

Capítulo 7

Suelo, nutrición y fertilización

Julio Salomón Herrera

SUELOS: NUTRICIÓN Y FERTILIZACIÓN DEL CAFÉ

Julio Salomón Herrera¹

Origen de los suelos

El suelo se forma por descomposición de las rocas siendo una colección de cuerpos naturales y es la capa superficial de la tierra en donde se desarrollan las raíces de las plantas, sirviendo de soporte mecánico y de sustento. La descomposición de las rocas es constante pero extremadamente lenta. El suelo que nosotros conocemos ha demorado miles de años para formarse; conociéndose como meteorización el proceso por el cual se descomponen las rocas y es causado principalmente por la acción del agua y el calor. En la meteorización de las rocas se producen partículas muy pequeñas que, con el tiempo, se van mezclando con residuos de animales y plantas con el agua y el aire, formando lo que conocemos como suelos.

Composición de los suelos.

El suelo está compuesto de diversas formas, dependiendo principalmente de su origen, sin embargo en términos generales, el suelo está compuesto por sustancias sólidas 50%, agua 25%, y aire 25%. Las sustancias sólidas son orgánicas 5% e inorgánicas 45%.

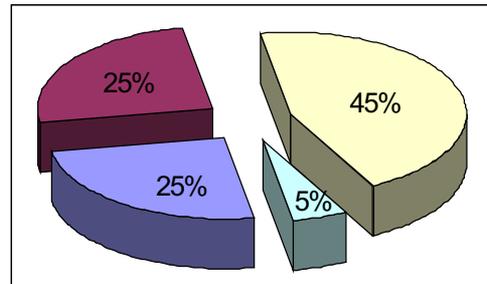


Figura 7.1. Diagrama de composición del suelo.

Material mineral

Es el que proviene de la meteorización de las rocas y son pequeños fragmentos de roca y minerales de varias clases. Los fragmentos de las rocas son residuos de las rocas masivas a partir de los que se ha formado el suelo mediante el proceso de meteorización.

Materia orgánica

Proviene de la acumulación de los residuos vegetales y animales total o parcialmente descompuestos, de alteración continua como resultado de la actividad microbiana. Funciona como granulante de las partículas minerales y es la mayor fuente de azufre y fósforo. Es primordialmente la única fuente de nitrógeno, compuesta de dos fracciones: tejidos vegetales y animales parcialmente descompuestos y el humus que es la partícula coloidal, producto de la síntesis de microorganismos o modificación de tejidos originales.

Agua

Es de mucha importancia porque disuelve las sustancias que absorben las plantas y se almacena en el interior de los poros del suelo con diferentes grados de energía, dependiendo de la cantidad presente y, junto con las sales disueltas, forma la solución del suelo, importante como medio para suplir agua a las plantas en crecimiento.

¹Ex-coordinador del programa de suelos.

Aire

Se localiza en los poros separados de las partículas del suelo y es vital para el intercambio gaseoso en la respiración de las raíces y otros organismos. El aire es necesario para la vida de los microorganismos que viven en el suelo, siendo los encargados de descomponer los residuos vegetales y animales. El aire y el agua son dos fases dinámicas e inversamente proporcionales.

Perfil del suelo

Cuando las rocas se descomponen en partículas y éstas se mezclan con los residuos descompuestos de animales y vegetales, se van formando capas horizontales unas sobre otras, más o menos definidas. A cada capa se le llama *horizonte*. El conjunto de horizontes forma lo que se denomina perfil del suelo.

El perfil del suelo se puede ver o estudiar al realizar un corte vertical en un camino o carretera, también cuando se hace en el terreno un corte, una calicata u hoyo profundo o una zanja.

Horizontes

Si se observa detenidamente el perfil del suelo, se aprecia que no todos los horizontes son iguales, ya que un horizonte es más profundo o de mayor espesor que otro; unos son de color oscuro y otros de color más claro; unos tienen partículas más pequeñas, mientras que otros tienen piedras grandes. De acuerdo con todas estas características, se les denomina *horizonte A*, *horizonte B* y *horizonte C*.

Horizonte A

Es la capa primaria del suelo que está encima, por lo general es de color más oscuro, debido a que contiene más materia orgánica. La profundidad de este horizonte varía mucho de un lugar a otro, por lo que algunas veces se dice que la fertilidad del suelo es mejor cuanto más profundo sea el horizonte A.

Horizonte B

Observando de la parte superior hacia abajo el perfil del suelo, el horizonte B es la segunda capa. Siendo de color más claro que el horizonte A, ya que contiene menor cantidad de materia orgánica. Su profundidad es muy variable, a este horizonte también se le conoce como subsuelo.

Horizonte C

Lo encontramos en la capa más baja del perfil del suelo, está o descansa sobre la roca donde se origina el suelo.

Propiedades físicas del suelo

Textura

Al estudiar las partículas que forman el suelo, éstas son de diferentes tamaños; las más pequeñas se llaman arcillas; las más grandes o gruesas se llaman arenas y las que tienen un tamaño intermedio entre las arcillas y las arenas se denomina limo.

Las arenas, las arcillas y los limos se encuentran en todos los suelos, pero en diferentes cantidades, y la distribución relativa de las tres partículas primarias, o sea, su cantidad o porcentaje en que se encuentra en un suelo, determinan su textura. Dado que los suelos están compuestos por partículas pequeñas de

diferentes tamaños, su distribución relativa los ubica dentro una determinada clase textural, existiendo tres grupos muy amplios: suelos arenosos, suelos francos y suelos arcillosos. Dentro de estos se establece una serie de clases de textura que van, desde los suelos gruesos (arenosos), fáciles de laborar hasta los arcillosos que son muy finos y difíciles de manejar.

La textura es la responsable de las propiedades físicas que dan al suelo mayor o menor grado de facilidad para el laboreo, influenciando notablemente la retención de humedad, balance de agua-aire, velocidad de infiltración, penetración de raíces, permeabilidad y condiciona características químicas que tienen que ver con la fertilidad del suelo.

Estructura

Se entiende por estructura al agrupamiento de las partículas del suelo que dan como resultado la formación de agregados, terrones o gránulos de diferentes formas y tamaños debido a que en su formación intervienen diferentes factores: contenido de materia orgánica, influencia de las raíces de las plantas de café y sombra, actividad microbiana, alternancia de humedecimiento y secado, cantidad y calidad de los materiales coloidales presentes, laboreo del suelo, etc.

La estructura afecta el desarrollo de las raíces y el movimiento del agua en el suelo, favoreciéndose éstos procesos en condiciones de estructura granular.

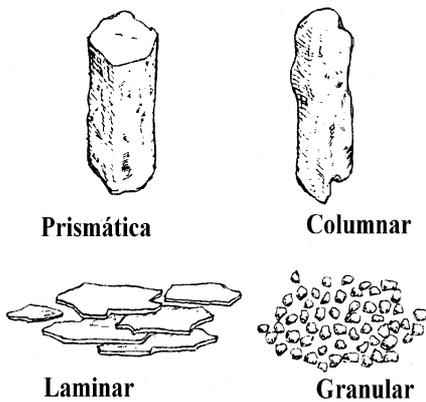


Figura 7.2. Diferentes tipos de estructuras de suelos.

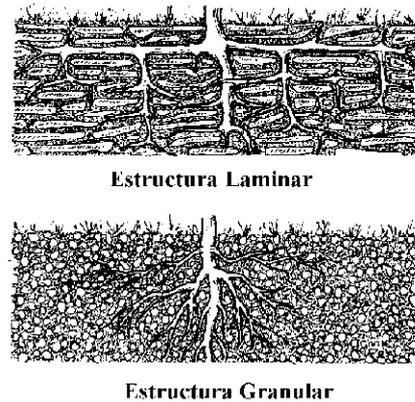


Figura 7.3. Crecimiento de las raíces de acuerdo a la estructura

Porosidad

El espacio poroso de un suelo es la porción ocupada por aire y agua que resulta del agrupamiento de las partículas para formar terrones, quedando entre ellos espacios de tamaño variable. Mientras más grandes son las partículas, como en el caso de las arenas, los espacios son mayores y se les llama macroporo. Estos permiten que el movimiento del aire y el agua sea más fácil.

