



81
2^{da}

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO
FACULTAD DE CIENCIAS**

**ALGUNOS ANALISIS BROMATOLOGICOS EN TRES ESTRATOS
DE LA COPA ARBUSTIVA DE COFFEA ARABICA DE UNA FINCA
CAFETALERA DEL MUNICIPIO, EL BOSQUE, CHIAPAS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A
ROSA MARIA GUZMAN BARRERA**

MEXICO, D. F. OCTUBRE DE 1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Contenido

Resumen 1

Introducción 4

1. La economía mundial del café 4
2. La cafecultura en México 2

Objetivos 10

1

Historia del café 11

2

Generalidades del café 12

- 2.1 Sistemática y especies de Interés económico 12
- 2.2 Factores ambientales 12
- 2.3 Requerimientos climáticos del suelo 17
- 2.4 Sombra, arroyo, distancia de siembra y poda 19
- 2.5 Cosecha y beneficio 23

3

Técnica de análisis foliar 26

3.1 Teoría de análisis de plantas 28

4

Toma de muestras foliares en cafetos para fines de diagnóstico 32

4.1 Tamaño de la muestra 35

4.2 Época para tomar las muestras 36

4.2 Aplicación del análisis foliar en la nutrición del cafeto 37

4.3 Importancia del análisis foliar aplicado al cafeto 37

4.4 Objetivos del análisis foliar en el cafeto 37

5

Fuentes de macronutrientes en el suelo 43

5.1 Minerales comunes que contienen los macronutrientes 41

5.2 Fuentes de macronutrientes en el suelo 42

5.3 Causas de la deficiencia o carencia de macroelementos en el suelo 46

5.4 Función, movilidad y antagonismo de los macronutrientes en el arbusto de café 47

5.5 Deficiencias de macronutrientes en café 48

5.6 Contenido de nutrientes en el 3° y 4° par de hojas 50

6

Descripción geográfica de la zona de estudio 53

6.1 Situación geográfica de Chiapas 53

- 6.2 Ubicación del Municipio El Bosque, Chiapas 53
- 6.3 Topografía 54
- 6.4 Hidrología 54
- 6.5 Geología 55
- 6.6 Clima 56
- 6.7 Vegetación 56
- 6.8 Ubicación de la Finca Cucalhutz, El Bosque, Chiapas 57

7

Materiales y métodos 66

- 7.1 Campo 66
- 7.2 Laboratorio 67
 - 7.2.1 Lavado, secado y molienda 67
 - 7.2.2 Preparación de las muestras por vía seca 67
 - 7.2.3 Preparación de las muestras por vía húmeda 68
 - 7.2.4 Determinaciones físicas 69
 - 7.2.5 Determinaciones químicas 69

8

Resultados 71

9

Discusión 91

10

Conclusiones 97

11

Referencias 99

Resumen

La productividad de café en México es fundamental por los aportes a la economía nacional; el Estado de Chiapas con adecuadas condiciones ambientales ocupa el primer lugar en producción de café en el país, dentro de los agroecosistemas cafetaleros importantes destaca el municipio *El Bosque* por su alta productividad y capacidad de exportación.

Este trabajo, tiene como objetivos la determinación de elementos nutritivos en tres estratos de la copa arbustiva de *Coffea arabica*, conocer algunos de los problemas de nutrición, relacionar los elementos que actúan sobre el rendimiento y sobre la nutrición mineral y la correlación de la fertilidad del suelo con algunos análisis bromatológicos de la planta.

Se seleccionaron tres diferentes sitios de muestreo dentro de la finca y se colectó material foliar de un total de 31 arbustos de café, a cada uno se le quitaron 25 hojas de la parte baja, media y alta de la copa arbustiva.

Se muestrearon tres sitios de la finca y en cada uno de ellos se seleccionaron 11, 10 y 10 arbustos de café y a cada uno se les quitaron 25 hojas de la parte baja, media y alta de la copa arbustiva.

Las muestras foliares se analizaron por vía húmeda y seca, efectuándose las siguientes determinaciones físicas y químicas: peso fresco,

peso seco, porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y porcentaje de proteína cruda.

De los resultados obtenidos se encontró lo siguiente: Los cafetos estudiados presentan características similares en sus propiedades físicas y químicas, *El Poblado Viejo* tienen los valores más altos en peso fresco y seco, La parte alta de la copa arbustiva presenta los mayores porcentajes en peso.

El porcentaje de humedad para *El Poblado Viejo* es de 42.2 a 61.0, para *La Guayaba* de 39.3 a 67.8 y para *El Caracol* de 39.2 a 61.1. En la parte alta de la copa arbustiva los valores son los más altos.

El porcentaje de cenizas es mayor en el Poblado Viejo con 6.45 a 9.50, en el Caracol de 5.10 a 8.45 y en *La Guayaba* de 5.18 a 7.41.

El contenido de nitrógeno para las tres zonas es de 2.38 a 2.94%, que es considerado como una concentración media. El porcentaje de proteína cruda para *El Caracol* y *El Poblado Viejo* es de 14.8 a 18.4 y para *La Guayaba* de 14.9 a 17.5 y en general tiene el mismo comportamiento que el nitrógeno.

La cantidad de fósforo en las tres zonas es de 0.135 a 0.190%, y se consideran como valores medios.

Los contenidos de potasio para *El Caracol* son de 1.38 a 1.61% siendo los más altos, después *El Poblado Viejo* con 1.23 a 1.58% y por último *La Guayaba* con 1.23 a 1.51%. Estas concentraciones son consideradas bajas.

El calcio se encuentra en mayor concentración en *El Poblado Viejo* con 0.80 a 1.80%, después *La Guayaba* y *El Caracol* con 0.68 a 1.20% y 0.56 a 1.36% respectivamente.

Los contenidos de magnesio de 0.222 a 0.291% son considerados como de una concentración media.

Aunque la zona presenta características ambientales adecuadas para el desarrollo y buena producción del café, la concentración de los

principales elementos del suelo necesarios para la nutrición del cafeto es baja, excepto para el nitrógeno, por esta causa la planta tiene una concentración baja de potasio, y concentraciones medias de calcio y magnesio.

Introducción

1 LA ECONOMÍA MUNDIAL DEL CAFÉ

El café se cultiva en 50 países y se consume prácticamente en todas las naciones del mundo, especialmente en las zonas templadas en donde se hallan los países industrializados. En la actualidad se le considera la bebida más popular del mundo y proporciona aproximadamente 10 millones de dólares de ingresos al año a los países productores. Para una docena aproximada de países supone más del 25% de sus ingresos en divisas. La producción de este grano exige la utilización intensiva de mano de obra y puede afirmarse que a nivel mundial son aproximadamente 20 millones de trabajadores los que dependen del café como fuente de empleo remunerado.

Actualmente la producción mundial del café oscila entre los 90 y 99 millones de sacos de 60 kilogramos. A su vez, los principales países productores del grano son los siguientes: Brasil con una participación de 33 000 sacos, Colombia con 12 500, Indonesia con 5 450, Costa de Marfil con 4 700, México con 4 480, Etiopía con 3 750, Uganda con 3 250, El Salvador con 2 900, Guatemala con 2 6000, India con 2 334, Costa Rica con 2 100, Camerun con 1 940 y otros con 20 066 (INMECAFE, 1984-85).

En la actualidad el consumo mundial de este producto se estima alrededor de los 85 millones de sacos, siendo los principales mercados, Estados Unidos y Europa. De este total, Estados Unidos participa con 22.7%, la República Federal Alemana con 8.6%, Francia con 6.1%, Japón con 4.7%, Italia con 4.6%, Inglaterra con 2.8%, Holanda con 2.6%, Canadá con 2.2%, España y Suecia con 2.0% respectivamente, Bélgica con 1.7%, Dinamarca y la República Democrática Alemana con 1.2% respectivamente (INMECAFE, 1985).

En cuanto a la comercialización, es preciso anotar que la explotación del café en los países productores ha sido desde siempre una actividad orientada hacia los mercados internacionales por lo que una elevada proporción de la producción mundial (aproximadamente 75%) se comercializa en estos mercados. Así mismo, como consecuencia de la división internacional del trabajo impuesta por los países industrializados, las naciones que cultivan este grano se han visto condicionadas a exportar su producto sólo con un grado de procesamiento primario (el beneficiado), reservándose los países consumidores desarrollados las fases propiamente industriales como: la torrefacción, la molienda, la solubilización, la liofilización y el envasado, esto es debido a que algunos países no cuentan con la infraestructura necesaria para llevar a cabo estos procesos y además se encuentran entre los países con mayor deuda externa, como es el caso de Brasil, Colombia y México los cuales son también tres de los principales productores de café (Bibliocafé, 1984).

El comercio cafetero a escala internacional presenta las siguientes características:

El cafeticultor vende su producto a los intermediarios locales, estatales o privados, a un precio casi siempre establecido por el propio gobierno con base a las perspectivas del mercado internacional y de otros parámetros económicos de orden internacional. Los intermediarios, a su vez canalizan sus ventas al exterior en dos vertientes

básicas: hacia los comerciantes o hacia los tostadores de los países importadores, a un precio que varía según la calidad, el puerto de embarque, el plazo de entrega, el tipo de contrato y la coyuntura específica de escasez, equilibrio o abundancia de las diferentes calidades de café que prevalezca en el mercado. Así el precio resultante de la combinación de todos estos elementos, constituye la cotización clave en torno a la cual se mueve el complejo sistema de precios del café, que abarca desde el precio mínimo de compra en el campo hasta el precio al detalle de los países consumidores. Una vez que el café llega a los tostadores y es procesado, se abre la esfera de la distribución al mayoreo y menudeo, lo que hace posible que el consumidor final adquiera el producto.

Finalmente, otro aspecto importante del comercio cafetero se relaciona con la gran diversidad de calidades de café que circulan en el mercado. Esta situación es el resultado de las diferentes variedades que se cultivan, de las peculiares condiciones ecológicas de cada región y del tipo de beneficiado que se aplica. A su vez las diferentes calidades de café implican diferentes cotizaciones en los mercados internacionales, mismas que han estado determinadas básicamente por tres factores: la calidad, el nivel de la disponibilidad de cada tipo o grupo y el desarrollo cualitativo de la demanda internacional (INMECAFE, 1985).

2 LA CAFETICULTURA EN MÉXICO

El café se cultiva en las faldas montañosas templadas, tropicales y húmedas de México, desde Chiapas hasta Nayarit, con una precipitación pluvial anual inferior a 2500 mm y en altitudes comprendidas entre 200, 400, 1100 y 1400 msnm. Aproximadamente, el 70% de áreas de cultivo se encuentran entre 700 y 1200 msnm.

Comercialmente, el café se cultiva en doce entidades federativas, siendo Chiapas, Veracruz, Oaxaca y Puebla, los estados más produc-

tivos los que aportan el 91% de la producción nacional, véase cuadro 1.

Cuadro 1 Producción de café en México cosecha 1986-87.*

Estado	Hectáreas	Sacos de 60 Kg	Producción		Rendimiento/ha	
			Quintales	Toneladas	Sacos	Quintales
Chiapas	163 268	1 688 583	2 202 500	101 315	10.3	13.5
Veracruz	98 196	1 516 083	1 977 500	90 965	15.4	20.1
Oaxaca	103 326	600 300	783 000	36 018	5.8	7.6
Puebla	33 593	716 552	934 500	42 987	21.3	27.8
Guerrero	40 939	222 333	290 000	13 340	5.4	7.1
Hidalgo	23 582	122 283	159 500	7 337	5.2	6.8
S.L.P.	17 511	82 033	107 000	4 922	4.7	6.1
Nayarit	10 413	121 133	158 000	7 268	11.6	15.2
Jalisco	2 700	8 817	11 500	529	3.3	4.3
Tabasco	2 431	12 650	16 600	759	5.2	6.8
Colima	1 051	8 050	10 500	483	7.7	10.0
Querétaro	446	1 150	1 500	69	2.6	3.4

* Gutiérrez (1988).

En los mercados internacionales, los granos de café mexicano tienen características comerciales reconocidas; el café tipo exportación es obtenido de los cafés lavados, es decir, que fueron procesados en el beneficio húmedo y en el seco. Es el café oro que al clasificarse resultó de primera por su tamaño y peso, exento de mancha, color uniforme, sin impurezas y sin daños, con el contenido de humedad requerido y con calidad certificada a través de pruebas de catación.

El café tipo exportación a su vez se clasifica por su calidad en:

- Estrictamente de altura
- Altura
- Prima lavado
- Buen lavado

Esta clasificación está determinada principalmente por la altitud sobre el nivel del mar en donde se produce el café. Así, el *buen lavado* se produce entre los 400 y 600 msnm; el *prima lavado*, entre los 600 a 900 msnm y el *estrictamente altura*, entre los 1200 y 1500 msnm.

México comercializa fundamentalmente los cafés *prima lavado* y *altura*; los otros dos, se producen en tan reducida escala que sus volúmenes no son significativos. La altitud es la que determina las siguientes características de calidad de café:

Cuerpo, aroma y acidez. A menor altura disminuyen o desaparecen estas cualidades a tal grado que el café puede ser astringente o áspero.

Los cafés finos, y sobre todo el café clasificado como *estrictamente de altura* tiene las mejores características físicas, como tamaño y color, siendo adecuadas sus cualidades organolépticas, aroma y acidez. Cuanta más acidez tiene un café es más fino y de mejor calidad (INMECAFE, 1980).

Las tierras abiertas al cultivo del café en áreas sumamente montañosas, colocan a México como el quinto productor mundial del mismo (INMECAFE, 1985), con una superficie total aproximada en cultivo de 497, 456 hectáreas con una población de unos 535 millones de arbustos en producción. Observando las estadísticas nos damos cuenta palpable de la enorme importancia que reviste para nuestro país el cultivo de café, pues actualmente existen 168, 521 productores y se estima que 300, 000 personas intervienen en labores de cultivo, cosecha y operación de beneficio. Se calcula que poco más de dos millones de mexicanos, equivalentes al 10% de la población rural del país viven de la cafeticultura.

El estado de Chiapas contribuye grandemente en la producción de café, es un estado eminentemente agrícola. La agricultura es la actividad principal, por la riqueza que crea, y porque es la mayor fuente de ocupación de la fuerza de trabajo chiapaneca.

La agricultura de Chiapas alcanza relieve nacional en algunos ren-

glones, marcha a la vanguardia en la producción nacional de café, si bien se destaca aún más por la calidad de su grano, que casi en su totalidad tiene como destino el mercado internacional (Chiapas contribuye fuertemente, por tanto, en la generación de divisas).

