

NUTRICIÓN

En Biología es de fundamental importancia el conocimiento del proceso por el cual los seres vivos toman del ambiente los elementos esenciales para sus procesos vitales. **En agricultura**, la nutrición de las plantas debe ser muy bien conocida para que la fertilización sea adecuada a las necesidades del cultivo y se garantice la rentabilidad de aquella actividad. **Fertilización racional** es la que garantiza no sólo los mayores beneficios económicos derivados del uso de los fertilizantes, sino que evita la degradación o desequilibrio químico de los suelos y la contaminación ambiental.

En el siglo XVII se consideraba que el crecimiento y desarrollo de las plantas se debía al agua; nadie sospechaba que el carbono que proviene del aire constituye el 45% de la materia vegetal seca; que el hidrógeno y el oxígeno, que se obtienen del aire y del agua principalmente, representan el 50% del peso seco total y que de la materia vegetal seca, solamente el 4% son elementos minerales que provienen del suelo, el cual es explorado por las raíces que son adaptaciones especiales de las plantas para la absorción de nutrientes.

En el siglo XVIII se enunció la **Ley del Mínimo**, según la cual la producción vegetal sólo se podría aumentar cuando al elevarse en el suelo el nivel del elemento que relativamente se encuentre en menor cantidad. En el siglo XIX, los trabajos de investigación de Liebig en 1843 fundamentaron el desarrollo de la Química Agrícola al considerar el suelo como fuente de nutrimentos para las plantas.

El desarrollo subsiguiente de la agricultura continuó con la aplicación de estiércol y otros materiales orgánicos al suelo para aumentar las cosechas; los romanos ya practicaban el encalado. Con los conocimientos adquiridos en los últimos 140 años sobre los nutrimentos esenciales para los vegetales y sobre cultivos intensivos, se ha visto la necesidad de aplicar fertilizantes químicos, los cuales, desafortunadamente han llegado a usarse en dosis excesivas con el consiguiente daño al medio ambiente, por la degradación química de suelos y la contaminación de aguas.

Convencidos de que es necesario minimizar el impacto ambiental de los fertilizantes, debemos adelantar campañas para lograr que estos se usen racionalmente, se proteja el medio ambiente, se recupere la fertilidad de los suelos, se obtengan productos de alta calidad y se haga más rentable el negocio agropecuario. En otras palabras, debemos proporcionar asesoría e información técnica objetiva y actualizada para optimizar la efectividad de los fertilizantes sin daño al medio ambiente.



LA ZONA CAFETERA COLOMBIANA

Colombia está situada entre los 4° de latitud sur y los 12° de latitud norte y su zona cafetera se ubica en las laderas de las tres cordilleras que atraviesan el país y en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta, con una área de 3'000.000 de hectáreas, entre 1° 20' y 10° 26' de latitud norte. La Región Central que produce más del 80% de la producción nacional de café está entre los 3° y los 6° de latitud norte.

Aproximadamente, un poco menos del 1% de la superficie de Colombia está cultivada con café (870.000 hectáreas) en las vertientes de las cordilleras cuyas características geológicas más sobresalientes son:

Cordillera Occidental, es una formación metamórfica, con algunas inclusiones importantes de origen ígneo y sedimentario, recubiertas en su mayor parte por capas de ceniza volcánica. **Cordillera Central**, es una formación ígnea-metamórfica con recubrimientos importantes de cenizas volcánicas en extensas áreas. **Cordillera Oriental**, es una formación sedimentaria, con áreas no muy extensas de cenizas volcánicas. **Sierra Nevada de Santa Marta**, es una formación ígnea en las partes norte y sur y de formación metamórfica en el sector occidental. (39)

Taxonómicamente el 73,5% de estos suelos pertenecen al orden Inceptisoles, el 15,2% son Entisoles y el 11,3% restante pertenece a otros órdenes.



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 7.

De los tres millones de hectáreas de la zona cafetera, existe 870.000 de 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. Son 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 (37), factores todos que influyen negativamente en la disponibilidad de nutrientes para el café.

La composición mineral de estos suelos es muy variable y depende de factores como regímenes de lluvias, pH, material volcánico, acumulación de materia orgánica y 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 (40). 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 se le deben dar a éste.

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.

Desde el punto de vista físico, un suelo **“ideal”** según Murphy (65) (Figura 18), es aquel que tiene su volumen distribuido así: 50% de sólidos (minerales y materia orgánica) y el otro 50% de

TABLA 7. Materiales de origen de los suelos de la zona cafetera colombiana y porcentaje relativo de cada uno (109).

Material de origen	Hectáreas ^a	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 «mapeada»	3'000.000	100

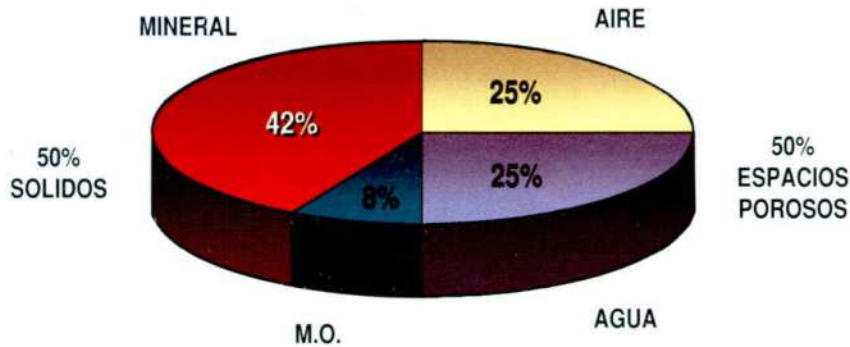


Figura 18. Suelo físicamente "ideal" (65).

espacios porosos repartidos por igual entre aire y agua. Algunos suelos altamente productivos de la zona cafetera tienen más de 50% de espacios porosos. A medida que se aleja un suelo de este patrón perderá **productividad**, puesto que si el suelo no proporciona el medio físico adecuado para el desarrollo de raíces del cultivo, la fertilización que en él se haga será un despilfarro.