Cuando las partículas del suelo son muy pequeñas, como es el caso de las arcillas, se les denomina microporos y en ellas el aire y el agua circulan con dificultad.

Profundidad efectiva

Es la profundidad o espesor del suelo hasta donde las raíces de las plantas o cultivos estrictamente aeróbicos penetran fácilmente en busca de obtener preferentemente el agua y los nutrientes necesarios para su normal crecimiento y desarrollo.

Color

Es una de las características que se distinguen fácilmente en los suelos. En los suelos tropicales, el color tiende a ser dominado por tonalidades rojas y amarillas. En los suelos de buen drenaje, la materia orgánica y los compuestos de hierro son los principales agentes responsables del color. Generalmente, el color negro de los suelos indica un mayor contenido de materia orgánica. El color rojo está relacionado con la abundancia de compuestos de hierro e indica que tiene buen drenaje, es decir, que no se encharcan. El color amarillo indica suelos con alguna deficiencia de drenaje, y se pueden encharcar con facilidad.

Propiedades químicas y nutrición

El suelo es un cuerpo o ente natural dinámico que proporciona directamente al café el suplemento de nutrientes y agua, conocer mejor el comportamiento y la dinámica de los nutrientes teniendo presente las siguientes fases: la reserva del suelo (factor cantidad), su transformación o dinámica (factor capacidad) y su concentración en la solución del suelo (factor intensidad). En la Figura 7.4 se describe su dinámica y comportamiento.

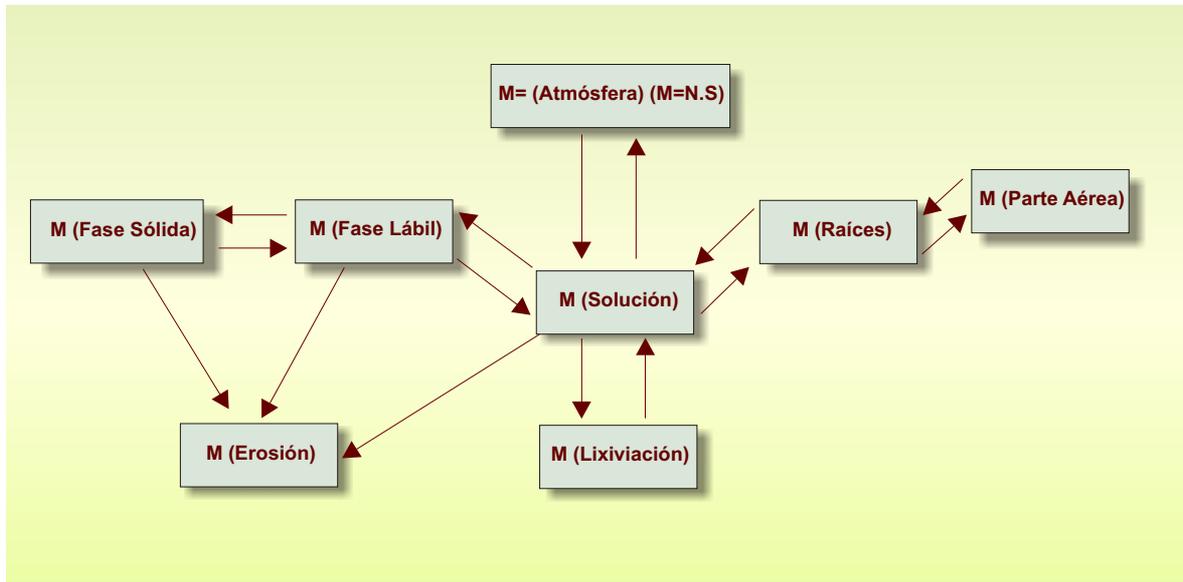


Figura 7.4. Fases del comportamiento y dinámica de los nutrientes.

M= Macro y Micronutrientes

Fase Sólida= Materia orgánica, minerales primarios y secundarios

Fase Lábil = Complejo de intercambio

La aplicación de fertilizantes (nutrientes), partiendo de un buen diagnóstico del suelo, permite una nutrición bien orientada, lo que aumenta y eleva la concentración de uno o más elementos en la solución del suelo; de esta manera se produce una transferencia adecuada y constante de éstos hacia las raíces y, al mismo tiempo, se obtiene un balance entre todos los nutrientes.

Las principales funciones desempeñadas por los elementos en el proceso de desarrollo y en la formación del rendimiento pueden verse en el Cuadro 7.1.

Reacción del suelo o pH

Existen dentro de la reacción del suelo dos efectos que deben diferenciarse: uno directo y otro indirecto.

Efecto directo

En las condiciones del suelo, el efecto directo se refiere tanto a la influencia del pH sobre el crecimiento y la producción, como a la concentración de iones hidrógenos. Este efecto es menos importante que el efecto indirecto. Pues el efecto directo del pH se relaciona con la absorción.

Cuadro 7.1. Principales papeles desempeñados por los elementos en el proceso general de la formación del rendimiento.

Elemento	Función desempeñada
Nitrógeno	Formación de la parte vegetativa (asociado con el K) Formación y desarrollo de los botones florales Menos muerte descendente (asociado con el K)
Fósforo	Absorción de macro y micronutrientes (asociado con el Mg) Formación de la fruta Maduración Reservas de almidones (asociados con el K)
Potasio	Formación de la parte vegetativa (asociado con el N) Formación y transporte de carbohidratos Reservas de almidones (asociado con N)
Calcio	Desarrollo de la raíz Absorción de macro y micronutrientes Tolerancia a la toxicidad de Al y Mn Formación de la fruta
Magnesio	Formación de la parte vegetativa Absorción de macro y micronutrientes (asociado con P y Ca)
Boro	Absorción de macro y micronutrientes (en relación a P, Mg y Ca) Crecimiento de la raíz (asociado con Ca) Crecimiento de los entrenudos Número de ramas laterales Número y diferenciación de los brotes florales Germinación del polen y crecimiento de los tubos polinizadores Crecimiento del fruto
Cloro	Fotosíntesis y crecimiento general Transporte de azúcar a la fruta
Cobre	Fotosíntesis y crecimiento general Resistencia a enfermedades Efecto tónico (hojas de color verde, menor caída de hojas y frutos)
Hierro	Color de la semilla
Manganeso	Fotosíntesis (crecimiento general)
Molibdeno	Utilización de nitrógeno (asociado con P, S y Fe)
Zinc	Crecimiento de los entrenudos

Efecto indirecto

Este efecto se refiere a la influencia del pH en la disponibilidad de los elementos nutritivos y, de esta manera, influye decisivamente en el crecimiento y la producción. Es la reacción del suelo que tiene su influencia en la disponibilidad de los macros y micronutrientes.

El nitrógeno, el azufre y el boro tienen como fuente primaria la materia orgánica del suelo; en condiciones naturales, al mineralizarse por la acción de los microorganismos se liberan estos nutrientes de forma que las plantas pueden aprovecharlos. Los nutrientes se presentan como amonio (NH_4^+), boratos o en formas oxidadas; como nitratos (NO_3^-) y sulfatos (SO_4^{2-}), que en condiciones de pH bajos o de acidez acentuada, reduce la actividad de los microorganismos y disminuye el suplemento de nitrógeno, azufre y boro.

En suelos muy ácidos o con pH entre 3 y 5 los iones ácido fosfórico (HPO_4^-) y (H_2PO_4^-) son fijados por óxidos de hierro, aluminio y manganeso; a mayor pH, la fijación se debe a la reacción que ocurre sobre todo con el calcio, pues la mayor disponibilidad de fósforo está entre los pH de 6 y 7.

La disponibilidad de las bases intercambiables potasio, calcio y magnesio es mayor conforme sube el pH; al contrario, si el pH es bajo, hay pocas bases intercambiables en el suelo principalmente de calcio y de magnesio, por lo que aparecerán síntomas de deficiencia de calcio y de magnesio en las hojas del café.

La disponibilidad de los micronutrientes, en relación al pH se da de la siguiente forma: en la medida que éste sube se incrementa la disponibilidad de cloro y molibdeno, ya que aumenta la concentración de oxidrilos (OH^-) que disocian los iones de molibdeno y de cloro en la solución del suelo.