Chiapas ocupa el primer lugar entre las entidades federativas productoras de café. Se calcula que la producción chiapaneca alcanza actualmente 1.6 millones de sacos, de los que una buena parte corresponde a café de excelente calidad, cuyo destino es el mercado mundial.

Así, pues nos damos cuenta que una parte de la economía mexicana está basada en el cultivo del café. Sin embargo se ha visto que últimamente ha disminuido la producción, un ejemplo de esto lo tenemos en la finca de estudio en donde hace diez años obtenían 2500 bultos de café (50 kg cada uno) de primera, hace ocho años 2100 bultos, hace siete 1800 bultos y después de la erupción del volcán Chichonal bajó la producción a 400 bultos. Como se observa es importante realizar estudios para incrementar y mejorar la calidad de la producción nacional de café y así poder asegurar el porvenir cafetalero.

Objetivos

Los objetivos de este estudio son:

1. Determinación de elementos nutritivos en tres estratos de la copa arbustiva de *Coffea arabica*.
2. Conocer algunos de los problemas de nutrición y correlacionar los elementos que actúan sobre el rendimiento y sobre la nutrición mineral.
3. Correlación de la fertilidad del suelo con algunos análisis bromatológicos de la planta.

Historia del café

Etiopía tiene el crédito de ser el lugar de origen de la planta de café, aunque algunos investigadores piensan que debe ser otorgado al sur de Arabia. Lo que si es indudable hasta el presente, es que el vocablo café es de origen árabe de la palabra Kahawh, con la raíz turca Kahveh (INMECAFE, 1974).

En el siglo IX, es cuando se conocieron sus propiedades y se inició su cultivo. En 1616, se llevó la variedad moka de café a Holanda y en 1658 se cultivó en Ceilán; en 1669 fué llevada a Java y en 1670, a Alemania. En Viena se inauguró el primer café en 1683, y en Berlín en 1721 (Ullmann, 1935).

En 1714 se cultivo en París. En Puerto Rico y en Santo Domingo en 1715. Brasil cultiva por primera vez el café en 1723.

La fecha exacta de la introducción del cafeto en México se desconoce. Sin embargo, la mayoría de los investigadores coinciden en que se cultivó en forma comercial por primera vez en Córdoba, Ver., empleando material introducido de Cuba en el año de 1795, por Don Juan Antonio Gómez. Datos publicados por Don Sebastián Lerdo de Tejada, relativos al comercio exterior e interior de México, demuestran que entre los productos exportados por el puerto de Veracruz en

1802, figuraron 272 quintales de café.

Sin embargo, hasta 1882 México forma parte de las naciones exportadoras y desde entonces a la fecha se ha hecho en forma ininterrumpida.

De las numerosas especies del género *Coffea* sólo se cultivan en gran escala *Coffea arabica* L. y *Coffea liberica* Bull ex Hiern; aunque también son importantes las especies *C. canephora* Pierre ex Froehner, *C. stenophylla* G. Don. y *C. zaquebariae* Lour., *C. robusta* Linden también se cultiva en diferentes países.

Generalidades del café

2.1 SISTEMÁTICA Y ESPECIES DE INTERÉS ECONÓMICO

El café forma parte de la familia de las Rubiáceas de la que constituye el género *Coffea*, establecido por De Jussieu (1735). El profesor Augusto Chevalier cita alrededor de setenta especies en su agrupación sistemática (1929). Más tarde esta cifra ha aumentado con varias nuevas especies descubiertas en todo el mundo en éstos últimos años, especialmente en Madagascar y es probable que las investigaciones que actualmente se realizan permitan enriquecer aún más este inventario (Coste, 1969).

Las especies comprendidas en el *Coffea* se presentan bajo aspectos muy diversos al final de su desarrollo, o sea en su edad adulta, variando desde el arbusto de pocos decímetros de altura, hasta el arbusto que alcanza de 12 a 15 metros, y presentando también diversas características en su ramaje, hojas, frutos y semillas (Coste, 1969).

En 1753, después de que Linneo estableció el género *Coffea* dentro de su clasificación, es que la especie llegó a ser conocida como *Coffea*

arabica (Haarer, 1977).

La descripción general es: un arbusto de hoja perene de 8 a 10 metros de altura, ramas opuestas, largas flexibles, muy delgadas, de aspecto semirecto cuando son jóvenes, ensanchado y decaído en la edad adulta. Hojas opuestas, ovaladas, de peciolo corto, bordes ondulados y superficie brillante, ligeramente abarquillada y acuminadas; longitud de 10 a 15 cm y ancho de 4 a 6 cm. Flores blancas con olor a perfume de jazmín, agrupadas en la axila de las parejas de hojas, en cimas de 2 a 3, constituyendo verticilos de 8 a 15 flores. Cada flor está sujeta por un corto pedunculo y un caliz compuesto de 5 pequeñas brácteas, recubre el ovario. El ovario es una drupa llamada corrientemente cereza, es ovoidea, subglobulosa, roja si está madura, de 10 a 15 mm de diámetro por 16 a 18 mm de largo, constituida por un exocarpio (piel coloreada), un mesocarpio carnoso y blanco-amarillento (pulpa) y dos semillas unidas por sus caras planas. La semilla (en lenguaje comercial) difiere en forma y dimensión dependiendo de la variedad, las condiciones del medio y del cultivo; en término medio tiene 10 mm de longitud, 6 a 7 mm de ancho y 3 o 4 mm de espesor, y su peso oscila 0.15 a 0.20 gr.

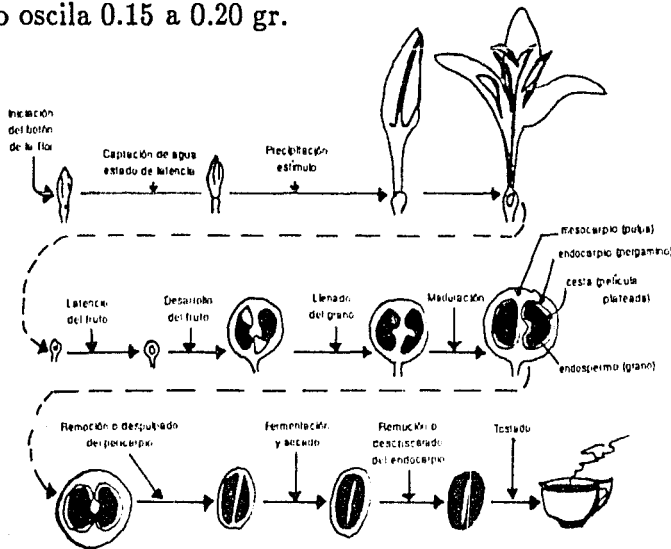


Figura 2.1 Representación esquemática de la flor, fruto y semilla de *Coffea arabica*

El cafeto, por su naturaleza autógama (autofértil), tiene unas características relativamente homogéneas. Sin embargo, ha dado lugar al nacimiento de cierto número de variedades (híbridas mutantes, etc.), tipos y cultivos regionales que indican la influencia que indudablemente ejerce el medio (Coste, 1969).

Chenney (1925), citado por Haarer (1977), menciona 40 especies y considera que 19 tienen importancia económica con sus respectivas variedades, entre las cuales se encuentran las ampliamente cultivadas y otras usadas con cierta extensión en las localidades en las cuales son indígenas. Otros botánicos están de acuerdo con esta lista y la amplían, la modifican, o reducen algunas de sus especies a meras variedades.

Haarer en 1977, colocó a los cafetos más ampliamente cultivados en cuatro especies, en orden de importancia comercial:

1) *Coffea arabica* L., 2) *C. canephora* Pierre ex Froehner, 3) *C. liberica* Bull ex Hiern, y 4) *C. excelsa* A. Chev. En consecuencia, el *C. robusta* Linden puede considerarse como una variedad o forma de *C. canephora*, Chevalier considera al *C. excelsa* como una de las diversas razas o formas del *C. dewevrei* De Wild.

En la literatura científica se han descrito numerosas variedades de *C. arabica* en base a las Reglas Internacionales de Nomenclatura Botánica Haarer (1977) reconoce dos variedades botánicas, quedando las otras relegadas a otras especies o reducidas al estado de cultivadas:

C. arabica var. *arabica* (var. *typica*, (Cramer) y *C. arabica* var. *bourbon* (B. Rodr.) Choussy. La primera es la más conocida de las dos. De acuerdo con Krug y Carvalho (1961), citado por Haarer (1977), la var. *bourbon* es una mutante recesiva.

Esta variedad por cruzamiento natural con una variedad de *C. arabica* oriunda de Sumatra e importada en Brasil a fines del siglo pasado, ha dado lugar a la *Mundo novo*, cuyas razas seleccionadas tienen extraordinarias cualidades de robustez, vigor y sobre todo productividad, no obstante, una tendencia hereditaria de los frutos a madurar vacíos (lúculos). Otra especie cultivada, clasificada anteriormente

como variedad, el café Maragogipe (*C. arabica* cv. *maragogipe* = *C. arabica* var. *maragogipe* hort.) que fué descubierta en 1870.

El café robusta (*C. canephora* Pierre ex Froehner) es nativo de los bosques ecuatoriales de Africa, desde la costa oeste hasta Uganda y las partes sur del Sudán, lo mismo que de los territorios francés, británico, belga y portugués del Africa Occidental, entre las latitudes de 10° norte y 10° sur, en elevaciones desde el nivel del mar hasta más o menos 1000 msnm. El término *café robusta* se aplica a la agregación de formas que comprende *C. canephora*, esta especie es una buena ilustración de la confusión que existe entre los botánicos con relación a todos los cafés.

Un factor complicado en las razas de *C. canephora* es su autoesterilidad, puesto que debe ser polinizada en cruz para producir semillas viables. Generalmente no se encuentra en el café robusta las numerosas formas de reproducción verdadera, que se presenta en *C. arabica*. Los híbridos del café robusta con otras especies han manifestado varias características decididamente favorables:

a) inmunidad o gran resistencia a la roya por *Hemileia*, b) baja cantidad de fruta fresca para la proporción de grano seco (3-5:1 en comparación 5-6:1) para el café arábigo, c) gran capacidad productora y d) capacidad para retener la fruta en el árbol por algún tiempo hasta su plena madurez.

Aunque los cafés árabes y robusta proveen la mayor parte del comercio mundial de este producto, el liberiano (*C. liberica* Bull ex Hiern) y el excelsa (*C. excelsa* A. Chev.), han sido llevados a muchos países en los trópicos donde se cultivan en pequeñas áreas, pero de baja calidad, los árboles crecen vigorosamente en las regiones más calientes y húmedas de los trópicos, en los cuales el café arábigo no prosperaría bien y sufriría probablemente toda clase de enfermedades y plagas, Ochse et al (1976) y Haarer (1977) citados por Ramos (1979).

2.2 FACTORES AMBIENTALES

Los factores ambientales (clima, suelo, etc.) ejercen una influencia muy notable sobre el cafeto, hasta el punto de que no es posible su cultivo si no se cumplen cierto número de condiciones. La sensibilidad

del cafeto a alguno de estos factores es tal, que se les puede considerar como factores vitales limitantes. Pero superadas estas limitaciones este arbusto no carece de posibilidades de adaptación a ecologías muy variadas. El hombre interviene en los casos necesarios, sacando provecho de las investigaciones agronómicas para corregir en cierta medida a atenuar las influencias del medio al que considere poco favorable (Coste, 1969).

2.3 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS DEL SUELO

Las condiciones climáticas más convenientes para el cultivo de la *arabica* se encuentran en áreas subtropicales y en las áreas de gran altura de los trópicos (Geus, 1967).

La temperatura, el agua, la iluminación y los vientos son los factores climáticos importantes para los cultivos del café. Antes de hablar de ellos y para aclarar su influencia, es preciso estudiar las características fundamentales del clima de las regiones originarias de las grandes especies de *Coffea arabica*.

Las plantaciones naturales de esta especie se encuentran en Etiopía, en la zona de las altiplanicies cuya altura está comprendida entre 1300 a 1800 msnm, entre 6° y 9° de latitud norte (Kaffa, Tana etc.). Esta región se caracteriza por una estación seca de 4 a 5 meses de duración, en la que el total de precipitaciones es de unos 1500 a 1800 mm. La temperatura media oscila entre 20° y 25°C con mínimas de 4° y máximas de 30° a 31°C. Como puede verse, se trata de un clima tropical influenciado por la altura y de gran variación estacional (Coste, 1968).

Este conocimiento explica las dificultades con que se ha tropezado para cultivar esta especie en las regiones tropicales bajas con calor y humedad excesivos, o con un régimen pluviométrico muy distinto, ya sea por la abundancia de precipitaciones, o por su mala distribución estacional. Todas las tentativas realizadas en la Costa de Marfil, en la cuenca del Congo, etc. no han logrado éxito alguno. Los estudios del medio natural donde crece *Coffea arabica*, ha demostrado que esta especie no puede prosperar en las regiones intertropicales sino en zonas en que la conjunción del relieve y la latitud proporcione la corrección de los factores desfavorables. Es este, por ejemplo, el caso de Africa Oriental (Kenia, Tanzania, etc.), donde las plantaciones se sitúan entre 1300 y 2100 msnm de altura de Africa Occidental, de

las altas llanuras del Camerum, etc. En Brasil, la gran zona cafetera está situada en los estados de Sao Paulo y Panamá, donde la altitud es menor (600-800 msnm) pero está compensada por la baja latitud geográfica (20° a sur).

Otro de los factores importantes para el cultivo del café es la iluminación. En su habitat natural el cafeto se halla en lugares sombríos o semi-sombreados (claros, galerías forestales más o menos densas (Coste, 1969).

En general, los vientos son nocivos para el cafeto al producir rotura de ramas, caída de hojas, etc. A esta acción mecánica se añade una acción fisiológica, no menos importante especialmente si se trata de vientos secos y cálidos, puede haber retraso en el desarrollo vegetativo, marchitamiento de las hojas y de los brotes jóvenes, etc. La acción nociva de estos vientos es mucho más marcada cuando las reservas hídricas del suelo son escasas o se han agotado (suelos ligeros, muy permeables de escaso poder de retención) (Coste, 1969)

En las regiones situadas en el trayecto de los ciclones (Antillas, Madagascar, Vietnam etc.), los estragos causados a los cafetos por los violentos vientos pueden ser muy considerables; árboles de sombreado abatidos, cafetos derribados, mutilados etc.