(42), 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% 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 ve en la Figura 19.

EQUILIBRIO QUÍMICO DEL SUELO

Desde el punto de vista químico, un suelo equilibrado según McLean citado por Guerrero

En la Tabla 8 se presenta la clasificación de las primeras capas de los perfiles muestreados por Programa de Desarrollo hasta 1986 según el material de origen y según los porcentajes de saturación de bases menor de 40% y de saturación de potasio, de calcio y de magnesio, menores de 10%, de 60% y de 20% respectivamente (69).

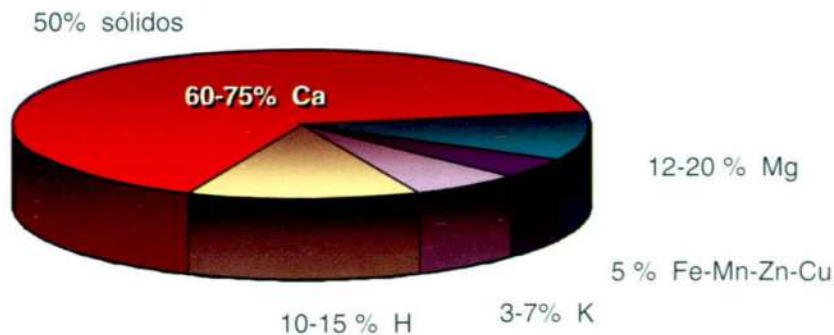


Figura 19. Equilibrio de cationes en el suelo según McLean, citado por Guerrero (42).

TABLA 8. Frecuencia de los principales materiales de origen y porcentajes de saturación de bases, de K, de Ca, de Mg, en muestras de suelos de Prodesarrollo (69).

Material de origen	Frecuencia %	Porcentaje de Saturación			
		Bases <40	K <10	Ca <60	Mg <20
Cenizas volcánicas	34,8	87	49	46	46
Basaltos-Gneis Diabasas	6,4	60	75	62	25
Anfibolitas-Cuarcita	10,4	—	100	33	67
Lutitas	2,5	39	88	50	38
Esquistos-Serpentina	6,0	—	100	30	20
Areniscas-Arcillolitas	15,4	81	69	44	38
Granito-Sienita-Riodacita	3,6	47	80	56	20
Andesitas	1,6	—	50	100	—
Aglomerados-Conglomerados	2,5	—	100	100	—
Total	86,8				

Según esta agrupación, por su baja fertilidad (menos de 40% de saturación de bases) se destacan los suelos derivados de cenizas volcánicas y los derivados de areniscas y de arcillolitas.

Con menos de 10% de saturación de potasio están la mayoría de los suelos; se destacan las anfibolitas, los esquistos y los aglomerados y conglomerados. Con menos del 60% de saturación de calcio sobresalen las andesitas y los aglomerados y conglomerados.

En el caso del magnesio, los suelos provenientes de anfibolitas serían los más desprovistos de este elemento, seguidos de los derivados de cenizas volcánicas.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas son considerados como de mediana a baja fertilidad, puesto que en los estudios de fertilidad natural el 87% de las muestras tiene menos de 40% de saturación de bases, el 49% tiene menos de 10% de saturación de potasio, el 46% tiene menos de 60% de saturación de calcio y menos de 20% de saturación de magnesio.

SUELOS PARA EL CAFETO

Sobre los requerimientos edáficos para el exitoso cultivo del café se hizo una lista de las características más influyentes por inmodificables y de acuerdo con los rangos dados a ellas se clasificaron los suelos en **adecuados** y en **manejables** para el café (105).

SUELOS ADECUADOS PARA EL CAFETO

En la Tabla 9 se dan los **rangos adecuados** y los porcentajes de estos en las muestras de los estudios de zonificación del área cafetera colombiana hechos por Prodesarrollo.

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 nive-

TABLA 9. Parámetros de suelos, rangos adecuados, y porcentaje de éstos en los perfiles muestreados por Prodesarrollo (105).

Parámetro	Rango adecuado	Porcentaje
pH	5,0 - 5,5 ± 0,1	30
% materia orgánica	12 ± 0,6 ó más	14
K meq/100 g. de suelo	0,35 ± 0,06 ó más	24
Ca meq/100 g. de suelo	2,1 ± 0,5 ó más y < 4,2	18
Mg meq/100 g. de suelo	0,7 ± 0,2 ó más	56
K : Ca : Mg	1 : 6 : 2	—
ppm P	10 ± 4 ó más	18
% Arcilla	>= 8 y <= 41	70
Textura	Francos	72
Profundidad (cm)	40 ± 10 ó más	56

les de pH, de materia orgánica, de potasio y de fósforo; esto explica la necesidad de aplicar nitrógeno, fósforo, potasio y cales en muchos cafetales.

SUELOS MANEJABLES PARA EL CAFETO

Son los que mediante adecuado manejo, se pueden llevar a los **rangos adecuados**, con altas probabilidades de éxito (105). En la Tabla 10 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.