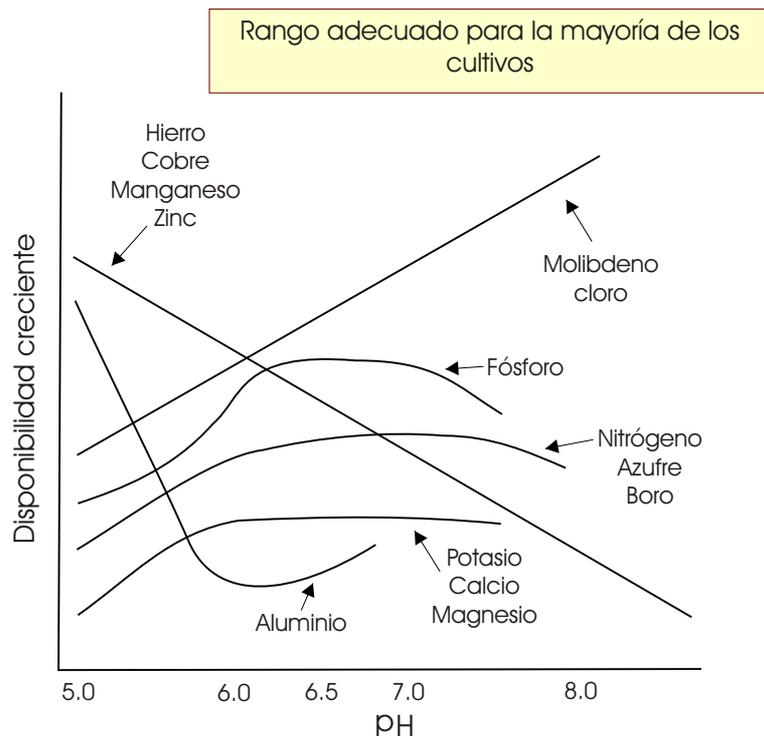


Figura 7.5. Relación entre el pH y la disponibilidad de macro y micronutrientes

Al contrario de lo que acontece con el molibdeno y con el cloro, la disponibilidad de cobre, de hierro, de manganeso y de zinc disminuye a medida que el pH aumenta, como consecuencia de la menor disponibilidad.

En la Figura 7.5, se esquematiza la relación entre el pH y la disponibilidad de los elementos. Puede observarse que los suelos más productivos presentan un pH entre 6 y 7; los de menor producción tienen un pH 4.5 y 5.5 y los suelos medianamente productivos se encuentran con un pH entre 5.1 y 6.0.

Respuestas del cafeto a la aplicación de nutrientes

NITRÓGENO (N)

El nitrógeno es un constituyente de las sustancias más importantes de la célula. Está ligado a todas las proteínas, a las sustancias orgánicas básicas, a las enzimas, a la clorofila y a otras sustancias como alcaloides. El N no puede ser reemplazado por otros elementos, ni aun en pequeñas cantidades (Steward, 1963).

Como el N es un constituyente esencial de las proteínas, en caso de deficiencia, la formación de proteínas se detendrá y no habrá otro camino para el desarrollo que la planta del café, utilice sus propias sustancias nitrogenadas de sus órganos viejos, especialmente de sus hojas.

El crecimiento ortotrópico y plagiotrópico con sus tejidos meristemáticos y el fruto actúan como el más activo drenaje para el N. Las hojas viejas descomponen sus propias proteínas del citoplasma y de los plastidios. Los aminoácidos resultantes se transportan a los centros de crecimiento y producen una nueva posibilidad de crecimiento.

En la descomposición de las proteínas de las hojas viejas, no se puede liberar una cantidad suficiente de aminoácidos para un crecimiento vigoroso del extremo superior y de los frutos. El desarrollo de los tejidos meristemáticos también se ve retardado. La descomposición de proteínas se proyecta a toda la planta. La descomposición de los plastidios causa una clorosis, las hojas adoptan un color verde claro y amarillo en el último período, como ellas son heterotróficas y han perdido su capacidad de asimilación de anhídrido carbónico (CO₂), mueren. Este proceso no es tan rápido, las plantas de café deficientes en N sobreviven por semanas y aun meses y durante todo ese tiempo la mayoría de la actividad metabólica está dirigida a la formación de flores y semillas. Los frutos maduran prematuramente, pero son pocos, pequeños y no alcanzan su tamaño y forma normal.

El fundamento fisiológico de la clorosis o amarillamiento, síntoma típico de la deficiencia de N, debido a la descomposición de las proteínas por la movilidad del N los síntomas aparecen en primer lugar en las hojas viejas.

Se ha demostrado tanto a nivel experimental como de plantación comercial que el nitrógeno es el elemento aplicado en cantidades más altas en el cafetal y su aplicación debe ser fraccionada en dos o más veces. En la práctica, cuando la fuente de N es urea, se aconseja mezclar ligeramente el fertilizante con el suelo para evitar pérdidas por volatilización; otros aspectos que se deben considerar es que el nitrógeno puede lixiviarse rápidamente, esto significa que no es necesario su aplicación profunda.

Los fertilizantes nitrogenados que contienen amonio, o se transforman en amonio como la urea, incrementan la acidez del suelo dando como consecuencia que el aluminio y el manganeso intercambiable aumenten su contenido en el suelo y los tejidos vegetales, llegando a niveles tóxicos, que provocaran merma en la producción de café.

En Honduras se observó en cafetales con sombra del género *Inga* sp. cultivados con la variedad Catuai, en Campamento Olancho durante cinco cosechas consecutivas y aplicando 80 Kg N/ha, se obtuvieron las mejores cosechas superando en 17.2% al testigo con 0.0 Kg de N en el promedio general acumulado. La aplicación de N se fraccionó en 3 veces al año, la respuesta positiva a esta cantidad de nitrógeno entre otros aspectos posiblemente se deba a una fijación del N por los árboles de *Inga* en el sistema y a que la capacidad fotosintética, la floración y la capacidad productiva, son controladas por el sombreado disminuyendo en estas condiciones las necesidades de fertilizantes y particularmente las de nitrógeno.

FOSFORO (P)

El fósforo está ligado a los fosfatidos, a los nucleótidos, a las enzimas, y a la fitina y es imprescindible en los procesos energéticos del metabolismo al actuar las sustancias orgánicas, principalmente azúcares, formando ésteres. Sin los ésteres azúcar- fosfato, la respiración no es posible, una pequeña parte del fósforo en la planta de café de 0.1 a 0.5% se encuentra en la célula como ion fosfato (PO_4^-). Cuando la planta de café tiene deficiencia de fósforo, puede provocar, los siguientes trastornos en su funcionamiento o actividad fisiológica :

- a) Rápida muerte de la planta, debido a que las membranas no pueden trabajar sin fosfatidos. La semipermeabilidad se destruye y los compartimientos celulares se deberán mezclar unos con otros y con la solución que rodea la célula.
- b) La planta de café muestra cambios metabólicos, debido a que las informaciones del núcleo son transmitidas irregularmente; además son inefectivas sus numerosas enzimas..
- c) Hay parálisis de la respiración y un enriquecimiento de las células en carbohidratos.

Todos los trastornos descritos no se pueden apreciar externamente en la planta, sin embargo, la deficiencia de fósforo en la planta del café se aprecian visualmente en las siguientes síntomas:

- El crecimiento se retarda
- El color de las hojas se oscurece
- Las hojas viejas aparecen de color rojizo, por la alta concentración de antocianinas.

En la etapa productiva, del cafeto no son muy frecuentes las respuestas a la aplicación de fósforo como P_2O_5 ; ya que el cafeto deriva una gran parte de fósforo de la solución del suelo que recibe de la materia orgánica, y otra por el proceso de mineralización de los minerales primarios.

De los ensayos realizados en diferentes zonas cafetaleras, de nuestro país y aun cuando en el análisis del suelo aparecen contenidos bajos del elemento, no se han encontrado respuestas a la aplicación de dosis crecientes de P_2O_5 ; por lo que se recomiendan bajos niveles de aplicación de este elemento entre (40 y 60 Kg de P_2O_5 / ha;) coincidiendo con la absorción continua y lenta de este nutriente a través del año por el cafeto tal como se observa en la Figura 7.6.