Los suelos para el café pueden ser de diferente origen geológico. Pueden derivarse del basalto, gneiss y arenisca como en el Brasil, de gneiss, granito y arenisca como en el Occidente de Africa y en la India, de cenizas volcánica como en Colombia, Java y America Central, o de rocas masivas y de lavas como en el Este de Africa, Kivu y Hawai. Sin embargo, más importante que su origen geológico es su condición física. Los suelos para el cultivo del café deben ser profundos, friables, de textura franca y permeables. Por ejemplo, Terrarossa, uno de los suelos para café más importantes de Brasil, es a menudo de 20 cm de profundidad. En las áreas más importantes productoras de café en Kenya, los suelos son de arcillas lateríticas muy profundas y friables. El tipo de suelo predominante en las áreas más importantes productoras de café en Tanzania es muy fértil, rojo, franco volcánico, de considerable profundidad y buena textura (Geus, 1976).

Las raíces del cafeto demandan altos requerimientos de oxígeno, lo que significa que el suelo pobremente drenados y arcillosos son inapropiados, mientras que los suelos ligeramente arenosos carecen, en general, de la necesaria capacidad para la retención de la humedad

(Geus, 1976).

El cafeto prefiere una reacción ligeramente ácida del suelo, con un pH de 6.0-6.5, pero se pueden obtener resultados excelentes en suelos más ácidos, siempre que posean buenas condiciones físicas, con suficientes iones de calcio para la nutrición fisiológica y con una alta concentración de nutrimentos para la alimentación de la planta.

En general, estos nutrimentos tendrán que ser suministrados en forma de fertilizantes, ya que lo más frecuente es que un bajo nivel de pH indique un estado pobre de minerales (Geus, 1967).

2.4 SOMBRA, ARROPE, DISTANCIA DE SIEMBRA Y PODA

El café se puede cultivar con sombra o sin ella. En algunas de las principales áreas de cultivo del café, por ejemplo: Brasil y Kenia, el café se cultiva sin sombra, por la simple razón de que las cifras de precipitación son muy bajas para proveer suficiente humedad a las plantas de café y para las que suministran las sombra. Sin embargo, en la mayoría de las otras áreas el café se cultiva a la sombra, a causa de las ventajas que comprende. Desde un punto de vista climático, la sombra puede proteger los arbustos de café de la insolación excesiva, o puede reducir las fluctuaciones en la temperatura y proteger los árboles contra las heladas o un viento frío nocturno. Con respecto a su influencia en la condición del suelo, los siguientes puntos deben ser mencionados según Geus, 1967:

- a) Los árboles para el sombreado ayudan a controlar la erosión y reducen las pérdidas por lixiviación.
- b) Los árboles para el sombreado contribuyen con su hojarasca acumulando materia orgánica que le confiere al suelo, buenas condiciones biofísicas.
- c) Los árboles para el sombreado tienen una influencia favorable en el nivel de nitrógeno del suelo, particularmente si se usan las leguminosas (*Inga edulis*, *I. leptoloba*, *I. radians*).
- d) Los árboles para el sombreado reducen los costos del cultivo al suprimir el crecimiento de malezas.

Sin embargo, los árboles para el sombreado tienen también sus desventajas, siendo las más importantes, la competencia por el agua, los nutrimentos y la influencia de la sombra en el nivel de producción. Considerables cantidades de nutrimentos se retienen en el tallo y las ramas de los árboles para el sombreado durante su desarrollo, lo que se debe tomar en cuenta en los programas de fertilización del café. El rendimiento del café sombreado está determinado y limitado más o menos por la cantidad de fertilizantes aplicados para los altos rendimientos, la sombra se debe mantener por lo tanto, a un mínimo o ser abandonada por completo. Los requerimientos de sombra dependen de varios factores tales como clima, suelo, el uso de fertilizantes, variedades de café, sistemas de cultivo, etc. El café sin sombra puede cultivarse únicamente bajo condiciones climáticas favorables en suelos profundos, permeables, de buena condición física y con gran abundancia de fertilizantes (Geus, 1967).

Un nuevo método que ahora es ampliamente recomendado con frecuencia es el de la *siembra en seto* con las plantas muy juntas en hileras. Estos setos pueden consistir de uno o dos y hasta tres hileras de arbustos de café. El sistema Cowgill, citado por Geus (1967) de siembra en seto, consiste en tres hileras de cafetos a un metro de distancia aproximadamente entre las hileras y a un metro de distancia de las plantas en la hilera, con un intervalo de tres metros aproximadamente, entre los grupos de tres hileras. El principio del propósito de esta distancia de siembra es proveer un grado tan amplio de sombra propia del café como sea posible, eliminando así la necesidad de los árboles para el sombreado y evitando la falta de sombra.

El arrope se debe recomendar firmemente para el café sin sombra, particularmente en áreas de secano con suelos de textura ligera, ya que ejerce una gran influencia en la condición física del suelo y en los rendimientos de la cosecha. Medcalf, 1956 citado por Geus, 1967 realizó experimentos en los cuales se hicieron aplicaciones abundantes de arrope en plantaciones jóvenes de café que aumentaron los rendimientos en un 72% aproximadamente. Existió una relación lineal entre las cantidades de arrope y los rendimientos. La respuesta al rendimiento puede deberse principalmente a un medio radicular mejorado, como se demostró por un aumento en la disponibilidad de la humedad, la reducción en las temperaturas y un mejoramiento en las condiciones físicas y químicas del suelo. El mejoramiento de estos últimos factores se debe a un aumento en los niveles de fósforo y potasio en las hojas del cafeto. Existe una indicación de que las aplicaciones abundantes

de arrope en las primeras etapas tienden a disminuir la disponibilidad del nitrógeno del suelo, por lo que se puede requerir fertilizante nitrogenado adicional con las primeras aplicaciones de arrope.

El control de la erosión y la conservación del suelo estarían entre los principales beneficios indirectos de un sistema de arrope. Medcalf cita también algunas cifras impresionantes de rendimientos en relación con el uso del arrope del café en el Estado de Minas Gerais, Brasil, donde en un período de 14 años se registró un 66% de aumento en el promedio de los rendimientos por el uso del arrope con yerba Melasa *Molasses grass*. En otro caso se cita un aumento tan alto como el 213% en un período de 5 años. Con cafetos jóvenes de 4 años el arrope produjo un aumento del 130% en el primer año. Una cobertura de arrope redujo la pérdida del suelo en un 60% durante dos estaciones (épocas) en comparación con parcelas que se desyerbaron a mano (Geus, 1967).

Todo el material orgánico disponible, incluyendo la pulpa de café se debe utilizar siempre que se justifique desde un punto de vista económico (Geus, 1967).

Otra práctica que se lleva a cabo en el cultivo del café es: La poda de los árboles de sombra y de los cafetos; para los primeros el espaciado y la cantidad de poda, dependen en particular de la especie y de la localidad considerada. Es importante tener en consideración la formación de árboles jóvenes para construir una estructura vigorosa y bien balanceada con buenas ramas de fructificación a medida que envejecen y dejan de producir. El método más antiguo que se utiliza en la poda es el de tallo único, el término se explica por sí mismo, puesto que al arbusto se le permite un tallo principal y se le deja crecer de 1.37 a 1.52 m de altura antes de despuntarlo y conservarlo a esta altura.

Otro de los métodos utilizados es el de tallos múltiples, para llevarlo a cabo es necesario en primer lugar, que los arbustos no tengan todas sus ramas primarias excepto unas cuantas en la parte superior y no se permitirá que haya frutos en las ramas que permanezcan. Estas ramas superiores ayudaran a alimentar a las raíces hasta que los chupones se hayan desarrollado en el tallo principal, estimulados por la menor descompensación que sufren los árboles por la pérdida de la mayor parte de sus ramas. Para estimular el crecimiento de los chupones en la parte inferior del tallo, pueden hacerse algunos cortes en la corteza del tronco, inmediatamente arriba de los muñones dejados

por las ramas cortadas. De esta manera, una plantación de arbustos viejos de tallo único puede transformarse en una de tallos múltiples de la manera más segura. El suelo debe conservarse fresco y húmedo, usando arropes y haciendo todo lo posible por ayudar a las raíces de los viejos tocones para que se desarrollen vigorosamente. Una de las desventajas de obtener tallos múltiples cortando los tallos viejos y aún los jóvenes, es la de que los chupones aparecen muy juntos. Conforme crecen, el peso de los frutos los hacen que se doblen, separándose unos de otros y existiendo entonces una tendencia a desgajarse del tocón. Otra desventaja es que los gusanos barrenadores pueden causar más daño entre los tallos múltiples muy juntos, en regiones donde es común esta plaga. Las ventajas satisfactorias de un desarrollo de tallos múltiples pueden depender muy bien de un crecimiento rápido y de las condiciones climáticas y serán más difíciles de obtener en una región fría y húmeda donde el café se desarrolla lentamente. Es, en consecuencia discutible si el antiguo método de un solo tallo pudiera no ser la mejor práctica en regiones más frescas. El método de tallos múltiples tiende a la obtención de bastante madera de fructificación joven y a sacrificar la vieja, mientras que en un medio ambiente ideal, un cafeto produce mucha de su cosecha en la madera más vieja que entonces llega a ser la parte más valiosa del arbusto (Haarer, 1977).

Si el método de tallo único se encuentra que es el mejor en una región favorable, hay medios para ayudar a establecer el follaje de un arbusto y para que produzca cosechas anuales amplias y sucesivas hasta su vejez sin que se presente agotamiento o muerte. Es entonces necesario retener y reforzar las ramas primarias para que no haya peligro de marchitamiento. Esto es lo que se conoce como *despunte*, este consiste en detener el desarrollo a intervalos, pellizcando las yemas apicales del tallo principal; en la primera ocasión a la altura de la rodilla; después a la altura de la cintura y finalmente, cuando la punta del tallo ha alcanzado la altura del pecho. Después del tercer despunte, se le permite al arbusto desarrollarse hasta su altura final de aproximadamente 1.53 m. Estos despuntes dirigen la fuerza del crecimiento hacia las ramas de una manera obvia hasta que el desarrollo terminal empieza nuevamente con toda su fuerza. No hay duda de que las ramas son vigorizadas en esta forma y engrosadas para que se constituyan en mejores almacenes de alimento en toda su longitud. Son capaces de soportar el follaje, él que a su vez proporciona más alimento y finalmente flores y frutos sin agotarse. Esta vigorización se verifica en 4 pasos (tres veces cuando se hace el despunte y finalmente

en el último cuando el arbusto se ha desarrollado a la altura deseada). Puede haber una pequeña pérdida de tiempo mientras se forma el follaje del arbusto de esta manera, pero se compensa por el vigor extra y las cosechas más estables que se obtienen después (Haarer, 1977).

2.5 COSECHA Y BENEFICIO

Cuando el fruto está maduro, debe desprenderse con la mano cuidadosamente para evitar el desprendimiento del fruto no maduro, o lastimar la rama que los contiene. Si los arbustos están muy altos por no haber sido despuntados se usarán escaleras en la recolección.

El precio pagado por cada medida de fruto recolectado varía en las diferentes localidades, siendo más alto, en donde la mano de obra es escasa.

Cuando el cafeto está sin podar, crece muy alto. Se han visto arbustos de 5.2 y 5.5 m de alto, con un radio en la parte más ancha del follaje de 3.7 m, y el tronco hasta 12.7 cm de diámetro.

Los arbustos están, a veces, muy cargados de fruto que las ramas se doblan bajo su peso. Para prevenir esto será necesario apoyarlas en horquetas o rodrigones (INMECAFE, 1978).

La preparación del café para el mercado comprende las siguientes operaciones:

- a) *Despulpado*. El café al llegar al lugar de preparación, se deposita en un tanque lleno de agua, el cual tiene al principio una tubería de la que sale el agua usada para despulpar, que afloja y arrastra la pulpa del grano. Por lo general, estas máquinas son de hierro colado y movidas a mano.
- b) *Lavado*. Los Granos de café salen de la despulpadora y pasan a otro tanque de agua donde permanecen 24 h para librarlos de una sustancia dulce, mucilaginosa de color claro que se halla entre la piel y la cáscara de los granos. Para este fin se agitan con una pala de madera poco antes de sacarlos del tanque.
- c) *Clasificación*. Los granos perfectos poseen una gravedad específica mayor que la del agua, por lo tanto se hunden; aquellos que flotan son de baja calidad, llamados café de desecho, o café de bajo

grado. Para facilitar la separación de los granos perfectos de los imperfectos se divide una parte del tanque principal, formando un segundo tanque más pequeño, más bajo que el primero y así los granos imperfectos pueden ser acarreados, en forma sencilla por medio del agua o con la mano.

- d) *Exposición al sol.* Cuando los granos están despulpados y lavados se sacan cuidadosamente y esto se efectúa bajo la acción del sol, lo cual hace al proceso sumamente lento y costoso. Se construye un patio pavimentado, donde el café se expone al sol. Cada día, el café debe levantarse a la puesta del sol o antes si hay amenaza de lluvia, no puede estar expuesto a la lluvia o al rocío. El café se debe mover en forma constante, mientras está en el secadero, para que el sol actúe en todo el grano.
- e) *Descascarado.* Después de despulpar, lavar y secar el café; todavía queda una cáscara dura que debe quitarse antes de enviar el café al mercado. La humedad y el calor alternados a los que se expone la cáscara durante el proceso de lavado y secado, causan la expansión y contracción de la misma, con el resultado de aflojarla del grano; en algunos casos se rompe, facilitando su desprendimiento. Se usan varios instrumentos para esta operación; la que ha dado mejores resultados es la *retrilla*. Consiste en una o dos ruedas sólidas de madera pesada, de 140 cm de diámetro y 20.3 cm a 22.9 cm de grueso, colocadas verticalmente. Se pone el café dentro de la caja para que la rueda, con su peso y movimiento, remueva la capa coriácea del grano sin quebrarlo y afloja otra cobertura inferior, delgada, que asemeja a la capa de la cebolla. Una pala se combina con la rueda para mover el café.
- f) *Entintado.* El color azulado del café es altamente estimado en los mercados extranjeros, se aplica artificialmente en diversos lugares cubriendo la superficie de las ruedas que desvainan el café con plachas de plomo que dan el color deseado. Si las demandas del comercio hacen indispensables este color, debe emplearse alguna otra sustancia libre de las objeciones higiénicas del plomo.
- g) *Separación por aire.* Los granos de café quedan en la *retrilla* mezclados con las cascarillas; para separarlos, se utiliza un ventilador que ejecuta esta operación rápida y eficazmente.
- h) *Clasificación.* Una vez limpio el grano, debe clasificarse. Los granos difieren en forma, tamaño y color; unos están enteros, otros quebrados. Como los precios tienen diferencias sensibles en las dis-

tintas clases, el café debe seleccionarse para alcanzar mayor valor en el mercado. Esta operación se ejecuta, por lo regular, a mano; sin embargo, en algunos lugares usan máquinas separadoras que constan de varios cilindros con agujeros de diversas medidas por donde pasan las diferentes clases de café, similares a los usados en los molinos de harina. Aún cuando se emplean máquinas separadoras, es de todas maneras necesario, seleccionar en forma manual, el café por colores o haciendo uso de una celda fotoeléctrica. En las plantaciones donde el clasificado se realiza con el mayor esmero, se separan cinco clases de granos

1. *Pea berry*, considerado el mejor.
2. Primera clase; son los granos más grandes, todos de la misma medida y color.
3. Segunda clase; los de tamaño medio.
4. Tercera clase; los más pequeños.
5. Café de desecho; son granos quebrados, de mal color, los que flotaron en el agua y todos aquellos que no pueden ser incluidos en las clases anteriores.