En la Tabla 11 se indican por departamentos, el número de perfiles muestreados por Prodesarrollo y Cenicafé y los porcentajes de suelos **manejables** para cada una de las variables que los condicionan (105).

TABLA 10. Parámetros, rangos mínimos y porcentaje de suelos **manejables** para café en los perfiles muestreados por Prodesarrollo. Cenicafé 1987 (105).

Parámetros	Rango	Porcentajes*
pH	4,5 - 6,0	75
% Materia orgánica	> 4,0	67
Ca meq/100 g.	< 4,2	61
Ca : Mg	Ca > Mg	87
% Arcilla	>= 8 y <= 41	70
Textura	francos	72
Profundidad efectiva (cm)	30	56

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

TABLA 11. Porcentaje de suelos **manejables** por departamento. Muestreo de Prodesarrollo y de estudios detallados de suelos de Cenicafé (105).

Departamento	Nº Perfiles	Prof. efect. 30cm.	% Arcilla >8 y <41	% Materia Orgánica >4	pH 4,5 6,0	meq Ca <4.2	Ca > Mg
Antioquia	44	54,5	79,5	68,2	77,3	59,1	63,3
Boyacá	34	47,1	50,0	64,7	76,5	79,4	85,3
Caldas	238	71,4	84,4	68,9	77,7	55,9	90,3
Cauca	52	30,8	55,8	94,2	98,1	84,6	71,1
Cesar	7	28,6	28,6	85,7	85,7	57,2	100,0
Cundinamarca	35	45,7	62,9	60,0	68,6	40,0	94,3
Huila	53	51,0	62,3	67,9	77,4	66,0	88,7
Nariño	16	81,3	93,8	50,0	37,5	37,5	100,0
N. de Santander	15	60,0	66,7	26,7	66,7	86,7	80,0
Quindío	41	95,1	95,1	82,9	70,7	80,5	90,3
Risaralda	44	45,5	88,6	79,5	90,9	50,0	97,7
Santander	127	37,0	55,1	44,9	67,8	69,3	81,1
Tolima	23	30,5	43,5	60,9	87,0	60,9	65,2
Valle	38	47,4	81,6	60,5	73,7	26,3	94,7

FERTILIDAD NATURAL DE LOS SUELOS DE LA ZONA CAFETERA

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

pH

El 73% presentan un pH **manejable**, entre 4,5 y 6,0, pero solo el 30% tienen el valor adecuado par café.

Materia Orgánica

El 66% de los suelos tienen más de 4% de materia orgánica (manejables). 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 miliequivalentes por 100 gramos de suelo, casos en que debería fraccionarse más de dos veces la dosis anual de fertilizante.

Magnesio

El 56% de los suelos tienen más de 0,6 miliequivalentes por 100 gramos de suelo, 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 suelo, casos en los que el café responde a aplicaciones de potasio.

Fósforo

El 82% de los perfiles tienen menos de 10 ppm (límite de deficiencia).

Nitrógeno y Potasio

El 57% son deficientes en estos dos elementos.

En experimentos de fertilización de cafetales en ocho localidades de la zona cafetera, de 36 cosechas registradas, el 69% respondieron a aplicaciones de nitrógeno, 11% a las aplicaciones de fósforo y 42% a las aplicaciones de potasio (103).

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 nutrimentos. 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 (textura, estructura, profundidad efectiva); 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 café desarrollado en un suelo franco son superficiales: en los primeros 30 centímetros se encontró un 86% de ellas y su concentración disminuye en relación inversa con la distancia al tronco (71).

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

PRODUCCIÓN RELATIVA DE CAFÉ

Una vez verificado que el cultivo de café al sol es posible en determinada región porque no

tiene importantes limitaciones de clima y se cumple con los requisitos de manejo y conservación de suelos, desyerbas, control de plagas y de enfermedades en el cultivo, es posible calificar el suelo por su “**productividad relativa**” de café según algunas de sus características físicas y químicas. Así por ejemplo, un suelo **manejable** rinde una producción real que es apenas el 50% de la producción potencial de la región, pero se dispone de conocimientos suficientes para convertirlo en suelo **adecuado** y aumentar así su producción.

En una primera aproximación de manejo de la información de parámetros físicos y de fertilidad de suelos en muchos lotes, para relacionarlos con los respectivos registros de producción de café, se encontró que con los que más dependencia tenía la producción eran: contenido de materia orgánica, pH, textura, relación Ca: Mg, contenido de arcilla (106).

Los resultados obtenidos mostraron como con los datos de análisis de suelos se podía calificar este mismo suelo por su producción relativa y si ésta fuera baja, cómo se podría orientar su fertilización y manejo para aumentar la producción sin incrementar los costos. Este podría ser un primer paso en el desarrollo de **Modelos de Producción de café** y en la evaluación de recomendaciones de fertilizantes o para inferir sobre los resultados de éstas.

En una segunda aproximación se consideraron como factores de suelo, claves para la determinación de la producción relativa de una finca o región los siguientes: profundidad efectiva, densidad aparente, textura, porcentaje de materia orgánica y pH, los cuales como se muestra en la Tabla 12, de Puntajes de Producción Relativa según análisis de suelos, se les da un puntaje que es la base para los estimativos de producción (115).

Producción máxima o potencial: 400 ± 30 arrobas cps/ha/año. Valores válidos para condiciones de clima óptimo, sin sombrero, con controles sanitarios, con prácticas de conservación de suelos, con renovaciones y oportuna y adecuada fertilización.

TABLA 12. Puntajes para calcular la producción relativa según análisis de suelos. 2ª aproximación (115).