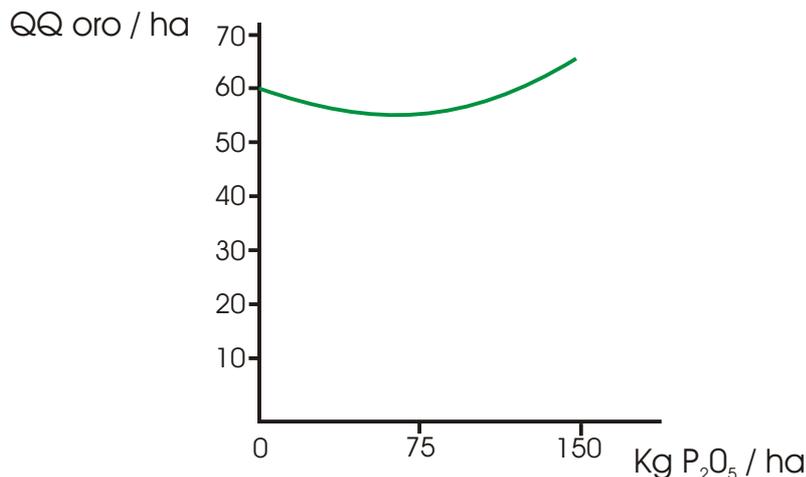


Figura 7.6. Efecto de la aplicación de niveles de fosforo en la producción de café.

En las plantas jóvenes los requerimientos de fósforo son mayores y por esto requieren una proporción más grande de P en los fertilizantes o abonos que se aplican; ya que también está muy relacionada su influencia en la formación de raíces que proporciona un mayor anclaje y eficiencia en la absorción de nutrientes y agua por planta. Las plantas absorben este elemento como los iones H_2PO_4^- ó HPO_4^{2-} , según el pH del suelo. El nivel crítico de P, que usa el laboratorio de análisis de suelos del IHCAFE, es el de 10 ppm, utilizando como solución extractora la de Mehlich 1 (Doble ácido).

POTASIO (K)

El potasio nunca se encuentra ligado a compuestos orgánicos. El K tiene una alta movilidad en los tejidos de la planta y siempre actúa como un ion, siendo el más importante para aumentar la expansión de las proteínas. Es también un activador de muchas enzimas y tiene influencia en el orden de las moléculas de agua, debido a su alta movilidad; es esencial donde se dan importantes cambios de presión osmótica, por ejemplo, en las células estomáticas.

El flujo de K aumenta la presión osmótica y el reflujo de K disminuye la presión osmótica y los estomas se abren. Existen evidencias de que el K aumenta la resistencia de las plantas a enfermedades y al frío.

Al realizar un análisis de los síntomas de la deficiencia de K, la secuencia del desarrollo se da en el orden siguiente :

- Disminución del contenido de K
- Paralización del crecimiento.
- Marchitamiento
- Translocación del K de las partes viejas de la planta de café a las nuevas
- Manchas o puntos necróticos en el ápice y, seguidamente, en los bordes de las hojas viejas.
- Multiplicación de los síntomas anteriormente señalados hasta la muerte de la planta.

En caso de la paralización del crecimiento se puede explicar por el hecho de que la movilización del K, desde las hojas viejas, no es lo suficientemente rápido, para un desarrollo normal. Las hojas nuevas permanecen verdes pero son de menor tamaño que las normales. El marchitamiento está estrechamente relacionado y ligado a la perturbación del intercambio de K en las células estomáticas. La planta no es capaz de protegerse a sí misma de una alta transpiración. Las pérdidas de agua son mayores que la absorción y el transporte, produciéndose el marchitamiento. Al comienzo de la deficiencia de K, el crecimiento de la planta no cesa, pero se retarda y al ampliarse por un mayor crecimiento de las hojas y los tallos, el K de las células disminuye más y más debido a la translocación. El contenido de potasio de algunas células viejas alcanza un mínimo de concentración. Como el K contribuye más que otros iones a la turgencia de la célula, cuando ésta disminuye, las células sin turgencias colapsan y mueren.

El colapso de las células, sólo puede observarse microscópicamente (Bussler,1970). A medida que aumentan el colapso de las células, aparecen más manchas o puntos necróticos; esto continúa hasta que los puntos necróticos están juntos formando áreas enteras en los ápices y bordes de las hojas. Las células mueren y el proceso continúa hasta que las hojas enteras mueren.

El potasio se absorbe del suelo en forma iónica; (K^+); tanto de la solución del suelo como por absorción directa. En nuestro país, las respuestas a la aplicación de dosis crecientes de potasio las hemos obtenido

especialmente en suelos con bajos contenidos (0.25 meq /100g de suelo), donde, con la aplicación de 90 Kg de K_2O / ha se obtuvieron 67.88 qq de café pergamino seco/ha superando al testigo absoluto en 41.7% (Figura 7.7).

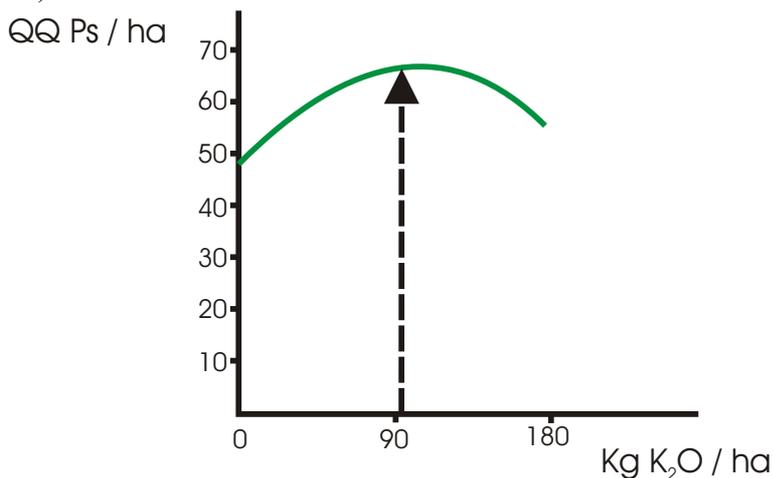


Figura 7.7. Efecto de la aplicación de niveles de Potasio en la producción de café.

En el laboratorio de análisis de suelos, después de los estudios de calibración, se ha determinado que el nivel crítico de K es el de 0.45 meq 100g de suelo; en los suelos con contenidos mayores únicamente se hace la recomendación de aplicar K para sustituir el que se exporta por las cosechas; ya que, es el nutriente que en mayor cantidad extrae la cosecha del suelo. En general, se podría decir que la cantidad de K que se extrae es similar a la que se extrae de N.

CALCIO (Ca)

El calcio se encuentra ligado a compuestos orgánicos de la célula. Tiene una importante función en la estabilización de la pectina en la lámina media de la pared celular. Se encuentra en precipitados como oxalato de calcio en la fitina, formando sales de ácido inositol hexafosfórico. En el café, el efecto de calcio es vital para el crecimiento de las raíces; así las cantidades de este nutriente en las raíces, tallos y ramas del café son iguales a las de potasio.

En suelos con bajo contenido de calcio, las plantas de café manifiestan los síntomas de carencia, inicialmente en las hojas nuevas, observándose una área clorótica (blanco-amarillenta) que se extiende del borde de la hoja hacia el centro y provoca generalmente una deformación convexa de la lámina foliar y un sistema radicular muy pobre. La falta de calcio generalmente coincide con una fuerte acidez del suelo, que también produce una baja saturación del complejo de cambio con los nutrientes catiónicos Ca, Mg y K. En el laboratorio de análisis de suelos utilizando la solución de KCl 1N, como extractora se considera como nivel crítico el de 4 meq de Ca 100 g de suelo.

MAGNESIO (Mg)

De igual manera que el calcio y el potasio, el magnesio también tiene funciones en la célula de la planta. El Mg es un activador de enzimas, especialmente en la fotofosforilización y en la síntesis de proteína. Alrededor de un 15% del Mg total, es componente de la clorofila, formando sales conjuntamente con la fitina y pectina. Durante la deficiencia de Mg, la fracción soluble de las hojas viejas se transporta hacia

los centros de crecimiento, ápices y frutos. Esta deficiencia se aprecia en las hojas adyacentes a las cerezas, presentando una clorosis o amarillamiento entre la nervadura principal y secundaria. Cuando es muy aguda se produce una caída intensa de las hojas que al final ocasiona una fuerte reducción de grano en la cosecha.