Ejecutadas todas estas operaciones, el café está listo para el mercado (INMECAFE, 1978).

Técnica de análisis foliar

La historia de la investigación sobre los métodos para la diagnosis de las necesidades de fertilizantes de las plantas ha sido reseñada en detalle por Goodall y Gregory (1947). Estos investigadores dan cuenta de las principales vías que han seguido para el estudio en la técnica del análisis foliar, y son las siguientes:

- a) *Experimentos de campo*. El trabajo más antiguo fué el realizado por Lawes y Gilbert en 1895, quienes emplearon el método de los ensayos de campo para determinar la respuesta de los cultivos a los fertilizantes.
- b) *Experimentos en macetas*. Mitscherlich en 1925, citado por Lott et al (1954), utiliza una técnica de experimentación en macetas en invernadero para estudiar las necesidades que tenían las plantas de fertilizantes, en determinados suelos; y de los resultados obtenidos se hacían correlaciones con los resultados de campo.
- c) *Análisis químico de muestras de suelo*. Se utilizaron diferentes métodos para determinar los elementos nutritivos de la planta contenidos en el suelo mediante el análisis químico de muestras de éste. Estas pruebas aunque útiles para formular recomendaciones sobre

fertilizantes, están sujetos a claras limitaciones.

d) *Síntomas de deficiencia.* Cuando un elemento nutritivo dado se encuentra en cantidad muy pequeña en el suelo, las plantas que en él crecen pueden mostrar una coloración característica de las hojas y las ramas y presentar un retardo en su crecimiento (Kitchen, 1948). Un observador experimentado puede a menudo diagnosticar a primera vista y con bastante exactitud las deficiencias reveladas por tales síntomas. Pero los síntomas de algunos desordenes son tan similares entre sí que se hace preciso a veces utilizar métodos confirmatorios. Otro inconveniente es que, en ciertos grados moderados de deficiencia que se traduce en una producción más baja, no se ponen de manifiesto a veces los síntomas característicos de las hojas.

e) *Tratamiento de las hojas.* En algunos casos, los síntomas foliares de deficiencias pueden reducirse mediante la aplicación a las hojas anormales de soluciones con elementos nutritivos apropiados. Si la selección de las soluciones utilizadas por el investigador incluye el elemento en que la planta es deficiente, podrá llegarse a un diagnóstico seguro al observar que las hojas tratadas adquieren un color verde normal al cabo de unos cuantos días o semanas. Ello constituye una prueba evidente para una diagnosis correcta, pero el método no es infalible ya que no siempre se obtienen respuestas positivas. Algunas especies son menos sensibles que otras.

f) *Análisis de la planta.* El análisis químico de la planta entera fué realizado primeramente por Von Liebig (1840); para demostrar que el enriquecimiento de las plantas en minerales estaba relacionado con la aplicación de fertilizantes. La idea de utilizar el análisis de la planta como índice de los nutrimentos disponibles en el suelo fué expuesta por primera vez en 1862, por Weinhold. Desde aquella época se han hecho grandes esfuerzos para probar que ciertas partes de la planta suministran índices más sensibles que otras. Muchos experimentos tuvieron por objeto establecer concentraciones

uniformes para los casos de deficiencia o de suministro óptimo o excesivo. Pero tales concentraciones uniformes están influidas por una serie de factores tales como la especie vegetal, el clima, la fase de crecimiento.

La técnica del análisis foliar para el café también ha despertado interés en países cafeticultores, Drosdoff, ha contribuido a implantar nuevos métodos y Urhan (1952) publicó los resultados preliminares. Análogamente en Costa Rica, Müller (1956) estudiaba los niveles de los elementos esenciales presentes en las hojas deficientes y normales del cafeto, con miras a mejorar los métodos de fertilización.

En estos y otros países donde se aplican técnicas modernas, cabe esperar que los rendimientos y la eficiencia de la producción mejoren rápidamente (Loot et al 1954).

3.1 TEORÍA DE ANÁLISIS DE PLANTAS

El método de análisis de tejidos vegetales se basa en el hecho de que existen elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo normal de la planta y que tales elementos deben estar presentes en sus tejidos en concentraciones adecuadas. Hay pruebas experimentales de que al menos 16 elementos son necesarios para el crecimiento de las plantas superiores. Estos elementos se han clasificado como macronutrientes o elementos mayores y micronutrientes o elementos menores. Esta clasificación se basa en las cantidades relativas en que se les encuentra normalmente en las plantas y no se refiere a su importancia. Los macronutrientes son carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio. Los micronutrientes son hierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno, boro y cloro. Aunque las plantas superiores contienen también sodio, yodo, cobalto, silicio y aluminio, no ha sido probado que estos elementos sean esenciales para ellas.

La composición química de las plantas varía, dentro de ciertos límites, de acuerdo con la cantidad de nutrimentos de que dispone. La concentración de cada elemento esencial depende de la capacidad de la planta para absorberlo del suelo o medio de cultivo en que crece. Existe una correlación según la cual, la concentración del elemento en la planta aumenta a medida que la disponibilidad de aquél en el medio de cultivo, se eleva también.

No se conoce exactamente la concentración en que debe existir un elemento esencial dentro de la planta para lograr su crecimiento y desarrollo normal; esta concentración depende de su función en los procesos químicos y físicos de la planta.

En 1963, Macy citado por Espinosa (1961) expuso la teoría de que existe una concentración crítica o *porcentaje crítico* para cada nutriente en una planta dada, y que concentraciones más altas indican un consumo superfluo del elemento, mientras que menores concentraciones causan una disminución del crecimiento y producción de la planta. Macy relacionó la concentración de nutrimentos con la producción de la planta por medio de una curva dividida en tres zonas; una zona de *porcentaje mínimo* en la cual la concentración del nutriente permanece constante, mientras que la producción aumenta; una zona de *adaptación o ajuste*, en la cual la concentración del nutriente y la producción aumentan simultáneamente; una zona de *consumo superfluo*, en que la concentración aumenta, pero la producción permanece constante. El *porcentaje crítico* es el límite entre estas dos últimas zonas. El *porcentaje crítico*, de acuerdo con Macy es una concentración ideal del elemento sujeta sólo a ligeras variaciones que dependerían de los otros factores del crecimiento de la planta, pero siendo esencialmente un valor fijo y característico de una planta es una etapa dada de su desarrollo, véase figura 4.3.

Goodall y Gregory, 1974 citados por Espinosa (1961) hacen observar que el crecimiento de la planta depende de dos factores:

Factores externos tales como la luz, la temperatura y el suministro de agua y nutrimentos y *factores intrínsecos* de la planta, principalmente genéticos. En relación al nivel de intensidad de estos factores, creen que hay un nivel óptimo para cada uno de ellos, y que el crecimiento aumenta si el nivel se eleva al óptimo y disminuye si la intensidad aumenta sobre este nivel. Por otra parte, este nivel óptimo depende de todos los factores simultáneamente. Agregan que, teóricamente habría un punto de equilibrio en que las intensidades de estos factores son tales que cualquier alteración en sus niveles no producirían un mayor desarrollo y producción de la planta. Así se introduce el concepto del elemento limitante, ya que cuando todos los factores, incluyendo los nutrimentos a excepción de uno, se mantienen en un nivel óptimo, el aumento en crecimiento y producción de la planta dependerá únicamente de la disponibilidad de este nutrimento que llega ser el elemento limitante.

Aunque al iniciarse su uso el análisis de plantas se refería a la planta entera, pronto se hizo evidente la necesidad de establecer los niveles críticos de los elementos esenciales en los tejidos de la planta que más claramente reflejaran su estado nutritivo y que pudieran proporcionar muestras adecuadas para los análisis, sin que la planta sufriera mayores perjuicios. En un gran número de especies de plantas de valor económico a los que el método se ha aplicado, la parte seleccionada ha sido la hoja, denominándose entonces el método **análisis foliar** y a veces **diagnóstico foliar**. Este ha sido el caso en el cafeto, para el cual los investigadores casi universalmente han estado acordes en utilizar el análisis de las hojas para estudiar su nutrición.

Esencialmente, el análisis foliar consiste en determinar las concentraciones de los elementos nutritivos de la hoja. Cuando se comparan estas concentraciones con valores predeterminados que corresponden a los niveles foliares óptimos, deficientes y excesivos de estos elementos, se puede establecer el estado de nutrición de la planta y, eventualmente, los fertilizantes que necesita (Espinosa 1961).

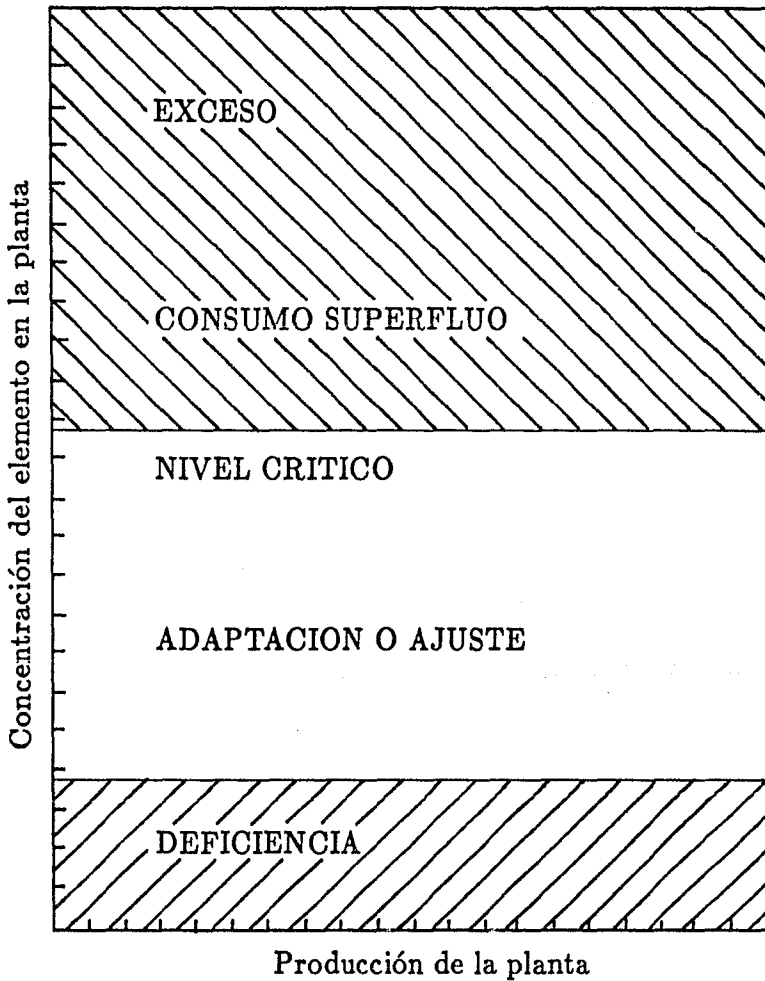


Figura 4.1 Existe *nivel crítico* para cada nutriente en una planta dada. Concentraciones más altas indican un consumo superfluo del elemento. Concentraciones más bajas causan una disminución en el crecimiento y producción de la planta, Macy (1963), citado por Espinosa (1961).

Toma de muestras foliares en cafetos para fines de diagnóstico

El estudio del estado de nutrición del cafeto mediante el conocimiento de la composición química de partes representativas ha sido inquietud de los investigadores durante las últimas décadas. El problema se complica cuando se pretende una aplicación práctica del método para fines de diagnóstico, pues es necesario conocer primero una serie de importantes interacciones, útiles para interpretar con acierto los datos de laboratorio. Es necesario conocer el tejido o parte de la planta que mejor refleja el estado actual de nutrición. En el caso particular del café, al igual que en otras plantas perennes, las hojas han constituido el material de diagnóstico por excelencia.

El criterio que se ha seguido para la selección de la parte de la planta en la que se debe efectuar el análisis químico ha sido muy diverso; la mayoría de los investigadores no han logrado su cometido mediante experimentos realizados al efecto, sino más bien por interpretación del comportamiento estacional de la concentración de los nutrientes

durante el año, en hojas de diferente edad y posición (Carvajal, 1963).

Los trabajos realizados por Lott et al, 1956 se limitaron al uso de hojas jóvenes pero completamente maduras. En la práctica estas pueden estar ubicadas en el tercero o cuarto nudo a partir de la yema apical, designado como hoja (par) número uno la de por lo menos 1.25 cm de longitud.

Las investigaciones de Lains e Silva y Lains e Silva, citados por Carvajal, 1963, ponen de manifiesto que la composición química de las hojas del cafeto varía según la exposición, la altura a la que se tome la muestra, la presencia o ausencia de fruto y la posición de la hoja en la rama lateral. Apuntan asimismo la existencia de diferencias significativas entre variedades. Concluyeron que para el análisis de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio en las variedades Arábica, Nacional, Bourbon, Mundo novo y Caturra, las muestras deben tomarse de hojas del tercer nudo orientadas de norte a sur, ramas con o sin fruto pero sin mezclarlas. Recomiendan tomar las muestras entre 14 y 16 h cuando el fin que se persigue es estudiar la concentración de un sólo elemento; los citados investigadores recomiendan tomar, cuando se trata de las variedades citadas, para nitrógeno, terceros pares, de ramas sin fruto orientadas de norte a sur; para fósforo y potasio los pares segundos o terceros de cualquier posición de ramas sin cosecha. Para magnesio, en las variedades Bourbon, Mundo novo y Caturra, los pares primero, segundo y tercero, de ramas con frutos y orientadas en cualquier sentido; para calcio los pares primeros, segundos o terceros de ramas de iguales características. Concluyeron que en todos los casos citados las muestras deben tomarse entre 0.75 y 1.50 m de altura.