Profundidad efectiva (cm)	Valor Puntaje	10 - 19 0,5	20 - 29 0,8	Más de 30 1,0	
Densidad aparente	Valor Puntaje	0,2 0,3 0,4 0,5 0,5 0,6 0,7 0,8	0,6 0,9	0,7 - 0,9 1,0	1,0 1,1 1,2 0,8 0,6 0,4
Textura	Determinación Puntaje	Limoso 0,5	Arcilloso 0,6	Francos 1,0	Arenosos 0,6
% Materia Orgánica	Valor Puntaje	4,0 5,0 6,0 7,0 0,5 0,6 0,7 0,8	8,0 0,9	9,0 - 14,0 1,0	15,0 16,0 17,0 18,0 19,0 0,9 0,8 0,7 0,6 0,5
pH	Valor Puntaje	4,0 4,2 4,4 4,6 0,5 0,6 0,7 0,8	4,8 0,9	5,0 - 5,5 1,0	5,7 5,9 6,1 6,3 6,5 0,9 0,8 0,7 0,6 0,5
				Producción máxima	

$$\text{Producción relativa: } \text{Producción máxima X } \frac{\text{Puntaje muestra}}{\text{Puntaje máximo}} = \text{arrobas cps/ha/año}$$

Como ejemplo, se tienen los siguientes datos de un suelo y su respectivo puntaje o calificación.

	Valor	Puntaje
Profundidad efectiva:	45 centímetros	1,0
Densidad aparente:	1,0	0,8
Textura:	arcilloso	0,6
% Materia orgánica:	7,0	0,8
pH:	5,2	1,0
Total		42

$$\text{Producción relativa calculada, será } = (400 \pm 30) \times \frac{42}{5,0} = 0,84$$

Producción relativa = (400 ± 30) 0,84 = entre 311 y 361 arrobas de café pergamino seco/ha/año.

Lo anterior quiere decir que el lote está en condiciones de producir el 84 % de la **producción potencial**, y puede aproximarse al 100 % mejorando el contenido de materia orgánica, con la consiguiente mejora de la textura, de la densidad aparente y aumentando la eficiencia de las fertilizaciones posteriores.

Del estudio anterior conviene destacar el enorme significado y trascendencia que el pH y el contenido de materia orgánica del suelo tienen en las propiedades físicas, químicas y biológicas de éste, como se muestra en las Figuras 20 y 21 (93), todas estas reflejadas en la nutrición del vegetal.

MATERIA ORGÁNICA

Propiedades Físicas

Aireación
 Permeabilidad
 Retención humedad
 Estructura
 Agregación

Propiedades Químicas

Acción Buffer
 CIC
 Suministro de:
 Nitrógeno
 Fósforo
 Azufre
 Boro
 Hierro
 Manganeseo
 Zinc
 Cobre

Propiedades Biológicas

Actividad de
 microorganismos para
 descomposición de M. O.

Figura 20. Influencia de la materia orgánica en las propiedades del suelo.

pH

Menor de 4,0

Toxicidad Aluminio
 Toxicidad Manganeseo
 Deficiencia de:
 Calcio
 Magnesio
 Potasio
 Azufre
 Boro
 Cobre
 Zinc

Adecuado

(5,0 - 5,5)

Buena nutrición
 Actividad microorganismos
 Aumenta disponibilidad
 del fósforo

Mayor de 6,5

Deficiencia de:
 Zinc
 Boro
 Manganeseo
 Cobre

Figura 21. Influencia del pH en la nutrición de las plantas.

EL pH DEL SUELO Y LA DISPONIBILIDAD DE NUTRIMENTOS PARA LAS PLANTAS

Como se ve en la Figura 22, tomada de Donahue (21), la anchura de la franja de cada nutrimento está en relación directa con la disponibilidad del respectivo elemento para las plantas; sin embargo, es importante notar la influen-

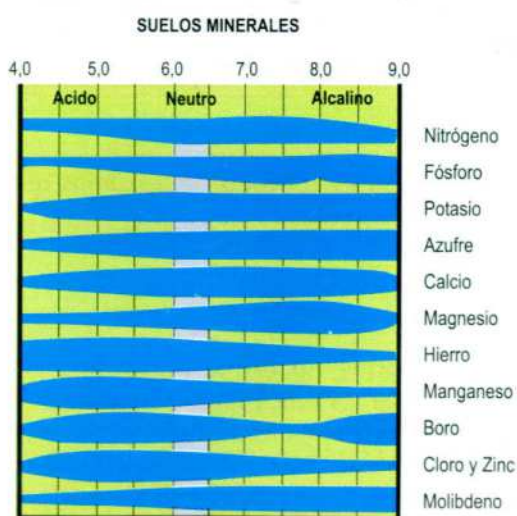
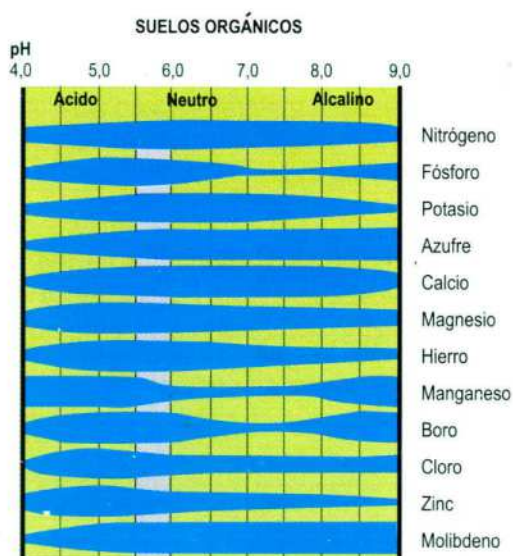


Figura 22. Variación del pH óptimo en suelos orgánicos y en suelos minerales (21).

cia de los suelos orgánicos y de los suelos minerales en el pH más adecuado desde el punto de vista de la nutrición de las plantas: en suelos orgánicos (con más de 4,0% de materia orgánica) el mejor pH está entre 5,5 y 6,0; en suelos minerales (con menos de 4,0% de materia orgánica) aquel pH está entre 6,0 y 6,5.

