
100	1	350	63.336	275	38.686	—	—	—
150	1.5	525	95.004	413	58.030	—	—	—
200	2.0	700	126.672	550	77.374	—	2.7	18.7
250	2.5	875	158.340	688	96.717	—	—	—
300	3.0	1.050	190.008	825	116.060	—	—	—
350	3.5	1.225	221.676	963	135.404	—	—	—
400	4.0	1.400	253.344	1.100	154.747	6-12	6.7	36
			(100%)		(60.95%)			

Para producción de café 400 ± 30 arrobas c.p.s./ha/año, se requieren:

240	60	240	} kg/ha/año
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	

Precios de abril 20 de 1993 Manizales

En ambos grupos, los tratamientos sin fertilizantes produjeron más de 100 arrobas (1.250 kilogramos) de café pergamino seco por hectárea por año

Fertilización modular del cafetal

Se acaba de poner en evidencia (figura 4) que existen regiones con diferente oferta ambiental para producción de café, resultante de la interacción de condiciones físicas del suelo con factores de clima (tablas 12 y 13) y que esta oferta ambiental no puede mejorarse con aplicación de altas dosis de fertilizante.

Con los resultados experimentales de CENICAFE en muchos años y con la información bibliográfica disponible se concluye que para producciones de café inferiores a 100 arrobas de café pergamino seco por hectárea por año es necesario fertilizar el cafetal y que por cada 100 arrobas de potencial ambiental de producción es necesario aplicar un *módulo de fertilización* del tipo 60-20-60 de N - P₂O₅ - K₂O respectivamente o su equivalente según los análisis de fertilidad de suelos (19).

El tan amplio margen de seguridad que da el contenido natural de nutrimentos del suelo, permite usar con confianza el concepto de fertilización modular de cafetales, a fin de lograr importantes reducciones de los costos de producción de café en el país

La tabla 11 permite comparar algunas alternativas de fertilización de cafetales y seleccionar los módulos correspondientes según su producción histórica.

TABLA 12
Clima y Suelo. Fresno (Soacol)

CLIMA		SUELO	
Altitud	1 400 m s n m	Textura	Franco
Lluvia	3 200 mm	Mat Org	9.4%
Días lluviosos	174 días	Profundidad	0-70 cm
Temperatura	20°C	Dens aparente	0.7
Brillo solar	1.700 h a	Porosidad	Alta
Evap. potencial	1.098 mm	Mat parental	Cenizas volcánicas
Exceso hídrico	2.149 mm	Clasificación	Typic distrandep.

TABLA 13
Clima y suelo en Gigante (Hulla)

CLIMA		SUELO	
Altitud	1 500 m.s.n.m.	Textura	Arcillosa
Lluvia	1 350 mm	Mat. Org	3.2%
Días lluviosos	250 días	Profundidad	0-20 cm
Temperatura	19.4°C	Dens. aparente	1.0
Brillo solar	1.042 h a	Porosidad	Media
Evap. potencial	1.046 mm	Mat parental	Gneis muscovítico
Exceso hídrico	307 mm	Clasificación	Paralithic dystropep

Dominios de recomendación

Como la agricultura es flexible por naturaleza, permite obtener abundantes cosechas mediante amplia variedad de sistemas de producción, y como es físicamente imposible hacer experimentación en todas las fincas para ajustar las recomendaciones a cada sitio, deben agruparse los agricultores de una zona agroclimática cuyas fincas y prácticas culturales sean similares (*dominios de recomendación*) y hacer extrapolación de resultados experimentales obtenidos en un lugar, a otras regiones donde se presentan clima y suelos razonablemente similares a aquel, para obtener múltiples sistemas de producción o paquetes tecnológicos aplicables a aquellos grupos.