Las investigaciones realizadas en Costa Rica por Chaverri et al, 1957, citado por Carvajal, 1963, los condujeron a postular el cuarto par como la parte de la planta más aconsejable para el análisis químico con fines de diagnóstico, de los elementos nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio, boro, manganeso y con cierta reserva para el potasio. La

investigación consistió en estudiar la variación estacional de los elementos durante el ciclo completo de un año, mediante análisis químico cuantitativo mensual de 16 pares de hojas de ramas laterales. La conclusión del grupo de Chaverri con respecto a la bondad del cuarto par, se fundó en el hecho de que los tejidos viejos, partiendo del cuarto nudo, exhiben menor variación durante el año, encontró que la concentración de los elementos se estabiliza en una zona que puede delimitarse partiendo del extremo apical de la rama lateral, entre el cuarto y el séptimo par; que para fines de diagnóstico pueden usarse convencionalmente las hojas del cuarto nudo para los elementos citados, si bien los pares quinto y sexto son posiblemente más indicados, veáse fig 3.1.

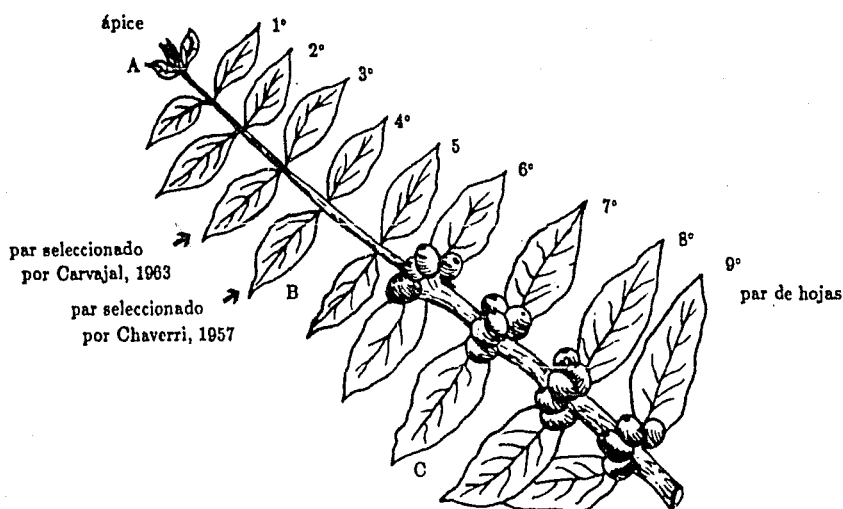


Figura 3.1 Representación esquemática de los pares de hojas más adecuados para el análisis químico. *a)* Yema terminal; *b)* Muestra de hojas maduras; *c)* recientes en una rama fructífera; Muestra de hojas de la zona suberificada de una rama; fructífera (este procedimiento es seguido en el Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café). También se muestran los pares de hojas seleccionados por Chaverri, 1975 y por Carvajal en 1963 como los más adecuados para el análisis foliar.

Müller (1959) sugiere usar dos muestras: una compuesta por hojas jóvenes (del tercero o cuarto nudo) y otra por hojas viejas (procedentes de la región central del crecimiento de año anterior). Consiste en lo que él ha llamado un método de *análisis diferencial* y que, según asevera, proporciona el mejor índice durante el período de producción del árbol. El concepto se basa en el conocimiento de la magnitud de la diferencia entre el contenido de nutrientes de las hojas más jóvenes y las viejas.

Tal diferencia constituye un *gradiente* cuya magnitud indicaría el estado de nutrición de la planta; *gradiente moderado*, concluye Müller, indicaría que el árbol está bien suplido de nutrientes.

En lo relativo a desequilibrios nutricionales, provocados específicamente para el estudio de las diferentes deficiencias minerales del café, el análisis químico de las hojas efectuadas ha corroborado satisfactoriamente el síntoma visual de la deficiencia (Carvajal 1960, Cibes 1955, Chaverri 1959, Franco, et al 1949, citados por Carvajal 1963).

4.1 TAMAÑO DE LA MUESTRA

La mayoría de los investigadores que han trabajado en el análisis foliar en café han empleado un criterio liberal en cuanto al número de hojas que se debe tomar como representativo de la parcela experimental.

Lott, A., et al (1956) propone que si cada parcela consta de un número razonable de plantas, es posible tomar solamente cuatro por arbusto. En el Brasil la práctica común es tomar cuatro hojas por planta, de la parte central y de diferentes costados; la parcela efectiva varía entre 6 a 25 arbustos.

Carvajal y López, citados por Carvajal (1963), trabajaron con muestras de ocho hojas por planta (cuatro procedentes de la mitad inferior y cuatro de la superior, en muestras separadas), tomadas de pares opuestos. Lains e Silva y Lains e Silva citados por Carvajal (1963) concluyeron de sus estudios preliminares que deben tomarse 24 hojas por árbol (en pares) en parcelas de nueve plantas, advirtiendo la existencia de diferencias significativas intervarietales en el contenido de calcio y magnesio. Müller (1959) presenta en su trabajo datos de análisis químico provenientes de muestras no menores de 12 hojas cada una.

Jiménez (1975) dice que por cada área no mayor de manzanas de

cafetal bajo estudio, se deben coletar de 20 a 26 hojas por cada par representativo, el número de pares de hojas por arbusto debe ser de 3 pares, provenientes de las matas representativas.

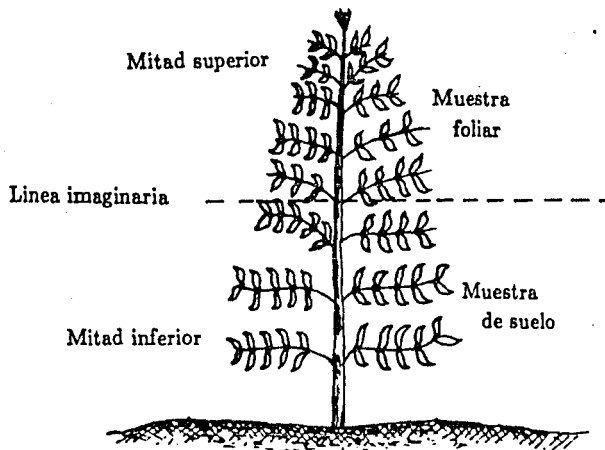


Figura 3.2 Muestreo foliar en dos estratos de la copa arbustiva de *Coffea arabica*.

4.2 ÉPOCA PARA TOMAR LAS MUESTRAS

La época para tomar las muestras varía, como es lógico, en las investigaciones tendientes a estudiar la variación estacional de los nutrientes la recolección de muestras se ha hecho a intervalos de 30 días (5, 6, 8, 12, 23), habiendo sido adoptado el mismo criterio en la evaluación de algunos experimentos con fertilizantes (Cooil 1954, citado por Carvajal 1963).

Urhan (1952) fundamenta sus conclusiones partiendo de los resultados obtenidos tomando muestras cuatro veces: en la mitad del gran período de crecimiento (mayo), cuando el crecimiento disminuye y empieza la floración, cuando los frutos empiezan a desarrollar (junio), durante la maduración (octubre) y después de la cosecha (enero). Estas épocas en realidad coinciden con estados fisiológicos diferentes

durante el ciclo vegetativo anual de la planta. Por otra parte Machado (1956) indica que la toma de muestras debe hacerse un mes antes y un mes después de la floración principal. Tomando en cuenta los estudios realizados, el mes que mostró la mejor correlación significativa fue el más cercano al período de la floración principal.

4.3 APLICACIÓN DEL ANÁLISIS FOLIAR EN LA NUTRICIÓN DEL CAFETO

Respecto a la aplicación del análisis foliar al estudio de la nutrición del café, Loué (1955) dice textualmente: "El diagnóstico foliar resulta un método de elección para el estudio de la nutrición mineral del café, porque es notable constatar que después de cuatro años de estudio según estos principios se han llegado a obtener (en la Costa de Marfil) datos básicos sobre la nutrición mineral del café, muy parecidos a los que resultan de numerosos años de observaciones agronómicas hechas en otras partes".

4.4 IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS FOLIAR APLICADO AL CAFETO

Aún cuando el análisis de suelo constituye una buena guía para fertilizar el café, a la luz del conocimiento de hoy y desde el punto de vista de su importancia en la predicción de la nutrición de la planta, su uso se limita a cierta época. Vale decir, que su uso está restringido al reconocimiento inicial de la fertilidad del suelo y a la identificación de los cambios químicos que sufre la banda de fertilización como consecuencia de la fertilización periódica. El análisis es fundamental para poder relacionar la carencia de nutrientes y rendimientos en los cafetales.

4.5 OBJETIVOS DEL ANÁLISIS FOLIAR EN EL CAFETO

Los objetivos más importantes que se cumplen con el uso del análisis foliar en el cultivo comercial del café, según Carvajal (1979) son:

- a) Diagnóstico de deficiencias minerales.

- b) Guía para una fertilización económica en relación con el análisis químico del suelo.
- c) Definición de antagonismos nutricionales o desequilibrios provocados por la fertilización liberal o intensiva.
- d) Comprobación de alteraciones en el metabolismo del nitrógeno.
- e) Estudio de la respuesta a los fertilizantes respecto a calidad y cantidad.
- f) Comprobación de la eficacia del método de aplicación de los fertilizantes.
- g) Establecer correlaciones entre producción de cosecha y el estado de nutrición de la planta.

Fuentes de macro- nutrimentos en el suelo

El análisis químico elemental del suelo es uno de los criterios más importantes que se han utilizado para clasificarlos, para interpretar su formación y para su fertilidad tanto potencial como actual.

Es importante conocer la composición química elemental de la roca madre, ya que ésta composición ha cambiado paulatinamente. Se produce un enriquecimiento de C y N, la disolución de sales, con la pérdida por lixiviación de los elementos que la constituyen y una diferenciación de minerales estables, especialmente minerales de arcilla (caolinita y de óxidos de Fe y Al) que llevan a los suelos a un aumento de su contenido en SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 . En algunos casos se tienen sin embargo, una remoción específica de uno de los elementos (Fassbender 1978).

Lo que más interesa de los minerales que forman el suelo es su composición y alteración. Tamhane, et al (1978) cita que la intemperización es un proceso natural inevitable de agotamiento y transformación de las rocas y minerales en residuos no consolidados regolita, que quedan sobre la superficie de la tierra a profundidad variable, por

medio de este proceso quedan en libertad los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas, los macronutrientes.

La materia orgánica es también una fuente de nutrientes para las plantas y los agentes biológicos son los encargados de destruir, descomponer y sintetizar (mineralizar y humificar respectivamente) dichos materiales dando origen a diferentes tipos de compuestos; recientemente se ha comprobado la influencia de enzimas en estos procesos, hecho relacionado también con la fertilidad del medio. Un aumento de enzimas por ejemplo fosfatasa, aumentará la posibilidad del medio de presentar fósforo aprovechable en cantidades adecuadas (Malagón 1979, Tamhane, et al 1978), véase la figura 4.2.

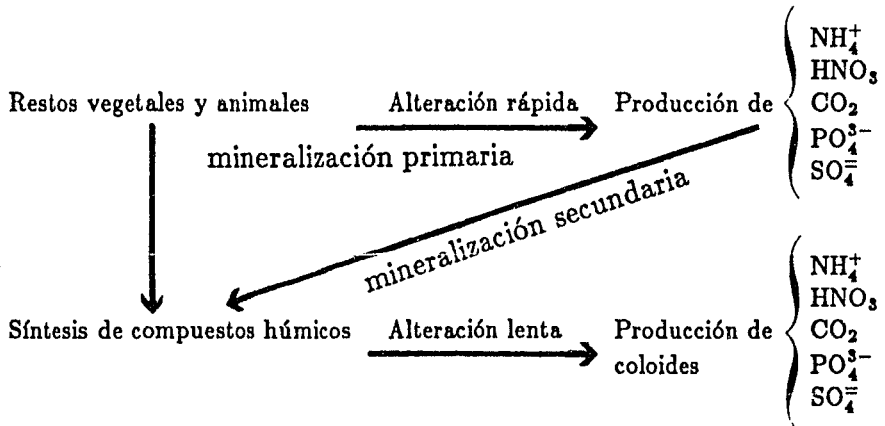


Figura 4.2 Procesos de mineralización y humificación de la materia orgánica, Duchaufour (1985).

La alteración de la materia orgánica determina la producción de NH_4^+ (amonificación) en una primera etapa y, dependiendo del medio, su conversión a formas de nitratos.

En la figura 4.2 debe entenderse que la mineralización consiste en una liberación de moléculas minerales o iones (NH_4^+ , NO_3^- , PO_4^{3-}), mientras que la humificación hace especial referencia a la conformación de nuevos productos orgánicos coloidales a partir de la síntesis

microbiana.

5.1 MINERALES COMUNES QUE CONTIENEN LOS MACRONUTRIMENTOS

En el cuadro 4.1 se pueden observar algunos minerales que contienen los principales elementos importantes en la nutrición de las plantas.

Cuadro 4.1 Minerales formadores de rocas y su importancia como fuente de elementos en suelos.*

<i>Estabilidad</i>	<i>Nombre del mineral</i>	<i>Constituyentes</i>	
		<i>Mayores</i>	<i>Menores</i>
Fácilmente intemperizables ↓ Difícilmente intemperizables	Olivino	Si, Mg, Fe	Mn, Zn, Cu, Mo, Ni, Co
	Granate	Si, Ca, Mg, Fe, Al	Mn
	Augita	Si, Mg, Fe, Al, Ca	Mn, Zn, Cu, Ni, Co, V
	Hornblenda	Si, Mg, Fe, Al, Ca	Mn, Zn, Cu, Ni, Co, V
	Biotita	Si, Mg, Fe, Al, K	Mn, Zn, Cu, Ni, Co, V
	Apatita	Ca, P, F	(F), (Cl)
	Anortita	Si, Ca, Al	Cu, Mn
	Andesina	Si, Ca, Na, Al	Cu, Mn
	Oligoclasa	Si, Na, Ca, Al	Cu
	Albita	Si, Na, Al	Cu
	Ortoclasa	Si, K, Al	Cu
	Titanita	Si, Ca, Ti	V
	Ilmenita	Fe, Ti	Co, Ni, V
	Magnetita	Fe	Zn, Co, Ni, V
	Turmalina	Si, Ca, Mg, Fe, Ba, Al	(Ba)
Circón	Si, Zr	—	
Cuarzo	Si	—	

* Corey (1965), citado por Malagón (1979).