Para el café los mejores pH están entre 5,0 y 5,5 en suelos orgánicos y entre 5,5 y 6,0 en suelos minerales.

FORMAS UTILIZABLES DE LOS NUTRIMENTOS PARA LAS PLANTAS

A continuación se da la lista de los elementos esenciales para las plantas y las formas en que ellos son absorbidos o son utilizables por éstas (Tabla 13).

TABLA 13. Elementos esenciales, su porcentaje en la materia seca (22) y formas accesibles para las plantas superiores.

Elemento	Porcentaje base seca	Forma accesible
Carbono	45	C, CO ₂
Hidrógeno	6	HOH, H ⁺
Oxígeno	45	O ₂ , HOH
Nitrógeno	1,5	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻
Fósforo	0,2	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ⁻² , PO ₄ ⁻³
Potasio	1,0	K ⁺
Calcio	0,5	Ca ⁺²
Magnesio	0,2	Mg ⁺²
Azufre	0,1	SO ₄ ⁻²
Boro	0,006	BO ₃ ⁻³
Cloro	0,02	Cl ⁻
Cobre	0,002	Cu ⁺² , Cu ⁺
Hierro	0,03	Fe ⁺³ , Fe ⁺²
Manganeso	0,03	Mn ⁺³ , Mn ⁺²
Zinc	0,002	Zn ⁺²
Molibdeno	0,001	MoO ₄ ⁻²

FUNCIÓN DE LOS ELEMENTOS MINERALES EN LA PLANTA

Es bien sabido que el cultivo de café sin sombra brinda altas producciones pero también exige el fiel cumplimiento de definidos planes de fertilización y la ejecución de numerosos cuidados culturales (103). Antes de hacer recomendaciones de fertilización, conviene recordar el papel específico de algunos de los minerales en las plantas:

NITRÓGENO

Forma parte de las proteínas, clorofilas, alcaloides, etc. Es importante también en la relación C/N por su acción en la duración del período vegetativo. Es muy móvil dentro de la planta y se absorbe como nitrato o como amonio. Constituye del 1 al 5% de la materia seca en general.

FÓSFORO

Forma parte de proteínas (nucleoproteína) y de lipoides (lecitina). Desempeña un papel metabólico en la respiración y fotosíntesis (fosforilación). Es absorbido como ion H_2PO_4 principalmente y permanece en forma oxidada. Se acumula en partes en crecimiento y en semillas. Su falta favorece la acumulación de azúcar en órganos vegetativos, lo cual a su vez favorece la síntesis de antocianinas. Constituye del 0,1 al 0,5% de la materia seca en general.

POTASIO

Su papel no es muy conocido, es esencialmente antagónico al Mg al Ca y al Na, regula el movimiento en los estomas. No se conoce el K como parte de estructura molecular alguna. Es muy móvil dentro de la planta y parece que su falta reduce la resistencia de la planta a ataques fúngicos. Es activador del sistema enzimático. Es el **cati3n maestro** de la planta pues activa más de 60 reacciones enzimáticas. Constituye del 0,2 al 1,0% de la materia seca.

MAGNESIO

Ocupa el centro de la molécula de clorofila. En forma de ion es activador de enzimas que catalizan la respiración. Es muy móvil y antagónico con el K, con el Na y con el Ca.

HIERRO

Es indispensable para la formación de las clorofilas, aunque no forma parte de ellas. Fisiológicamente activo es sólo el ion ferroso. Es poco móvil. Es difícil la corrección de su deficiencia en suelos calcáreos. Es un cofactor en reacciones enzimáticas. Constituye parte de los citocromos (porfirinas). Puede recibir o dar electrones.

AZUFRE

Es constituyente de los aminoácidos cistina, cisteína y metionina y por tanto de las proteínas que los contienen, así como de la tiamina, la biotina y la coenzima A.

CALCIO

Es acumulado principalmente en las hojas. Antagónico con el Na, con el K y con el Mg y forma parte de la lámina media de la pared celular como pectato de Ca. En su ausencia no ocurre la división mitótica, necesario para el desarrollo de los meristemas apicales. Es cofactor de algunas enzimas.

BORO

Lo mismo que el Ca interesa en la formación de nuevas paredes celulares (yemas, flores y formación del tubo polínico). Es poco móvil y en exceso puede provocar toxicidad.

ZINC

Es importante en el crecimiento, su falta afecta la elongación. Su función aún no es muy bien conocida. Parece necesario para la síntesis de auxinas y de triptofano.

MANGANESO

Aunque no forma parte de la molécula de clorofila, en su ausencia no se forma ésta. Es antagónico con el Fe y parece activador de ciertas enzimas respiratorias.

MOLIBDENO

Funciona más como componente de metaloenzimas que como activador de enzimas. Tiene su papel en la inducción de la nitrato reductasa.

CLORO

Actúa junto con algunas enzimas del fotosistema II de la fotosíntesis.