En las hojas con deficiencia de N, la clorosis es uniforme. En la deficiencia de Mg se observan siempre juntos tejidos verdes y amarillos. Esto se debe a que la liberación de magnesio en las hojas viejas es más lenta que la liberación de N. El magnesio en el suelo se presenta como catión intercambiable; donde generalmente los suelos contienen menos Mg que Ca pues el primero es más soluble y, así, se pierde más fácilmente. De igual manera se ha demostrado que existe una relación inversa entre el K y el Mg en el cultivo del café, reflejando la inhibición competitiva del K en la absorción de magnesio (Herrera,1995). Se observa que, en la medida que se aumenta la aplicación de K_2O al suelo, se incrementa la concentración de K en la hoja y disminuye el contenido de magnesio. En el laboratorio de análisis de suelos, se ha considerado como nivel crítico de Mg el de 1 meq de Mg/100 g de suelo, utilizando KCl 1N como solución extractora.

AZUFRE (S)

El azufre se encuentra en las células de las plantas de forma inorgánica y orgánica. El S es un constituyente de las proteínas, comparable al nitrógeno y forma parte de diferentes aminoácidos, ésteres, además tiene una función especial en los potenciales redox. En condiciones de deficiencia, la fracción inorgánica de S se reduce de un 50% del S total a un 1%. Si hay cloro en la solución del suelo, el cloro reemplaza al ión Sulfato (SO_4^-). Como consecuencia de esta sustitución, la expansión de las proteínas aumenta, las hojas muestran tendencia a la succulencia, engruesan y son más jugosas. Los entrenudos permanecen cortos y el verde es normal. Si la deficiencia continúa, otra fracción de S se ve envuelta en el desarrollo de los síntomas. Su apariencia es similar a la de los síntomas de deficiencia de N. Los síntomas de deficiencia de S aparecen, en primer lugar, en las hojas jóvenes o nuevas. La clorosis o amarillamiento no tiene un comportamiento uniforme como en el caso de la deficiencia de N. En algunas ocasiones, se limita a una estrecha faja cerca de las venas y posteriormente, pasa a las hojas jóvenes que se vuelven completamente amarillas, evidenciándose que la planta no tiene la capacidad de translocar S de las hojas viejas (como en el caso de la deficiencia de N) hacia las hojas jóvenes. La formación de proteínas se interrumpe debido a una deficiencia de aminoácidos que contienen azufre.

La deficiencia se aprecia más en suelos con bajo contenido de materia orgánica de textura arenosa y con fertilización que contenga un alto contenido de fósforo ;en muchos casos se debe a la poca mineralización de la materia orgánica que es una fuente importante del nutriente y a que las arcillas retienen el sulfato en el suelo. En suelos donde el cafeto presenta la deficiencia de azufre, generalmente los frutos no alcanzan su desarrollo normal, quedándose con un tamaño pequeño.

En la región cafetalera de influencia del lago de Yojoa, caracterizado por suelos de origen volcánico, muy meteorizados, existen respuestas a la aplicación de niveles crecientes de azufre, donde, con la aplicación de 30 Kg de S/ha, se ha obtenido un incremento del 27% en la producción del café.

ZINC (Zn)

El zinc activa diversos procesos enzimáticos: la fosforilación de la glucosa y, a través de ella, la formación de almidón, activa peptidasas, condensación de aminoácidos a proteínas y la síntesis del ácido indolacético y del triptófano. Los síntomas de deficiencia de Zn en los cafetos se reconoce por una clorosis intervenal en las hojas nuevas, que se presentan deformes y muy pequeñas y, como característica principal, los entrenudos son cortos, lo que le da a las bandolas una forma de roseta. Las hojas se mantienen pequeñas por una disminución de la síntesis del triptófano y del ácido indolacético (AIA).

En nuestro país, este nutriente es frecuentemente deficiente en el café, en los suelos más diversos. La corrección es fácil por vía foliar, ya que el café absorbe eficientemente este elemento por las hojas. Aspersiones foliares de sulfato de zinc quelatado en dosis de 6cc/lts de agua, dos veces al año son suficientes para su corrección. En el laboratorio de análisis de suelos, se tiene como nivel crítico el de 4 ppm de Zn, con la solución extractora de Mehlich 1.

HIERRO (Fe)

La principal función del hierro es la activación de diferentes enzimas en las que participa como grupo proteico (citocromos, catalasa, peroxidasas, deshidrogenasas). El Fe también se encuentra en la célula, formando una compleja unión con moléculas de porfirina (las moléculas de porfirina tampoco se pueden formar sin hierro). El papel fundamental del hierro se encuentra en la formación de la clorofila cuya precursora es una Fe - 9 protoporfirina.



Figura 7.8. Respuesta del café a una fertilización adecuada.

De acuerdo a sus funciones, se puede esperar que, en caso de una deficiencia de hierro, la respiración debe disminuir y la deficiencia de energía metabólica debe ser seguida por una disminución de las actividades de síntesis; por ejemplo la síntesis de proteínas y también la síntesis de clorofila se debe interrumpir. Los síntomas que se observan en las plantas de café deficientes en hierro son: una clorosis en las hojas jóvenes, las venas o nervaduras permanecen durante más tiempo verde que los tejidos intervenales y posteriormente, la hoja toma un color amarillo uniforme.

Aunque aparentemente la deficiencia se debería a una baja movilidad del hierro, no hay que olvidar que ésta se debe a una disminución de la síntesis de clorofila. Los suelos con altos contenidos de manganeso presentan problemas en la absorción de Fe por el café. Si la deficiencia de hierro no es severa, la producción de la planta no se ve seriamente afectada, sin embargo, en viveros, puede presentarse raquitismo y defoliación. En el laboratorio de análisis de suelos, se tiene como nivel crítico 15 ppm con la solución extractora de Mehlich 1.

MANGANESO (Mn)

El manganeso se encuentra presente en una compleja unión con aminoácidos y participa en reacciones de oxidación - reducción; también participa en la reducción de los nitratos. El Mn tiene también funciones como activador de enzimas de diversos procesos metabólicos de importancia general, por ejemplo, la asimilación de CO₂, la descarboxilación e hidrólisis de peptidasas y en la acción de la arginasa y también actúa en la síntesis de ácido ascórbico y junto al Fe en síntesis de clorofila.

En nuestro país, su deficiencia es muy rara, antes bien, se ha encontrado niveles de 600 y 800 ppm de manganeso en hojas de café en etapa productiva y su efecto no ha provocado un detrimento en la producción, especialmente en suelos ácidos con pH de 4.5 a 5.0; esto ilustra la considerable tolerancia del café a problemas de acidez en el suelo. El síntoma característico de deficiencia es una clorosis intervenal, en forma de manchas en hojas nuevas, debido sobre todo a la descomposición de proteínas y clorofila. En suelos muy ácidos, se presentan niveles muy altos de manganeso soluble, que dificulta la absorción de Hierro y Zinc, con consecuencias negativas en la producción. En el laboratorio de análisis de suelos, se tiene como nivel crítico el de 60 ppm de Mn, con la solución extractora Mehlich 1.

COBRE (Cu)

El cobre se encuentra como un constituyente de uniones complejas con ciertas enzimas respiratorias (ferrosinasa, lacasa, oxidasa del ácido ascórbico). También se encuentra ligado a los cloroplastos. Tiene una actuación preponderante en la reacción del fenol y polifenol oxidasas en la oxidación de fenoles a quininas y en la polimerización de las quininas a melaninas. En Honduras, no se han detectado síntomas de deficiencia visuales de este elemento, probablemente se deba a la aplicación de fungicidas cúpricos usados para el control preventivo de la roya, donde proporciona suficiente cantidad de cobre para mantener satisfechas las demandas de este nutriente por la planta de café.

La deficiencia de Cu presenta la siguiente secuencia :

- Marchitación de las hojas jóvenes
- Enrollamiento de las hojas jóvenes
- Inclinación de pecíolos y tallos
- Clorosis en las hojas viejas y anormalmente dobladas hacia abajo. La Clorosis no aparece siempre en la deficiencia de cobre.
- En caso de deficiencia extrema, hay defoliación y muerte de ramas laterales.

En el laboratorio de análisis de suelos, se tiene como nivel crítico el de 1 ppm de Cu, con la solución extractor Mehlich 1.