La cantidad aprovechable de fósforo del suelo está influida por muchos factores (pH, materia orgánica, aluminio intercambiable, textura, etc.), los suelos derivados de rocas ígneas y en especial básicas (basaltos), tienen un promedio de dos a tres veces más que la roca sedimentaria las que, con excepción de las calizas presentan contenidos

Fósforo

El contenido total de P es relativamente bajo. En los suelos minerales de áreas templadas, el contenido de P total varía entre 0.02 y 0.08% (200 a 800 ppm) y el promedio gira alrededor de 0.05% (500 ppm).

Los suelos derivados de cenizas volcánicas presentan un mayor contenido de P que los desarrollados de sedimentos meteorizados y redepósitos en las áreas bajas tropicales.

Se encontró que el contenido total también depende de la textura de los suelos, tanto en áreas de clima templado tropical, ya que cuando más fina es su textura, mayor es el contenido de P total.

De manera general el contenido común de P total disminuye con la profundidad del suelo, lo que es explicable por la disminución de la materia orgánica y de los fosfatos orgánicos.

La participación del P orgánico en el P total varía generalmente entre 25 y 75%. En casos extremos puede alcanzar del 3 al 85%.

De acuerdo con la estructura química existen 5 tipos principales de compuestos fosfatados en la materia orgánica: 1) fosfolípidos; 2) ácidos nucleicos; 3) fosfatos metabólicos; 4) fosfoproteínas; y 5) fosfatos del ácido inositolhexafosfórico o inositol.

Entre los factores inorgánicos se diferencian formas químicamente bien definidas y cristalizadas, no bien cristalizadas o amorfas, fosfatos adsorbidos y presentes en la solución del suelo. Entre los fosfatos cristalinos se consideran a los cálcicos, los aluminicos y a los férricos.

Potasio

El contenido de K varía en los suelos generalmente entre 0.04 y 3.0%. En casos excepcionales como en suelos alcalinos, el contenido de K puede llegar hasta 8%. El K que se presenta en los suelos asociados a los silicatos, o sea, el K estructural representa la mayor parte de K en el suelo; en cambio este K, no es disponible directamente para las

plantas pero participa en los procesos del suelo.

En los suelos tropicales, el contenido de K es muy variable; Moss y Coulter citados por Fassbender (1978) encontraron que para suelos lateríticos y para suelos jóvenes derivados de cenizas volcánicas, los valores de K total variaron de 0.11 a 1.90%.

La distribución del contenido de potasio de los suelos a escala mundial sigue un esquema geomorfológico relacionado a la presencia y a la meteorización de los feldespatos y micas en los minerales parentales.

En los suelos minerales, la mayor cantidad de K se encuentra asociada a silicatos, en los feldespatos (ortoclasa: $KAlSi_3O_8$), en las micas (muscovita: $K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$; biotita: $K(Mg,Fe)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$ etc.) y en los minerales arcillosos (illita, vermiculita etc.). La ortoclasa contiene entre el 7 y el 12%, las muscovitas entre el 7 y 9%, la biotita entre el 5 y 7%. Los minerales arcillosos, especialmente los trilaminares presentan K adsorbido en la superficie; la illita muestra una selectividad específica en la adsorción y fijación de K resultando en un alto contenido de este elemento.

El K intercambiable se encuentra adsorbido al complejo coloidal del suelo (arcillas, materia orgánica).

Calcio

Los suelos no calcáreos contienen por lo general entre 0.15 y 1.5% de Ca y en promedio tienen alrededor del 1% de este elemento. Los suelos contienen menos calcio que la roca parental, lo que indica que el Ca es generalmente lavado del suelo y en consecuencia se le encuentra acumulado en forma de carbonato de calcio y sulfato de calcio en horizontes más profundos, a veces en capas endurecidas en los suelos y de manera especial, en regiones húmedas. Suelos derivados de calizas presentan mayores contenidos de Ca.

La mayor cantidad de Ca nativo en el suelo se encuentra asociado a

feldespatos (anortita: $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$); plagioclasas, piroxenos, anfíboles, micas (biotita: $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) y minerales arcillosos. La plagioclasa básica contiene entre 7 y 14% de Ca, los piroxenos como augita e hipersteno contienen entre 7 y 18% de Ca. La ortoclasa, la biotita llegan a contener 1.5% de Ca, los minerales arcillosos contienen cantidades menores del 2% de Ca.

Además los suelos contienen otros minerales cálcicos. Carbonatos de calcio y/o magnesio nativos suelen encontrarse en suelos jóvenes derivados de calizas. Sulfato de calcio (anhidrita: CaSO_4 y yeso: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) se acumulan con frecuencia en zonas áridas y semiáridas. Los fosfatos de calcio (apatitas contribuyen ligeramente en el contenido de Ca del suelo).

El Ca predomina generalmente entre las bases cambiables en la cubierta iónica del complejo coloidal del suelo. El contenido en Ca cambiante depende del material parental y del grado de evolución de los suelos. A través de la meteorización y del lavado del calcio este elemento disminuye bastante en los suelos (Fassbender 1978).

Magnesio

El contenido en Mg total de los suelos no calcáreos varía entre 0.1 y 1.0%. El Mg nativo se encuentra asociado a determinados minerales primarios o secundarios. De manera especial el olivino, la biotita, los piroxenos y los anfíboles muestran contenidos altos en magnesio, el que además se presenta en la montmorillonita y especialmente en la vermiculita reemplazando isomórficamente al Si así mismo en los suelos calcáreos se encuentra Mg nativo en forma de dolomita, magnesita, aumentando su contenido de MgO total hasta 2 y 3%.

El Mg también se encuentra adsorbido al complejo de intercambio catiónico del suelo. Las cantidades y la proporción con respecto a otros elementos es variable entre los suelos. Como se indicó antes, suelos desarrollados sobre sedimentos pobres en bases o altamente meteorizados presentan contenidos menores de Mg (Fassbender 1978).

5.3 CAUSAS DE DEFICIENCIAS DE NUTRIMENTOS EN EL SUELO

La deficiencia o la carencia de elementos en el suelo puede ser debido a las siguientes causas, Flores (1975).

- a) Por deficiencias en el suelo.
- b) Por retención o fijación en el suelo.
- c) El elemento puede estar formando compuestos insolubles no asimilables para la planta.
- d) El exceso de un elemento en el suelo puede reducir la asimilación del otro.
- e) Con los adelantos en la tecnología del cultivo del café, se ha logrado un mayor aumento en la producción lo que ha ocasionado una mayor extracción de los elementos por la planta.
- f) Condiciones climáticas.

5.4 FUNCIÓN, MOVILIDAD Y ANTAGONISMO DE LOS MACRONUTRIMENTOS EN EL ARBUSTO DE CAFÉ

Cuadro 4.2 Principales elementos en la nutrición de *Coffea arabica*

<i>Elemento</i>	<i>Función</i>	<i>Movilidad</i>	<i>Antagonismo</i>
Nitrógeno	Interviene el metabolismo del cafeto, en el desarrollo vegetativo y para la capacidad de producción	Móvil	
Fósforo	Interviene en la inducción floral y floración y durante las primeras etapas de crecimiento y en la formación de fruto	Muy móvil	Un exceso de nitrógeno crea una deficiencia de fósforo
Potasio	Importante en hojas y puntos de crecimiento, principalmente en plantas jóvenes. Se requiere para el desarrollo de la cereza, se exige un requerimiento máximo en las etapas de desarrollo y madurez	Extremadamente móvil	Con una concentración alta de potasio hay una deficiencia de magnesio
Calcio	Esencial para el buen desarrollo de la raíz. Implicado en el transporte de carbohidratos a través de la planta	Inmóvil	La adición de calcio estimula la disponibilidad de potasio y la absorción de fósforo
Magnesio	Indispensable en la formación de clorofila de las hojas, responsable de la síntesis de carbohidratos.	Móvil	Una deficiencia de magnesio crea una deficiente absorción de fosfato. Una alta concentración de potasio crea deficiencia de magnesio.

5.4 DEFICIENCIAS DE MACRONUTRIMENTOS EN CAFÉ

Al igual que cualquier otra planta, el cafeto necesita para su desarrollo normal de elementos esenciales, en cantidad suficiente y en una combinación bien balanceada. Si la cantidad de uno de estos elementos es relativamente baja en el medio en el cual crece, se afectan su vigor, su desarrollo y especialmente su productividad, como consecuencia de una deficiencia mineral Müller (1959).

A pesar de la variabilidad en cuanto a las características químicas que se observan en los suelos en donde se cultiva el cafeto, puede decirse que en general los elementos esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio son los que afectan más significativamente el cumplimiento óptimo de los períodos, vegetativo y reproductor de esta Rubiácea.

Deficiencia de nitrógeno

La falta de nitrógeno ocurre principalmente en los períodos de crecimiento intenso, cuando las hojas pierden en forma progresiva el color verde oscuro, se hacen amarillentas y caén prematuramente. Cuando la deficiencia es muy severa, viene la caída de las hojas y se secan las extremidades. Los investigadores han demostrado que, cuando ocurre la muerte de una rama, muere también una parte del sistema radicular y el cafeto así afectado deja de producir normalmente. Los síntomas de deficiencia de nitrógeno se observan primero en las hojas más viejas, en forma de manchas amarillas distribuidas irregularmente por el limbo foliar, finalmente esas manchas adquieren un color violáceo fácilmente reconocible Casale (1975).

Deficiencia de fósforo

Los primeros síntomas de esta deficiencia son una reducción de la

cosecha. En las hojas más viejas aparecen unas manchas amarillentas irregulares esparcidas en la lámina, las cuales producen un aspecto moteado. Estas áreas cloróticas casi siempre muestran un color rojizo o violáceo. Si la deficiencia es muy marcada las manchas se unen y toda la hoja se torna clorótica cayendo luego. En muchas especies de plantas de coloración rojiza es muy típica como síntoma de la deficiencia de fósforo.

Cuando la cosecha es abundante y la cantidad de fósforo en el suelo se vuelve insuficiente; la clorosis no se hace muy marcada sino que las hojas viejas caen rápidamente. Cuando hay escasez de fósforo en las hojas adultas, éstas se vuelven más susceptibles al ataque de hongos tal como sucede en el caso de otras deficiencias Müller (1959).

Junto con la necrosis y la defoliación hay un crecimiento general reducido del cafeto. Debido a la defoliación interna la planta queda con poco follaje, la floración se reduce, lo mismo que la cosecha.

Deficiencia de calcio

La deficiencia de calcio limita el desarrollo del sistema radicular y vuelve al cafeto más sensible a los efectos de la sequía. Provoca también la muerte de ramas y en las hojas aparece un tono amarillento que empieza en las orillas y sigue hacia el centro de la hoja, y, de forma irregular surgen manchas verdes en la mitad del área amarilla Casale (1975).

En las hojas con deficiencias de calcio se vuelven flácidas debido a que las nervaduras no pueden seguir el crecimiento igual que toda la lámina de la hoja Flores (1975).

La falta de calcio provoca la muerte de las yemas terminales, y a veces los puntos necróticos en las hojas tiernas. Estos puntos y el tejido debilitado se presentan como focos de una infección micótica Müller (1959).

Deficiencia de magnesio

La época en que aparecen los síntomas de deficiencia de magnesio varía dependiendo de la altura sobre el nivel del mar a que se encuentren las plantaciones. El magnesio se transloca con mucha facilidad de las hojas maduras a las más jóvenes y al fruto, cuando las reservas de las plantas son deficientes, los síntomas de carencias aparecen en las hojas adyacentes a los frutos en proceso de maduración. Esto indica que en las regiones de menor altura los síntomas aparecen antes que en las regiones más altas, donde el proceso de maduración del grano es más lento Flores (1975).

El síntoma foliar es muy reconocible principalmente cuando se observan las hojas más viejas, donde ocurre un tono amarillento entre las nervaduras, quienes se quedan con la tonalidad normal. El área clorótica es de un color verde claro o con más frecuencia ocre amarillo, y pierde su brillo a causa del colapso de la epidermis superior, síntoma característico y particular de la deficiencia de magnesio Müller (1959).

5.5 CONTENIDO DE NUTRIMENTOS EN EL 3º Y 4º PAR DE HOJAS

Generalmente se distinguen cuatro concentraciones o niveles de nutrientes en las hojas. El nivel *normal* representa la concentración promedio y es suficiente para producir una cosecha abundante. Si la concentración de un elemento es mayor, existe un exceso o *consumo de lujo*. Si el contenido es menor que el nivel normal es probable que se afecten el crecimiento y especialmente la productividad, el elemento es *deficiente*. Cuando existe una deficiencia severa la concentración del nutriente baja más allá del nivel *crítico* y aparecen síntomas visuales de la nutrición defectuosa (clorosis, crecimiento raquítrico, etc.)

El contenido normal sirve como base para la comparación en el diagnóstico foliar. Se debe considerar que este nivel es variable. El suelo, el clima, los métodos de cultivo y una cosecha abundante tienen

un efecto importante sobre el contenido de nutrientes en el cafeto Müller (1959).

En la tabla 4.4 se resume el rango de variación en el contenido mineral de las hojas de *Coffea arabica* (el tercero o cuarto par de hojas de la rama apical), en Costa Rica, Brasil, Colombia y Hawai y su relación con las deficiencias observadas.

Müller (1959), recomienda analizar el cuarto par de hojas, así como las hojas más viejas tomadas de la parte productora de la rama, y, emplear la magnitud de las deficiencias entre los resultados comparativos obtenidos para hacer la valoración.

Para los elementos nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, las concentraciones disminuyen generalmente durante el envejecimiento de las hojas, véase tabla 4.3.

Cuadro 4.3 Concentración de elementos que disminuyen con el envejecimiento de las hojas y de las diferencias entre un arbusto pobremente suministrado y uno bien suministrado.*

	<i>Nitrógeno</i> %	<i>Fósforo</i> %	<i>Potasio</i> %	<i>Magnesio</i> %
A. Hojas nuevas	2.85	9.112	1.55	0.284
Hojas viejas	2.21	0.085	1.15	0.255

* Geus (1967).