DEFICIENCIAS MINERALES EN EL CAFETO Y MANERA DE CORREGIRLAS

Muchos de los nutrimentos de las plantas se encuentran en el suelo en cantidades variables. Con frecuencia, esas cantidades no son suficientes para la adecuada alimentación de la planta y por eso hay necesidad de fertilizar los cultivos.

Cuando alguno de los nutrimentos que necesita la planta escasea en el suelo, se presentan variaciones en el color o en el desarrollo de las hojas. Estas variaciones son características de la

falta de determinado nutrimento y se llaman síntomas visibles de desnutrición (102).

Con el fin de dar orientación sobre algunos problemas de nutrición del cafeto, se describen a continuación, los síntomas que muestra la hoja del café en los casos más frecuentes de deficiencia de minerales. Se dan también indicaciones para corregir estas deficiencias.

En todos los casos de deficiencias de minerales, el técnico determinará la clase de fertilizantes, la cantidad y la forma de aplicación de acuerdo con la gravedad o intensidad de la deficiencia, edad del cultivo, época del año y estado general de la plantación.



DEFICIENCIA DE NITRÓGENO

La falta de nitrógeno se presenta primero en las hojas viejas.



Síntomas

- El amarillamiento es parejo en toda la hoja.
- El amarillamiento comienza en las hojas de la base de la rama y se va extendiendo hacia la punta de aquella.
- Se caen las hojas viejas de la rama.
- Las hojas de la punta conservan un poco del color verde.
- Los frutos se vuelven amarillos, crecen poco y se caen con facilidad.

Manera de corregir la falta de Nitrógeno

- Aplicar materia orgánica descompuesta: pulpa de café, cenichaza, gallinaza, compost, etc.
- Aplicar un fertilizante con alto contenido de Nitrógeno, como cualquiera de los siguientes:

UREA: Aplique urea disuelta en agua, en una concentración del uno por ciento (10 gramos por litro), usar una bomba de espalda, y aplicar la solución sobre las ramas del cafeto. La urea también se puede aplicar al suelo, esparcida al pie de la planta, teniendo cuidado de que no quede en contacto con el tronco, en cantidad de 40 a 80 gramos por árbol.

SULFATO DE AMONIO: Aplicar al suelo de 80 a 160 gramos de Sulfato de Amonio por árbol.

NITRATO DE AMONIO: (Nitrón 30) Usar de 60 a 120 gramos/árbol.

Se puede utilizar cualquier fertilizante. Lo importante es que se aplique de 20 a 40 gramos de nitrógeno por árbol.

DEFICIENCIA DE FÓSFORO

La deficiencia de fósforo se presenta generalmente en las hojas viejas.



Síntomas

- Las hojas de los cafetos presentan manchas amarillas en las cuales hay coloraciones rojas.
- Las manchas son de diferentes tamaños, y pueden cubrir casi toda la hoja.
- En casos severos, se produce una caída total de las hojas de las ramas que tienen frutos en maduración.

Manera de corregir la falta de fósforo

- Aplicar 60 gramos de Superfosfato Doble ó 120 gramos de Superfosfato Simple por árbol.
- Cuando el suelo tiene un pH inferior a 5,0 se puede aplicar Calfos a la dosis de 100 gramos por árbol.
- En general se puede corregir la deficiencia de Fósforo, aplicando 25 gramos de Fósforo (P_2O_5) por árbol, sea cual fuere el fertilizante utilizado.

DEFICIENCIA DE POTASIO

La deficiencia de Potasio sólo se manifiesta en los bordes y en las puntas de las hojas, las cuales se enrollan hacia la haz (cara superior).



Síntomas

- Al principio aparece un amarillamiento que luego se vuelve de color pardo oscuro.
- Cuando la deficiencia es grave, se mueren las partes de las hojas donde había manchas, estas quedan de color gris y se produce pérdida de hojas.

Manera de corregir la falta de Potasio

- Para corregir la deficiencia de potasio, se aplica sulfato de potasio de 40 a 80 gramos por árbol.
- También se puede usar cloruro de potasio en la cantidad de 30 a 60 gramos por árbol.

DEFICIENCIA DE AZUFRE

Como el azufre no es muy móvil dentro de la planta, los primeros síntomas de deficiencia aparecen en las hojas nuevas.



Síntomas

- Las hojas nuevas presentan una coloración verde amarillenta que comienza a lo largo de la nervadura principal (40). El árbol con S-deficiencia parece con N-deficiencia, pero en aquel las hojas tienen aspecto moteado que recuerda síntomas de Zn-deficiencia o de Fe-deficiencia (53).

Manera de corregir la falta da azufre

- Debe aplicarse al suelo materia orgánica descompuesta.
- Utilizar fertilizantes simples a base de sulfatos, como K-mag (Sulpomag), Sulfato de potasio, sulfato de amonio, etc.
- En suelos con menos de 2,0% de materia orgánica, han dado buenos resultados las aplicaciones de 20 a 30kg de azufre, como yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 170 a 200kg. por hectárea. (57).

DEFICIENCIA DE MAGNESIO

Los síntomas de deficiencia de magnesio se presentan primero en las hojas viejas.



Síntomas

- En las hojas viejas se presentan manchas amarillentas entre cada dos nervaduras.
- Las nervaduras principales siempre conservan el color verde.
- El amarillamiento empieza en la base de la rama y se va extendiendo hacia la punta y ocurre pérdida de hojas.

Manera de corregir la falta de Magnesio

- Debe disminuirse la cantidad de potasio que se aplica en sus cafetales.
- Aplicar de 10 a 20 gramos de magnesio por árbol. Para esto puede utilizar uno de los siguientes productos:

CARBONATO DE MAGNESIO. Aplicar de 30 a 60 gramos por árbol.