BORO (B)

El boro es un estabilizador de las cadenas de celulosa de la pared celular; también influye, en combinación con el calcio, en la formación de pectina y tiene un papel principal de influencia sobre las auxinas y los ácidos nucleicos en la central de información de los sistemas de crecimiento y diferenciación celular. Más del 50% del B total de las plantas se acumula en la pared celular.

La deficiencia de B se presenta generalmente a fines del período seco, ya que en estas condiciones se reduce la movilidad del elemento en el suelo.

La manifestación de la deficiencia presenta los siguientes síntomas :

- Amarillamiento en las hojas viejas que se inicia en la punta o ápice y avanza hasta la mitad o

un poco más, formándose un tejido corchoso sobre las nervaduras.

- Crecimiento reducido de las bandolas y entrenudos cortos.
- En las hojas jóvenes, aparecen puntos de color café.
- Las hojas nuevas se deforman y aparecen torcidas, arrugadas o con bordes irregulares.
- La yema terminal de las ramas muere, ocasionando que la planta presente nuevos brotes y aparezcan ramas en forma de palmilla o abanico con abortamiento de flores que causan daños a la producción.

Las yemas terminales o tejido meristemático muere, porque pierde su conexión con los vasos conductores. En esta etapa de la deficiencia de B, se tiene una casi completa perturbación del metabolismo de la planta.

En nuestro país, no son tan frecuentes los problemas de boro, como sucede con el caso del zinc. Se recomienda para aquellas zonas cafetaleras con problemas de deficiencia de este elemento aplicar: Poliboro de (3 a 2.5 Kg / ha vía foliar); Borax de 10 a 25 gramos por planta o aspersiones foliares al 0.3%. Los análisis de suelos son difíciles de interpretar o de realizar su determinación en los análisis de rutina del laboratorio; pero se estima que el análisis foliar es una buena indicación para conocer el contenido de B.

MOLIBDENO (Mo)

La función mejor conocida del Mo tiene lugar en el metabolismo del N, actuando en la reducción de los nitratos. Hay algunas enzimas que actúan solamente en presencia de Mo, Cu y $SO_4^{=}$; pues el papel del Mo no se puede analizar aisladamente. El Mo es un micronutriente que se requiere en cantidades muy bajas; en nuestro país, como en la mayoría de los países de tradición cafetalera, no se han detectado problemas en el campo de la deficiencia de Mo.

Existe también un efecto indirecto del exceso de nutrientes y se debe a que éstos, por su alta concentración, compiten ventajosamente con otros nutrientes durante la absorción, la translocación y en el desempeño de su función fisiológica. Como consecuencia del antagonismo iónico entre nutrientes, se inducen deficiencias y, entonces, el exceso o toxicidad provoca la sintomatología de la deficiencia indebida.

Cuadro 7.2. Ejemplos de deficiencias inducidas por reacciones interiónicas.

Exceso de:	Induce deficiencia de:	Observaciones
NH_4^+ (amonio), Na^+ (sodio), H^+ (hidrógeno)	K^+ (potasio), Ca^{++} (calcio)	Antagonismo y competencia en la absorción
K^+ (potasio)	Ca^{++} (calcio), Mg^{++} (Magnesio)	Antagonismo, precipitación
Ca^{++} (calcio)	K^+ (potasio), Mg^{++} (Magnesio), P (fósforo), Fe^{++} (hierro), B (boro)	Antagonismo, precipitación, cambios de pH
NO_3^- (Nitrato)	K^+ (potasio), Mo (molibdeno)	Rápido desarrollo de la planta, dilución de K y Mo
$SO_4^{=}$ (sulfato)	Ca^{++} (calcio)	Precipitación
$HPO_4^{=}$ (ácido fosfórico)	Ca^{++} (calcio), Fe^{++} (hierro), Zn^{++} (zinc)	Cambios metabólicos
Fe^{++} (hierro)	Mn^{++} (manganeso), P (fósforo)	Antagonismo, precipitación
Cu^{++} (cobre), Zn^{++} (zinc)	Fe^{++} (hierro), Mn^{++} (manganeso)	Antagonismo
N (nitrógeno), Co^{+++} (cobalto), Cr^{+++} (cromo)	Fe^{++} (hierro)	Antagonismo
Al^{+++} (Aluminio)	P (fosforo)	Precipitación
B (Boro)	Mo (molibdeno)	Antagonismo

El diagnóstico de los síntomas de deficiencia

Una vez que se descarta que los síntomas se deben a un agente externo o a un problema de toxicidad, se establece cuál es el origen de los síntomas de las deficiencias observadas. Con una amplia experiencia es posible determinar el origen de los síntomas de deficiencia, ya que, en general, tiene un patrón característico para cada nutriente; también es importante considerar dónde aparece exactamente el síntoma y qué desarrollo sigue. Es a su vez imprescindible que el diagnosticador tenga ciertos conocimientos fundamentales sobre las funciones y movilidad de los nutrientes, así como la secuencia de desarrollo de los síntomas.

Sin embargo, la seguridad del diagnóstico se basará en la experiencia y conocimientos que se tengan de las condiciones del medio en que se desarrolla el cultivo, de la problemática nutricional de la región y del cultivo del café. A continuación se presenta un conjunto de síntomas característicos de deficiencias nutricionales, distribuidos en el Cuadro 7.3 y figura 7.9.a-7.9.k.

Cuadro 7.3. Pequeñas claves de síntomas de deficiencia nutricionales.

Figura	Síntomas de	Deficiencia de
7.9.a	Hojas más claras que las normales, de verde pálido a clorosis amarilla, más o menos uniforme.	N
7.9.b	Hojas de color verde oscuro, hojas viejas de color rojizo con antocianinas.	P
7.9.c	Hojas viejas con necrosis en el ápice, después necrosis en los bordes.	K
7.9.d	Hojas nuevas con bordes cloróticos (blanco-amarillo) que se extiende del borde hacia el centro de la hoja; la mayoría de las veces con deformación convexa.	Ca
7.9.e	Hojas viejas cerca de los frutos con clorosis intervenales, tejidos verdes y amarillentos entre la nervadura principal y la secundaria.	Mg
7.9.f	Hojas jóvenes con clorosis o amarillamiento con pequeñas y grandes manchas amarillas.	S
7.9.g	Clorosis en las hojas jóvenes, entrenudos cortos, hojas pequeñas, con una distribución en forma de roseta como consecuencia de los entrenudos cortos.	Zn
7.9.h	Hojas jóvenes con clorosis uniformemente extendidas, solamente las venas o nervadura principal permanecen verdes.	Fe
7.9.i	Hojas jóvenes con clorosis intervenal en forma de pequeños frutos que mueren posteriormente.	Mn
7.9.j	Los bordes de las hojas jóvenes se enrollan hacia la superficie inferior de la hoja, con inclinación de los pecíolos y tallos.	Cu
7.9.k	Hojas jóvenes con puntos de color café, las hojas nuevas se deforman y aparecen torcidas, arrugadas con los bordes irregulares, crecimiento reducido de las bandolas con entrenudos cortos.	B



Figura 7.9.a



Figura 7.9.b



Figura 7.9.c



Figura 7.9.d



Figura 7.9.e



Figura 7.9.f



Figura 7.9.g



Figura 7.9.h



Figura 7.9.i



Figura 7.9.k

Comportamiento de la dinámica de absorción de nutrientes de cafetales en producción

La absorción de los nutrientes de un ciclo anual de producción, dividido en los períodos fisiológicos más importantes y por contenidos en las hojas, se muestra en las Figuras 7.10 y 7.11. En ellas se observa que la demanda de N y K es mayor durante los períodos de crecimiento y sazónamiento del fruto, en las 3 dosis de aplicación de cada nutriente pues hay un traslado de contenidos fotoasimilados de las hojas a los frutos, constituyéndose éstos como drenos fuertes durante su desarrollo. Es en estas etapas fisiológicas cuando debe realizarse la aplicación de fertilizantes.