Cuadro 4.4 Rango de variación en el contenido mineral (N, P, K, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ de las hojas de *Coffea arabica* (la tercera o cuarta hoja de la rama apical), en Costa Rica, Brasil, Colombia y Hawai.*

<i>Elemento</i>	<i>Costa Rica, Chaverri y y otros</i>	<i>Brasil, Medcalf 1958</i>	<i>Colombia, Machado 1954</i>	<i>Hawai, Coil,</i>
NITROGENO				
Alto	2.80%	3.40%	3.00%	2.25%
Medio	2.30-2.80%	3.00-3.40%	2.50-3.00%	2.00-3.25%
Bajo	2.00-2.30%	3.00%	2.00-2.50%	-
Deficiencia	2.00%	-	2.00%	-
FOSFORO				
Alto	¿-0.20%	¿-0.12%	¿-0.15%	
Medio	0.12-0.20%	0.105-0.12%	0.11-0.15%	0.08-0.15%
Bajo	0.09-0.12%	-0.105%	-0.11%	—
Deficiencia				
POTASIO				
Alto	-2.70%	-2.30%	-1.80%	-2.00%
Medio	1.70-2.70%	1.90-2.30%	1.50-1.80%	1.00-1.80%
Bajo	1.00-1.70%	0.80-1.90%	1.10-1.50%	-2.00%
Deficiencia	-1.00%	-0.80%	-0.80%	
CALCIO				
Alto	-1.70%	-2.00%	-1.30%	
Medio	1.10-1.70%		0.70-1.30%	0.18-1.80%
Bajo	0.80-1.10%			
Deficiencia	-0.80%	-0.50%		
MAGNESIO				
Alto	-0.35%		-0.39%	-0.80%
Medio	0.20-0.35%		-0.35%	-0.40%
Bajo	0.10-0.20%		-0.1%	
Deficiencia	-0.10%		-0.16%	

* Geus (1967).

Descripción geográfica de la zona de estudio

6.1 SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE CHIAPAS

El estado de Chiapas está situado al sureste de México, limita al oeste con Oaxaca y Veracruz, al norte con el estado de Tabasco y al sureste con Guatemala y al suroeste con el Océano Pacífico, veése mapa 1.

Los terrenos de Chiapas, geográficamente se encuentran entre las siguientes coordenadas $17^{\circ}27'25''$ y $14^{\circ}33'05''$ de latitud norte y entre $90^{\circ}12'12''$ y $94^{\circ}08'03''$ longitud oeste, al sur del Istmo de Tehuantepec (Helbig, 1967).

La extensión territorial del estado de Chiapas es de 74 211 km², veése mapa 1.

6.2 UBICACIÓN DEL MUNICIPIO EL BOSQUE, CHIAPAS

El municipio de El Bosque, Chiapas, lugar en donde se llevó a cabo el

estudio se encuentra ubicado en la provincia fisiográfica de la Sierra Norte de Chiapas. Es una continuación de la Sierra Madre Oriental y muestra rocas sedimentarias Mesozoicas y Cenozoicas. Su longitud es de 250 km y tiene una anchura de 65 km su altitud es muy variable llegando a los 2,000 msnm, en la sierra entre San Bartolo y Simojovel situado al sur, al norte emerge el volcán El Chichón cuya altura es de 1,315 msnm y se localiza al suroeste de Pichucalco, algunas veces las elevaciones de la sierra disminuyen hasta 50 msnm (Mulleried, 1958).

La extensión territorial de el Municipio es de 241 km², limita con los municipios de Jitotol, Simojovel de Allende, Bochil, Larraínzar y Chalchihuitan, véase mapa 2.

6.3 TOPOGRAFÍA

La mayor altitud reportada para el municipio se encuentra en dirección sureste, a unos 1,750 msnm. Las altitudes van disminuyendo a 1,500 msnm donde se encuentra el poblado de Guadalupe Victoria y El Bosque.

La zona de estudio se ubica a la altitud de 1,000 msnm, y abarca: Plátanos, el Río Plátanos, Ejido El Desprecio hasta el Ejido Buvi, también incluye a Nishtalucum y el Ejido Vergel, véase mapa 3.

Carece de comunicaciones salvo una carretera que pasa hacia el sur de la carretera panamericana (INEGI, 1984).

6.4 HIDROLOGÍA

El principal suministro de agua para el municipio, está dado por el Río Plátanos, que lo atravieza de norte a sur y el Río Grande ubicado al sur, debe mencionarse también que hay corrientes permanentes de agua (INEGI, 1984).

6.5 GEOLOGÍA

En el municipio se encuentran cinco unidades geológico-litológicas:

- a) *Ks(Cz)* Cretácico Superior. (Caliza). Abarca la porción Este del municipio.
- b) *Tpal (lu-ar)* Paleoceno. (Lutita-arenisca). En la región Sur.
- c) *Tpal (Cz)* Paleoceno. (Caliza). En la región Sureste.
- d) *Tpal (lu-ar)* Eoceno. (Lutita-arenisca). Que abarca la mayor parte del municipio y,
- e) *To (Cz)* Oligoceno. (Caliza). En la porción Norte y Oeste de el municipio.

Las unidades que dominan en la Finca Cucalhuitz son:

Tpal (lu-ar) Paleoceno

Esta unidad está compuesta por una secuencia de lutitas y areniscas que consta de una alternancia casi rítmica de areniscas calcáreas y lutitas; las areniscas están formadas de cuarzo, feldspatos, calcita y micas; la unidad presenta coloraciones verdosas y gris metálico y está profundamente intemperizada.

Tpal (Cz) Paleoceno

Caliza con textura arcillosa de color gris oscuro, la unidad dispone en estratos delgados a medianos; con escaso y mal conservados fósiles de gasterópodos.

La secuencia varía lateralmente a calizas y lutitas de tonos amarillentos; sobreyace a caliza del Crétacico Superior (INEGI, 1984).

Es importante mencionar la fase tectónica de deformación que se expresa en la dislocación de las unidades por fallas transcurrentes sinestrales y por fallas normales. Esta deformación está asociada con el desplazamiento hacia el Noreste de las Placas de Cocos bajo la del Caribe, esta subducción es la responsable del vulcanismo calcoalcalino del área, véase mapa 4.

6.6 CLIMA

En el municipio existen tres tipos de clima:

- a) $A(C)w''(w)(i)g$ Semicálido subhúmedo. La precipitación del mes más seco mayor de 60 mm con lluvias en verano.
- b) $Am(w'')ig$ Cálido subhúmedo. La precipitación del mes más seco es mayor de 60 mm, la temperatura media anual de 22° con lluvias intensas en verano.
- c) $Aw''_2(i)g$ Cálido subhúmedo. La precipitación del mes más seco es mayor de 60 mm con lluvias en verano.

En el área de estudio (Finca Cucalhuitz) impera un clima correspondiente a $Am(w'')ig$ (Cálido húmedo), con una temperatura media anual mayor de 22°, con lluvias intensas de verano, que compensan la sequía de invierno, la precipitación total anual de 2,352 mm, el porcentaje de lluvia invernal menor de 5. Con canícula, isothermal, oscilación entre el mes más frío y el mes más cálido, menor de 5°, véase mapa 5 (INEGI, 1984).

6.7 VEGETACIÓN

La vegetación original del área de estudio, así como grandes extensiones de Chiapas corresponde a la Selva Alta Perenifolia. Pero las

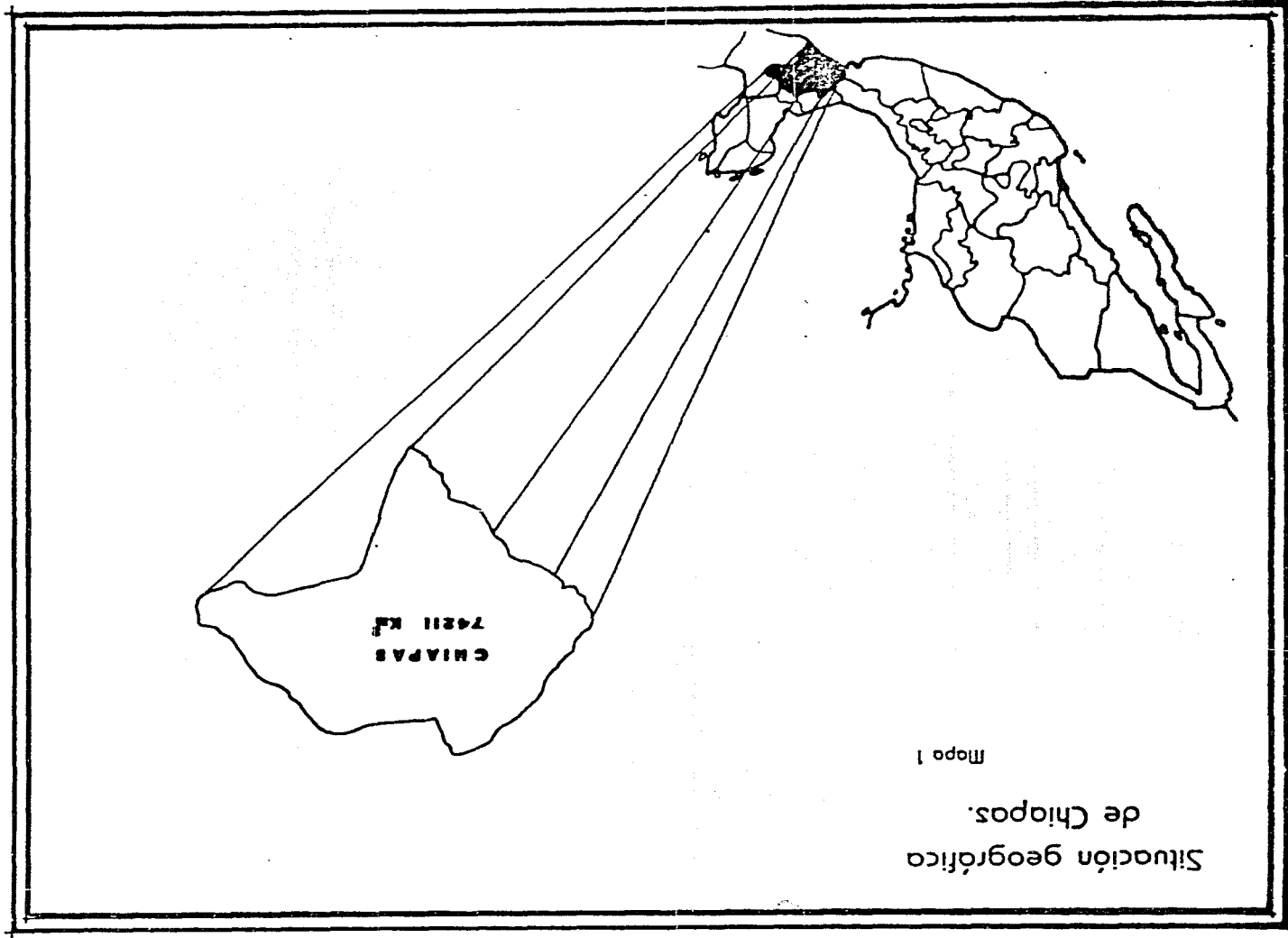
actividades del hombre la han destruido en diversas ocasiones.

En la actualidad las selvas de Chiapas se encuentran muy perturbadas ante la presión del aumento de la población y el constante establecimiento de nuevos cultivos. Un ejemplo de esto se observa en grandes áreas del Norte del Estado, donde la expansión del cultivo de café ha ido disminuyendo la extensión de las selvas.

Actualmente la vegetación predominante en el Municipio de El Bosque es de Bosque Mesófilo con vegetación secundaria arbustiva. También se encuentran zonas de pastizal cultivado como inducido y pequeñas porciones de Bosque de pino y de pino-encino, véase mapa 6 (INEGI, 1984).

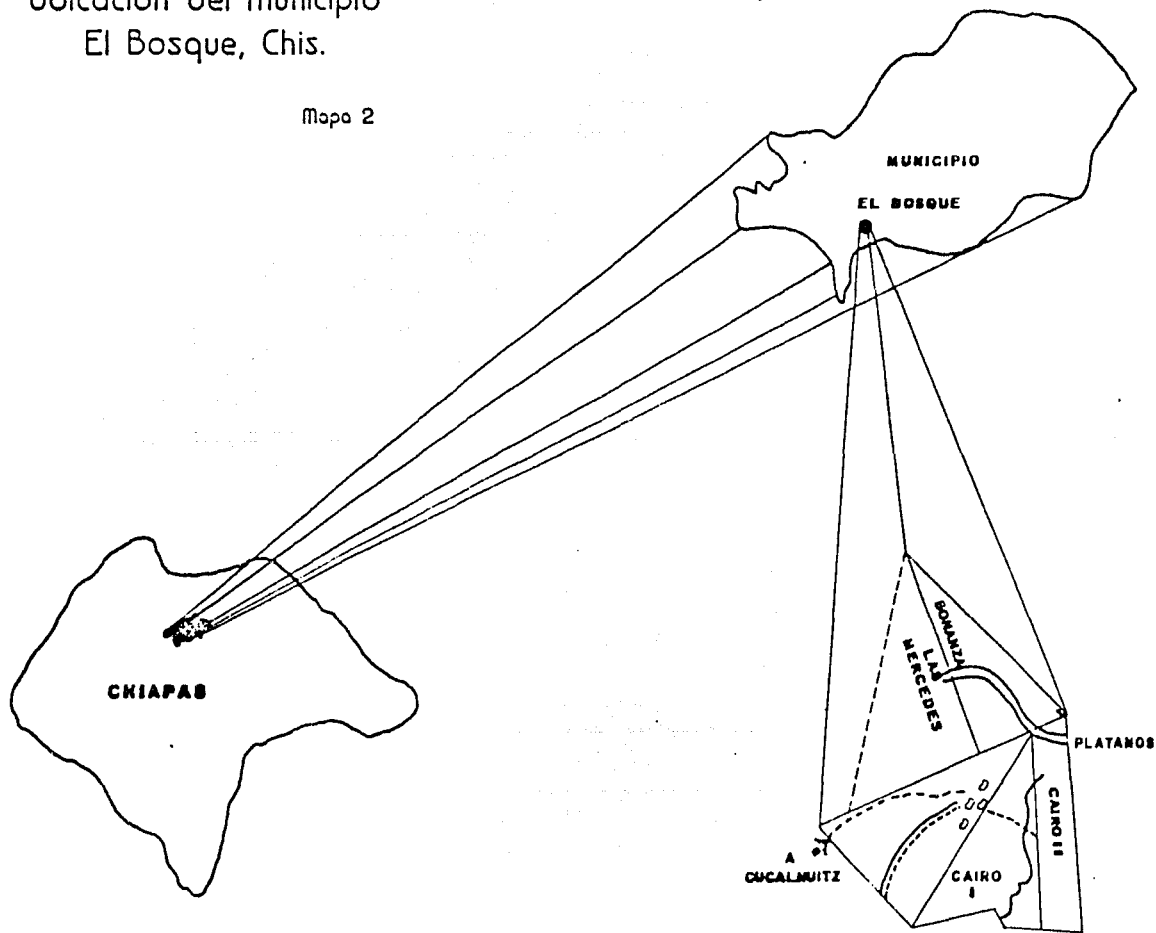
6.8 UBICACIÓN DE LA FINCA CUCALHUITZ, EL BOSQUE, CHIAPAS

La finca Cucalhuitz está ubicada a 6.6. km de la carretera México 195 en el tramo comprendido entre las localidades de Bochil y El Bosque, véase mapa 7 (INEGI, 1984).