OXIDO DE MAGNESIO. Aplicar de 15 a 30 gramos por árbol.

SULFATO DE MAGNESIO. Aplicar de 60 a 120 gramos por árbol. Con la aplicación de óxido de magnesio o de sulfato de magnesio, el efecto es más duradero. En suelos pobres en materia orgánica, cuando no se tiene respuesta a las aplicaciones de magnesio, puede dar mejor resultado la aplicación de nitrógeno en las cantidades ya indicadas.

DEFICIENCIA DE HIERRO

La deficiencia de hierro se presenta siempre en las hojas nuevas.



Síntomas

- Las hojas toman un color verde pálido, menos las nervaduras, que conservan el color verde normal.
- Aunque el color verde pálido es más pronunciado en las hojas nuevas, en general la planta presenta una coloración verde poco intensa.

Manera de corregir la falta de Hierro

- Actualmente no hay productos eficientes y económicos para corregir la falta de hierro en los cafetos.
- Se aconseja mantener unas condiciones óptimas de drenaje de los suelos y tratar de que el pH no se salga de los límites entre 4,6 y 5,6.

DEFICIENCIA DE BORO

La deficiencia de boro se presenta generalmente en épocas muy secas.



Síntomas

- Las hojas viejas presentan un amarillamiento que se inicia en la punta y avanza hasta la mitad, o un poco más. Se forma un tejido corchoso sobre las nervaduras.
- Las hojas se deforman y pueden aparecer torcidas, arrugadas o con bordes irregulares.
- Aparecen puntos de color café en las hojas tiernas.
- La yema terminal del tallo ortotrópico y/o de las ramas muere. Esto hace que la planta produzca nuevos brotes y que las ramas muestren aspecto de abanico.

Manera de corregir la falta de Boro

- Para corregir la deficiencia de boro, se aplican de 10 a 25 gramos de bórax por árbol, o de 5 a 15 gramos de poliboro por planta (84).
- Nunca debe repetirse la aplicación de boro antes de seis meses.

DEFICIENCIA DE ZINC

En suelos muy erosionados, con pH inferior a 4,7 puede presentarse esta deficiencia.



Síntomas

- Las hojas crecen poco y en forma alargada.
- Los bordes se encrespan.
- Los entrenudos son cortos.
- Generalmente, los síntomas de la deficiencia son más visibles en la punta de las ramas.
- En los "chupones" o brotes de zoca, las hojas presentan una forma acanalada con bordes amarillos.

Manera de corregir la falta de zinc

Debe procurar mantener el pH del suelo por encima de 4,7.

DEFICIENCIA DE MANGANESO



Síntomas

- Se presenta un amarillamiento total de las hojas.
- El amarillamiento se presenta siempre en las hojas de la punta de las ramas.

Manera de corregir la falta de Manganeso

Para corregir esta deficiencia, procure rebajar el pH del suelo si éste es superior a 5,6.

RESISTENCIA A ENFERMEDADES Y NUTRICIÓN

Aunque no se puede garantizar en términos absolutos que una buena nutrición da a la planta resistencia a todas las enfermedades, existen referencias del influjo que una deficiencia mineral en una planta tiene en el grado de susceptibilidad al ataque de organismos patógenos (64).

En el caso del cafeto ha sido demostrada (33) la gran importancia que una buena fertilización tiene en la reducción de las pérdidas económicas que provoca la defoliación causada por el hongo *Cercospora coffeicola* en plantaciones de café a plena exposición solar. En este mismo trabajo se menciona que Müller en Costa Rica considera que las plantas de café deficientes en nitrógeno son susceptibles a la enfermedad.

Valencia (101) encontró una interesante relación inversa entre el contenido de potasio foliar y el porcentaje de infección de *Cercospora*

coffeicola en el grano de café, como se muestra en la Figura 23, en donde también se observa la estrecha relación directa entre la fertilización y la producción.

Cadena (12) encontró que en almácigos de café la mezcla de suelo: pulpa de café descompuesta en proporción de volumen 3:1 hace innecesaria la utilización de fungicidas para el control de la mancha de hierro. (*C. coffeicola*).

Valencia (110) en un estudio sobre la incidencia de la Roya (*H. vastatrix* Berk. y Br.) y la nutrición mineral del cafeto, encontró que en el tratamiento con sólo nitrógeno se alcanzó un contenido foliar de 2,30% de este elemento y en ellas el ataque de roya fue mínimo. Los mayores porcentajes de germinación de esporas se lograron en esporas recolectadas en hojas en que eran bajos los contenidos de nitrógeno, de fósforo, de boro, de magnesio y en las recolectadas en hojas en que eran altos los contenidos de potasio, de calcio, de manganeso, de hierro.