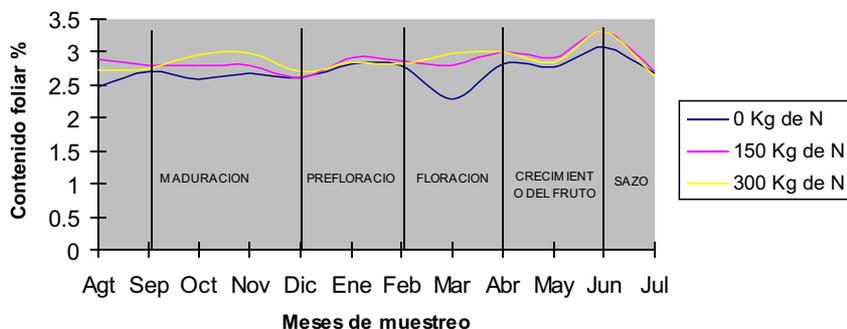


Figura 7.10. Curva de absorción de nitrógeno.

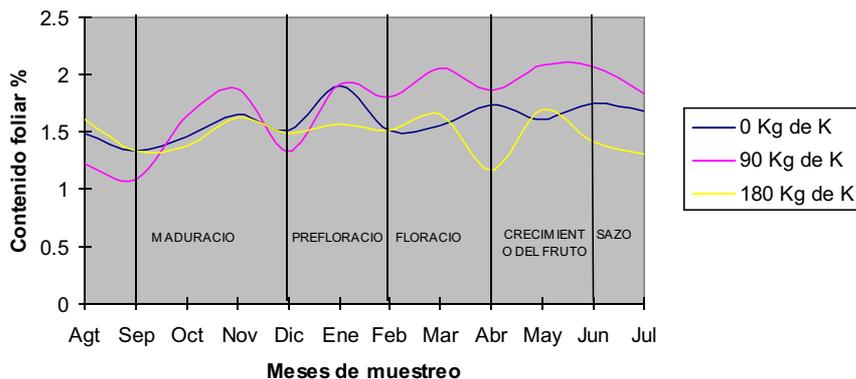
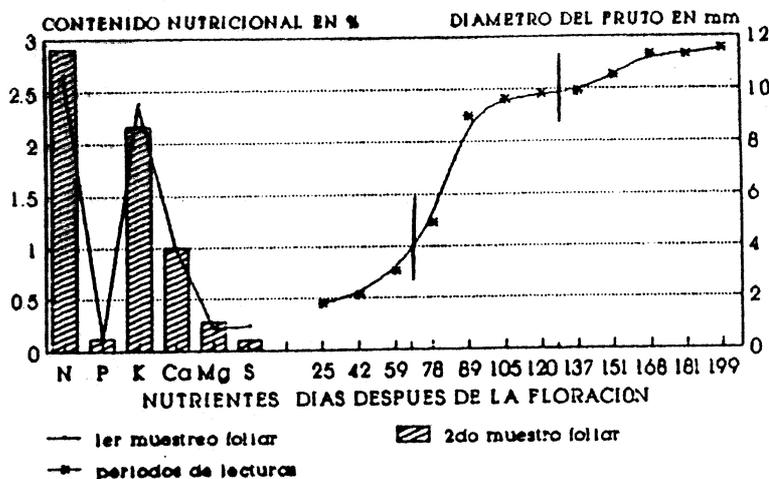


Figura 7.11. Curva de absorción de Potasio.

Analizando los contenidos en las hojas de macronutrientes, de acuerdo con la curva del desarrollo del fruto (Figura 7.12) en la variedad Caturra cultivada bajo sombra regulada y a plena exposición solar en muestras obtenidas al inicio del desarrollo acelerado del fruto y en la etapa de sazónamiento, los contenidos de nitrógeno en las hojas son mayores en el café cultivado bajo sombra y los contenidos de

potasio son mucho menores cuando el fruto inicia su etapa de sazónamiento. En ambos casos se confirman dos situaciones: la primera, que a una mayor cantidad de frutos en el Caturra cuando se cultiva al sol hay mayor demanda de nutrientes y, la segunda, que las recomendaciones de la cantidad de fertilizante a aplicar deberán ser diferentes. Las épocas de aplicación deberán ser: la primera en la época de mayor crecimiento del fruto que ocurre aproximadamente a los 65 días después de la floración principal y, la segunda, en la época de sazónamiento del fruto, unos 128 días después de la floración principal.



IHCAFE 1993

Figura 7.12. Absorción de nutrientes según el desarrollo del fruto.

Nutrición Foliar en los Períodos de Pre y Post Floración

La fertilización foliar es una práctica muy importante que el caficultor debe hacer para complementar la nutrición en su finca, este es un método que proporciona una rápida y eficaz asimilación de los nutrientes, por lo que es posible corregir una deficiencia observada o satisfacer una demanda nutricional principalmente en ciertos procesos fisiológicos de la planta como ser la pre y post floración que por lo general ocurren en el café en la época de verano, tiempo donde no hay humedad suficiente en el suelo como para realizar la aplicación de fertilizantes granulados. Cuando se aplican los nutrientes por vía foliar las formas principales de penetración a las hojas son: por la cutícula y por los estomas. En la absorción cuticular primeramente los nutrientes deben atravesar la cutícula de las hojas a través de pequeños canales llamados ectodesmos y posteriormente las paredes de la membrana plasmática para que puedan ponerse en contacto con el protoplasma de la planta. Cuando el follaje está inmaduro no posee capa cuticular bien desarrollada, cuando se realizan aspersiones foliares en plantas con hojas tiernas facilita la absorción cuticular, la otra vía de absorción son los estomas los cuales se encuentran en mayor número en el envés de las hojas y para que las aspersiones de nutrientes tengan una máxima absorción se deben realizar cuando los estomas están abiertos; como los estomas se pueden cerrar por la noche y durante el medio día las aplicaciones hechas temprano por la mañana son las mejores.

Ventajas de la Nutrición Foliar

1. La absorción de nutrientes es en forma rápida y directa
Es decir: la fertilización foliar provee nutrientes en forma fácil y de rápida absorción.
2. Es un complemento de la fertilización al suelo
Esta es la característica de mayor importancia, ya que por la ayuda alimenticia que le da al cultivo reduce las pérdidas en el potencial productivo del cafetal; así mismo contribuye a fortalecer la planta y hacerla más fuerte para soportar condiciones adversas como la sequía o el frío.
3. La aspersión foliar puede corregir rápidamente la deficiencia de un nutriente específico, ya que esperar corregirla mediante una aplicación al suelo y que éste realice su efecto nos puede significar la reducción o pérdida de la cosecha.

Es durante el período pre y post floración en el cual ocurre una intensa movilización de agua, nutrientes y asimilados por los botones florales, por lo cual es necesario un abastecimiento suficiente y continuo de nutriente; es durante esta etapa crítica en que las plantas del cafeto tienen que trasladar nutrientes del follaje, situación que puede causar la disminución de la habilidad de las hojas para producir materia seca la cual es vital para producir un rendimiento óptimo.

Las aspersiones foliares pueden complementar las necesidades del cafeto dando los nutrientes en el momento que más lo necesita. Es por esta razón que basándose en los resultados de investigaciones realizadas por el IHCAFE se recomienda hacer dos fertilizaciones foliares en época de verano espaciadas 30 días cada una, procurando que éstas coincidan antes y después de la floración.

Las aplicaciones foliares se pueden hacer de dos formas de acuerdo a los productos utilizados:

Cuadro 7.4. Aplicaciones foliares utilizando productos quelatados

Nutriente	Dosis/Barril	Dosis/Bomba
	54 galones de agua	4 galones de agua
(NPK) quelatado	500 cc	37 cc
Boro (B) quelatado	300 cc	22 cc
Zinc (Zn) quelatado	250 cc	19 cc

Cuadro 7.5. Aplicaciones foliares utilizando productos quelatados y fertilizantes granulados

Producto/Nutriente	Dosis/Barril	Dosis/Bomba
	54 galones de agua	4 galones de agua
Urea	8 Lbs.	9 onzas
Kcl	3 Lbs.	4 onzas
Boro (B) quelatado	300 cc	22 cc
Zinc (Zn) quelatado	300 cc	22 cc

La aspersión foliar reforzará el aporte de nutrientes cuando se inicia la floración y suministrará en forma inmediata elementos como nitrógeno, fósforo, potasio, zinc y bor, etc. que son requeridos en las funciones metabólicas de la planta, provocando de esta manera un mayor amarre de las flores lo cual traerá como consecuencia un aumento de la cosecha, es por tal razón que se debe complementar esta práctica con un buen plan de fertilización al suelo y de esta manera obtener buenos rendimientos utilizando racionalmente y oportunamente los fertilizantes.