Debe por tanto el técnico ofrecer recomendaciones que sean adecuadas para grupos de agricultores ubicados dentro de ciertos *dominios de recomendación*, puesto que hay que tener en cuenta que existen diferencias entre aquellos por extensión de finca, por tipo de suelo, por actitudes hacia el cambio y por actitudes hacia el riesgo

Bibliografía

- 1 BRAVO, G.E. Fertilización potásica en café. *Rev. Suelos Ecuatoriales* (Colombia). 9 (2): 68-75. 1978
- 2 CARRILLO, I.F. & ESTRADA, H.L.I. Relación de materia orgánica (M.O.) a nitrógeno (N) en el archivo de suelos "perfiles" Centro Nacional de Investigaciones de Café. CENICAFE. (Colombia). Sección de Química Agrícola. Informe Interno 10 p. Mecanografiado. 1986.
- 3 FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchiná. (Colombia). Informe Anual de Labores 1984-1985. Sección Química Agrícola. Mecanografiado. 1985
- 4 FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Chinchiná (Colombia). Disciplina de Química Agrícola. Consideraciones para el éxito de la fertilización de cafetales. Revisión de 1993. 1 p. 1993.
- 5 GOMEZ, A.A. & ALARCON, C.H. Manual de Conservación de Suelos de Ladera. CENICAFE. Chinchiná (Colombia). 276 p. 1975.
- 6 GUERRERO, R.R. El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo. *In: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Fertilidad de suelos, Diagnóstico y control* Bogotá (Colombia) Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo pp. 141-199. 1980.
- 7 MACHADO, S.A. Algunos resultados experimentales con fertilizantes en cafetos. CENICAFE Chinchiná (Colombia). 9 (7-8): 157-198. Julio-agosto 1958.
- 8 MESTRE, M.A. & SALAZAR, A.N. Respuesta del café a la fertilización. Resumen de resultados, cuadros, gráficos. CENICAFE Chinchiná (Colombia). Octubre 1º, 1990.
- 9 MURPHY, L.S. *The fertilizer Handbook*; published by the Fertilizer Institute, Washington, D.C. (U.S.A.) 20.036 pp. 111-135. 1982.
- 10 SALAZAR A.N. La pulpa de café como abono para almácigos y plantaciones de café. *Suelos Ecuatoriales* (Colombia). 13 (1): 147-151. 1953
- 11 SUAREZ de C., F. Distribución de las raíces del cafeto *Coffea arabica* L. en suelo franco-limoso Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. *Boletín Técnico* N° 1: 1-28. 1953
- 12 URIBE, H.A., SALAZAR, A.N. Influencia de la pulpa de café en la producción del cafeto. CENICAFE (Colombia) 34 (2): 44-58. 1983
- 13 VALENCIA, A.G. Nutrición mineral del cafeto. *In: Tecnología del Cultivo del café. COMITECAFE Caldas - CENICAFE* (Colombia). Segunda Edición pp. 113-131. 1988
- 14 VALENCIA, A.G. & CARRILLO, P.I.F. Uso de fertilizantes simples en cafetales. *Avances Técnicos* CENICAFE Chinchiná (Colombia). N° 149. 6 p. Octubre 1990.
- 15 VALENCIA, A.G. Producción de café según condiciones de suelo. Seminario. CENICAFE Chinchiná (Colombia). Junio 29 1990.
- 16 VALENCIA, A.G.; CARRILLO, P.I.F.; & ESTRADA, H.L.I. la fertilización del cafetal según el análisis de suelos. *In: Conferencias Conmemorativas 50 años de CENICAFE. 1938-1988* CENICAFE (Colombia). pp. 97-103. 1990
- 17 VALENCIA, A.G. Actualidad y futuro de los micronutrientes en la caficultura colombiana. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Capital del Valle. Seminario ICA-Palmira (Colombia) Octubre 24-26, 23 p. 1990.
- 18 VALENCIA, A.G. Fertilización de los cafetales. *Avances Técnicos* CENICAFE. Chinchiná (Colombia) N° 175. 6 p. Marzo 1992.
- 19 VALENCIA, A.G. Módulos para la fertilización del cafeto. Seminario, CENICAFE (Colombia) Octubre 2 1992.
- 20 VALENCIA, A.G. Caficultura Colombiana, nutrición y fertilización. Manizales, noviembre 1992. En prensa. Chinchiná (Colombia). Mayo de 1993