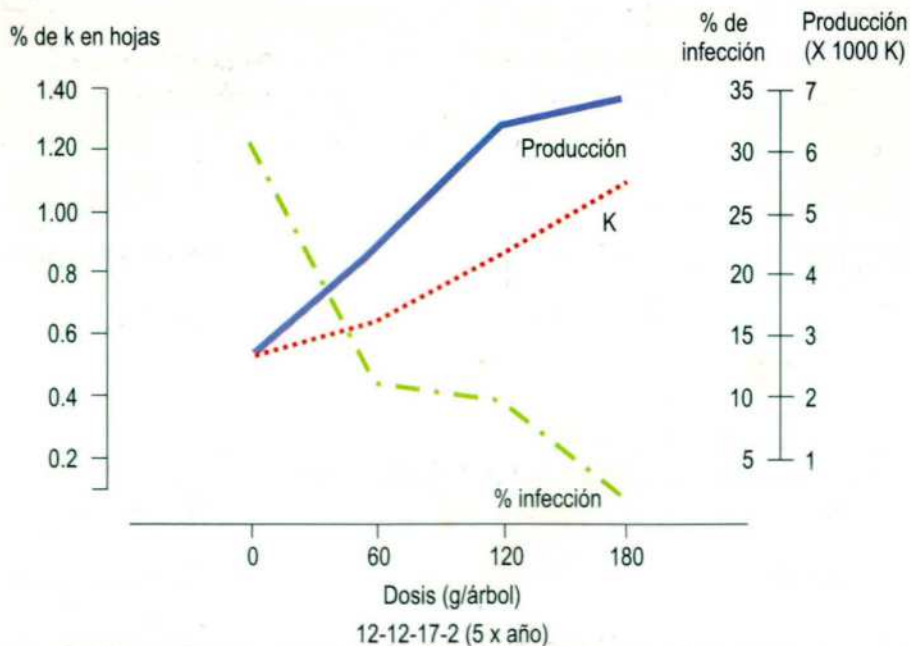


Figura 23. Promedios de producción (Julio/65 - Junio/66), Porcentaje de infección de *C. coffeicola*, Septiembre/65 - Febrero/66) y contenido de potasio en hojas (junio/66) (101)

ANÁLISIS FOLIAR

Esta técnica no es muy utilizada pero puede ser una valiosa ayuda complementaria del análisis de suelo. De un modo general puede decirse que la base del análisis foliar como medio para conocer el estado nutritivo de un cultivo está en la premisa de que faltando un elemento en el suelo, su tenor en las hojas de las plantas allí crecidas, debe ser bajo, si se compara con el de las hojas de las plantas consideradas normales; por esta razón se exige el conocimiento previo de los niveles de los nutrimentos en las hojas de plantas normales o de alta producción (103).

Generalmente el contenido de un elemento en la hoja se expresa con base en el peso seco de la muestra, pero en éste, según Muller (64), están incluidos los carbohidratos, cuya cantidad en la hoja puede ser variable y por eso considera mejor expresar la concentración de los nutrimentos en base a celulosa o a fibra; este procedimiento por laborioso es poco usado.

En la Tabla 14 se dan los contenidos "adecuados" o normales en los cuartos pares de hojas de café correspondientes a las producciones máximas según la región (Producción relativa) en seis lugares de la zona cafetera. En el conjunto de las seis localidades, el nitrógeno se reveló como el elemento que más influía en la composición mineral de las hojas: al aumentar la cantidad de nitrógeno aplicado al suelo hubo aumento lineal y altamente significativo de nitrógeno y de manganeso en la hoja en el 89% y en el 60% de los muestreos, respectivamente, y hubo disminución lineal altamente significativa de fósforo y de boro en el 73% y en el 60% de los muestreos, respectivamente.

Para facilitar el estudio de la relación entre la producción y la composición mineral foliar, los muestreos se clasificaron según la fase de desarrollo del cultivo en que fueron efectuados así: floración, **mitaca** (4 a 6 meses antes de la cosecha principal), principio de cosecha, cosecha, postcosecha.

Se hicieron correlaciones simples de los contenidos de cada uno de los elementos minerales

TABLA 14. Contenido **normal** de minerales en el 4º par de hojas correspondiente a producciones de 220 ó más arrobas de café pergamino seco por hectárea por año (103).

Elemento	Nivel en la hoja en base seca	Producción relativa arrobas cps/ha/año
Nitrógeno	2,30 - 2,80%	304 - 364
Fósforo	0,10 - 0,18%	395 - 221
Potasio	1,50 - 2,00%	395 - 270
Calcio	0,50 - 1,30%	395 - 221
Magnesio	0,30 - 0,40%	395 - 265
Manganeso	150 - 220 ppm	395 - 265
Hierro	90 - 140 ppm	221 - 265
Boro	40 - 60 ppm	395 - 364

en cada muestreo, con los registros de cosecha del mismo año del muestreo y con los registros de cosecha del año siguiente. Se encontró que la correlación de elementos en la hoja con la producción del año siguiente, no se justifica y que desde un punto de vista práctico, con el fin de corregir oportunamente un deficiente estado nutritivo en el cultivo, debe efectuarse el muestreo de hojas respectivo en la época de **mitaca** o cosecha secundaria (cuatro a seis meses antes de la cosecha principal).

SISTEMA DRIS DE INTERPRETACION DE ANÁLISIS FOLIARES

(Diagnosis and Recommendation
Integrated System)

Es un importante y promisorio sistema alternativo de diagnóstico foliar, ensayado por pri-

mera vez en 1989 en Cenicafé (4) con el fin de obtener la TABLA DE NORMAS DRIS, con 28 relaciones binarias para el diagnóstico de la nutrición del café. Es un índice de relaciones binarias que utiliza el concepto de balance entre todos los nutrimentos minerales analizados, muestra claramente la dinámica que se da a la composición de la planta por acción de los fertilizantes y permite hacer una interpretación analítica de los resultados mediante un listado en orden de importancia relativa de las necesidades de cada nutrimento; así por ejemplo, se vio que el calcio era un elemento potencialmente limitativo de la producción en el área de cultivo, mientras que esta situación no había sido detectada por otros medios.

Estos indicadores o tablas de normas DRIS requieren, para una correcta interpretación, la información complementaria que da el análisis de suelos y el conocimiento de las condiciones del cultivo.