Así mismo, es importante mencionar, que en la actualidad la reingeniería e investigación moderna propone el uso de fertilizantes foliares que además de contener en su composición elementos mayores (nitrógeno, fósforo, potasio), microelementos (Fe, Zn, Mn, Cu, B) y elementos secundarios (S, Ca, Mg) también contienen otros elementos como ser: fitohormonas (giberelinas, auxinas y citoquininas), vitaminas (B₁, tiamina), ácidos húmicos y aminoácidos (atamina, arginina, metionina, etc), componentes que contribuyen en el crecimiento, desarrollo y fructificación de los cultivos, al asegurar un buen suministro de elementos, brindando la oportunidad de obtener mejores rendimientos y calidad de los frutos. También es importante recordar que la fertilización foliar complementa la fertilización al suelo; por lo que se recomienda elaborar un plan de fertilización balanceado y oportuno.

Análisis de suelos

La existencia de cafetales en las más variadas condiciones de suelos con fertilidad natural diferente y el hecho de que las plantas cultivadas, como el café, tiene exigencias nutricionales diferentes a las de las plantas nativas y al retirar la cosecha se exportan del suelo muchos de los nutrientes, origina la necesidad de evaluar el tipo y cantidad de fertilizantes o enmienda a utilizar, ya que el fertilizante innecesario es costoso y el inadecuado uso, puede ser perjudicial. El Instituto Hondureño del Café cuenta y pone a la disposición del sector cafetalero el laboratorio de análisis de suelos, ya que los análisis constituyen la base más segura para evaluar las necesidades de fertilizantes y enmiendas que deberán utilizarse en las plantaciones de café.



Figura 7.13. Obtención de la muestra de suelo

Los análisis de suelos se fundamentan en dos premisas:

- a) Es un indicador de la cantidad de nutrientes "disponibles" que hay en el suelo y de algunos problemas eventuales.
- b) Es una herramienta confiable para elaborar o diseñar programas de fertilización y enmiendas adecuadas al cafetal.

Para realizar las recomendaciones de fertilización y enmiendas al cafetal, el Departamento de Investigación Cafetalera ha efectuado una cantidad considerable de trabajos experimentales que son la base de las recomendaciones de fertilización y enmiendas, que se dan al caficultor y se basan en los siguientes aspectos:

- Los diversos nutrientes que necesita el cultivo.
- La producción estimada del cafetal.
- El tipo de manejo (cultivado con sombra o sin ella)
- El distanciamiento de siembra.
- La edad del cafetal.

Gracias a un programa especial de computación que incorpora las variables anteriores se elabora la recomendación del programa de fertilización, para su cafetal.

Para realizar un buen análisis de suelos y surja una buena recomendación de fertilización o enmienda, es necesario la obtención de una muestra representativa del suelo. Una sola muestra de 0.5 a 1.0 Kg de suelo debe contener las propiedades promedio de la parcela de los millones de Kg que representa. Los caficultores o la persona que se interese en que sean analizados sus suelos, deben consultar al técnico extensionista más cercano, quien les recomendará los procedimientos adecuados para obtener las muestras de suelo y los cuidados que se le debe dar después de haber sido analizada.

Encalado

La explotación del café en suelos ácidos, como los de las zonas cafetaleras de Los Linderos, Santa Barbara; Río Amarillo, Copán; La Cooperativa y Lajas en Comayagua; el Chelón, Guaimaca y Los Zapotes, Campamento, Olancho etc., donde los datos de análisis y caracterización de estos suelos nos demuestran el elevado contenido de aluminio intercambiable, tiene como consecuencia contenidos bajos de bases intercambiables, principalmente calcio y magnesio. Estas características restringen el crecimiento de las raíces y aún cuando el café ha demostrado ser una planta con tolerancia a altas concentraciones de aluminio, se ha obtenido mediante datos experimentales de que la aplicación de cal dolomita en dosis de 1,283 Kg/ha⁻¹ en la banda de fertilización ha incrementado la producción en un 37% en las zonas de Comayagua y en un 38% en las zonas cafetaleras de Campamento, Olancho.

La recomendación de aplicar cal dolomita la hemos basado en el método de saturación de bases, utilizando la fórmula siguiente:

$$N. E. = \frac{(V2-V1)CICE}{PRNT}$$

- N. E. = Necesidad de encalar
V2 = Saturación de bases hipotéticas, la cual queremos obtener en el suelo.
V1 = Saturación de bases determinada por el análisis de suelo .
CICE = Capacidad de intercambio catiónico efectivo, calculado por la sumatoria de Ca + Mg + K + Al en meq / 100g de suelo.
PRNT = Poder relativo de neutralización total de la cal.

La aplicación de cal dolomita se realiza en la banda de fertilización en un espacio de unos 30 a 40 cm de ancho, distribuyéndose uniformemente. Con el propósito de aplicarla en la zona donde se encuentra la mayor actividad radicular. La idea de encalar la cantidad suficiente que permita neutralizar parte del aluminio intercambiable y proporcionar calcio y magnesio como nutrientes.

La época de aplicación de cal dolomita al cafetal es aconsejable que se realice un mes antes que se inicien las lluvias y, así, ver el efecto del encalado en las primeras brotaciones.

Es inadecuado realizar aplicaciones deliberadas de cal en el cafetal, ya que, al aplicar una sobre dosis de cal dolomita, trae como consecuencia efectos nocivos pues algunos micronutrientes como Mn, Fe, B, Cu y Zn, se pueden volver no disponibles y provocar deficiencias. También puede causar efectos perjudiciales en la reducción de la percolación de agua. De acuerdo con lo anterior, es necesario e imprescindible realizar las aplicaciones de cal según recomendaciones del análisis de suelos.



Figura 7.14 Productor aplicando cal al suelo.

BIBLIOGRAFIA

- BUSSLER, W. 1970. Unterschiede in der entwicklung von magnesium und kalium mangelsymptome-briefe, 8 Fachgebeiet 2. Folge.
- CARVAJAL, J.F. 1984. Cafeto, cultivo y fertilización, 2da. ed. Instituto Internacional de la Potasa, Berna, Suiza. 254 p.
- HERRERA, J.S. 1997. Dosis y métodos de aplicación de cal dolomítica en cafetos, *In*: 6to. Seminario nacional de investigación y transferencia en caficultura. Tegucigalpa, (Honduras).
- _____. 1997. Evaluación de la aplicación de niveles de nitrógeno en cafetales bajo sombra regulada. *In*: 6to. Seminario nacional de investigación y transferencia en caficultura. Tegucigalpa, (Honduras).
- MALAVOLTA, E. 1981. Nutricao mineral e adubacao de cafeeiro, pasado, presente y perspectivas, *In*: Malavolta, E.; Yamada, T.; Guidolin, J.A. Nutricao e adubacao do cafeeiro. Instituto da potasa e fosfato.

Picacicaba, Sao Paulo, (Brazil).

- _____. 1987. Manual de calagem e adubacao do cafeeiro *In*: Instituto da potasa e fosfato. Piracicaba, Sao Paulo, (Brazil).
- _____. 1992. Fertilización del café, *In*: Memoria del seminario de fertilización y nutrición del café, ANACAFE-USAID, Instituto de la potasa y fosfato, Guatemala, (Guatemala).
- _____. 1992. Reacción del suelo y el café. *In*: Memoria del seminario de fertilización y nutrición del café, ANACAFE-USAID, Instituto de la potasa y fosfato, Guatemala, (Guatemala).
- PALMA, M.D. 1992. Estimación de los requerimientos de fertilización del cultivo de café (*Coffea arábica*) a partir del diagnóstico químico del suelo. IHCAFE, Tegucigalpa, (Honduras).
- RENA, A.B. 1990. Adubacao foliar no cafeeiro. Inf. Agronómico 46 (1-2) Piracicaba, Sao Paulo, (Brazil).
- VALENCIA, G.A. 1973. Deficiencias minerales en el cafeto y la manera de corregirlas. CENICAFE, Bol. Tec. 1, Chinchina, (Colombia)
- WALLACE, T. 1961. The diagnosis of mineral deficiencies in plants. HMSO.