Ubicación del Municipio
El Bosque, Chis.

Mapa 2



SIMBOLOGIA

VIAS TERRESTRES

Carretera de 2 ó mas carriles/pav.
transitable todo el tiempo.

Carretera transitable solo en secca

Rasgos hidrograficos

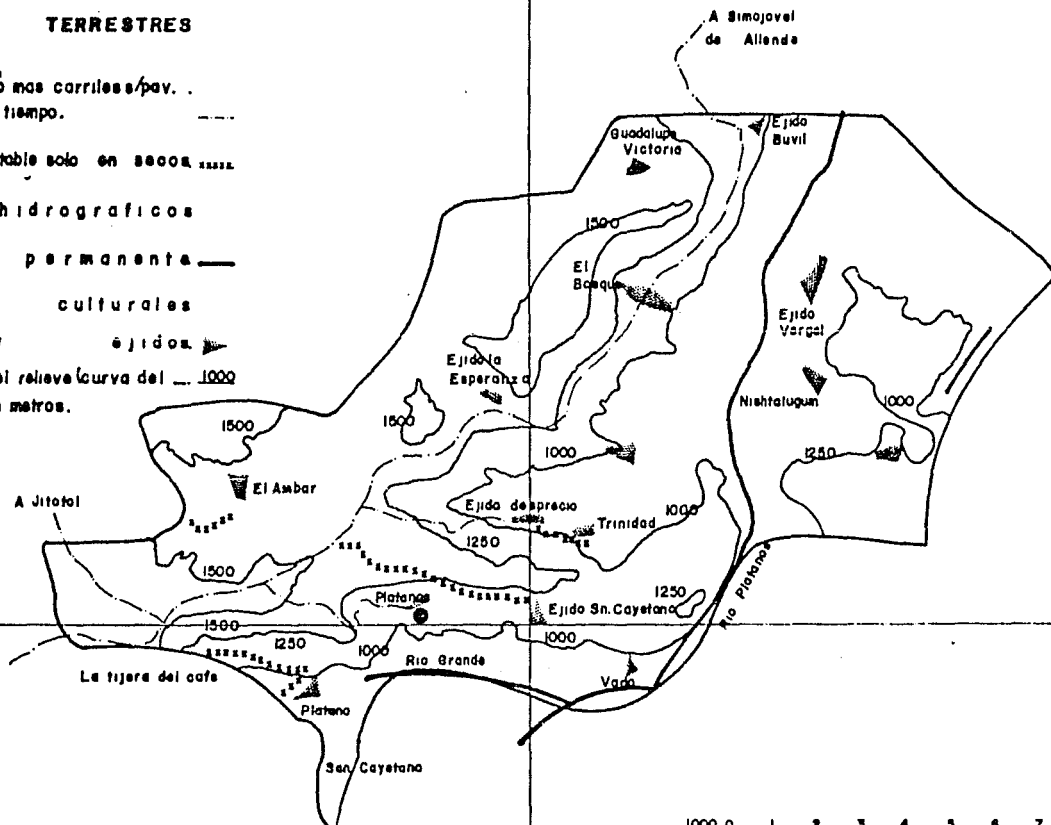
Rio permanente ———

Rasgos culturales

Poblados y ejidos. ▲

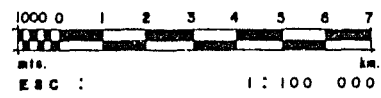
Representacion del relieve (curva del . . . 1000
nivel acotada en metros.

Fuente: INEGI (DETNAL), 1985.



Topografía del Municipio
El Bosque, Chis.

Mapa 3




Geología del Municipio
El Bosque, Chis.


Mapa 4


LEYENDA


Descripción de las unidades (agrupadas por litología y ordenadas de la más antigua a la más joven.


 K₃ (Cz) Cretácico^{sup}/caliza.

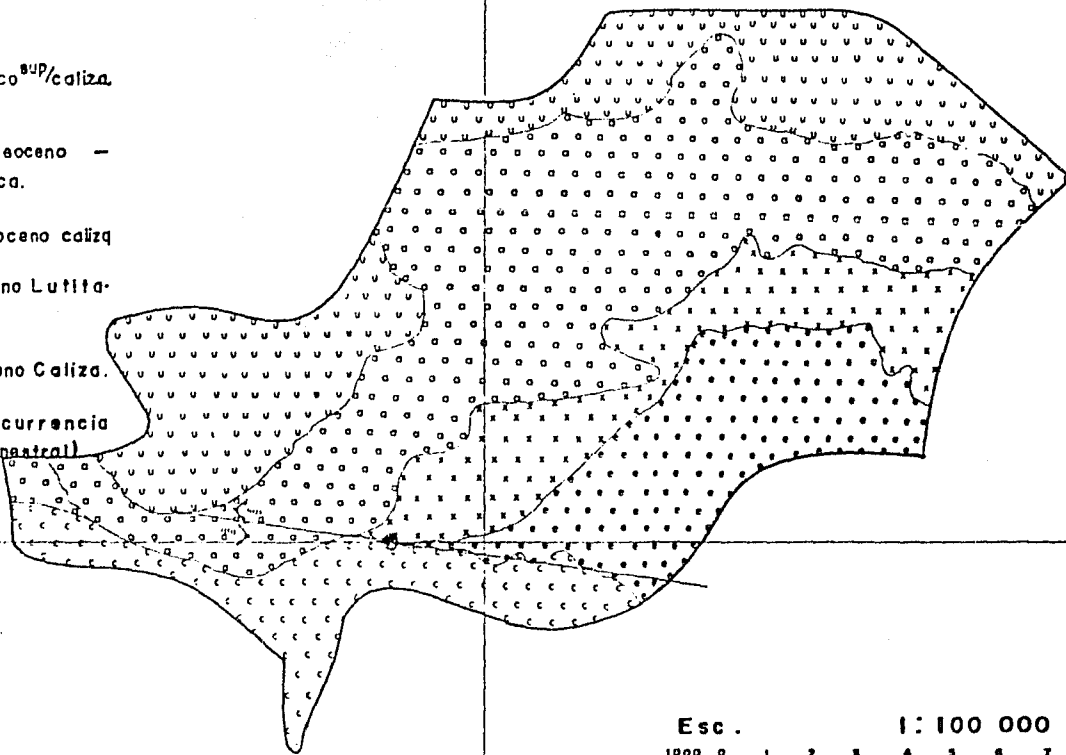
 T_{pal}(lu-ar) Paleoceno - Lutita-Arenisca.

 T_{pal} (Cz) Paleoceno caliza

 T_e (lu-ar) Eoceno Lutita-arenisca.

 T_o (Cz) Oligoceno Caliza.

 Falla de transurrencia lateral izq. (sinistral)



Esc. 1: 100 000

1000 0 1 2 3 4 5 6 7


METROS KILOMETROS


Fuente: INEGI (DETEMAL), 1935.


Clima del Municipio El Bosque, Chis.

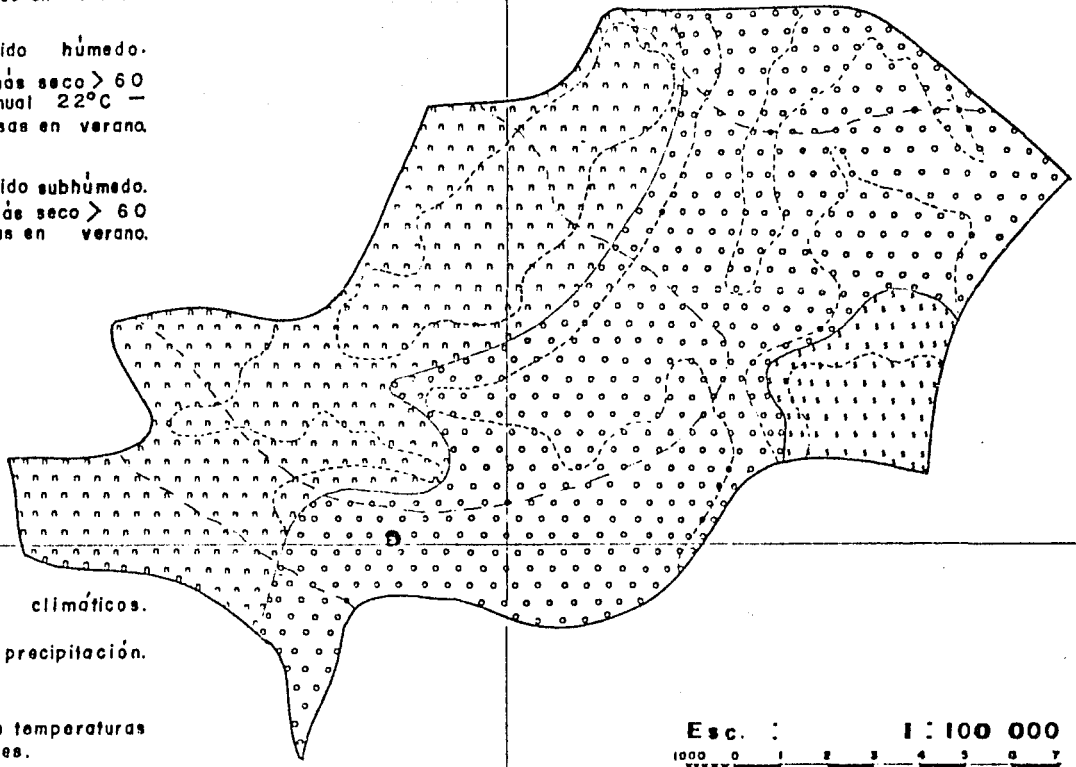
Mapa 5

LEYENDA

 A(C) W₂(W)(i)g Semicálido - subhúmedo.
-pp del mes más seco > 60 m.m. con lluvias en verano.

 A_m(W)(i)g Cálido húmedo.
-pp del mes más seco > 60 m.m. To med. anual 22°C - lluvias intensas en verano.

 A_w2(i)g Cálido subhúmedo.
-pp del mes más seco > 60 m.m. con lluvias en verano.



- Límites climáticos.
- - - Isoyetas de precipitación total anual.
- Isotermas de temperaturas medias anuales.



Fuente: ICGI (DETERAL), 1935.















17°

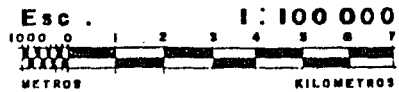
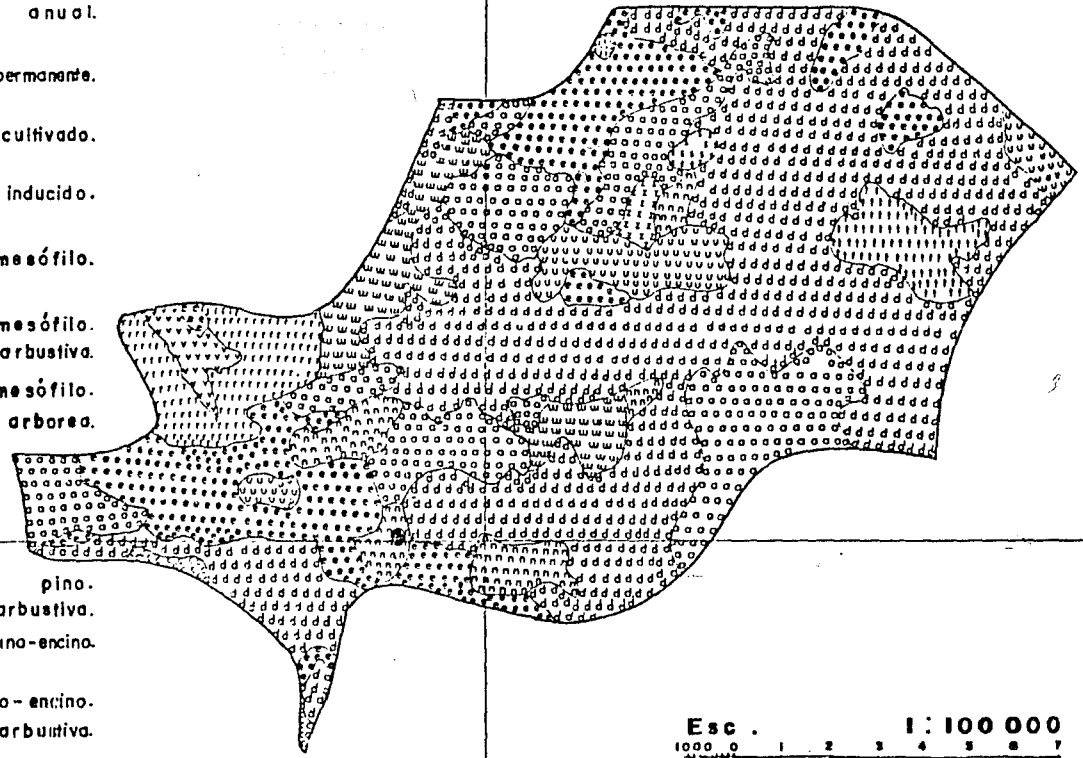
62

Vegetación del Municipio El Bosque, Chis.

Mapa 6

L E Y E N D A

-  T.P.
Temporal permanente.
-  T.A. Temporal anual.
-  T.S. Temporal permanente.
-  P.C. Pastizal cultivado.
-  P.I. Pastizal inducido.
-  B.M. Bosque mesófilo.
-  B.M. Bosque mesófilo.
-  VSA Veg. Sec. arbustiva.
-  B.M. Bosque mesófilo.
-  VSA Veg. Sec. arbustiva.
-  BP Bosque de pino.
-  VSA Veg. Sec. arbustiva.
-  BPQ Bosque pino-encino.
-  VSA Veg. Sec. arbustiva.



Fuente: INEGI (DETERVAL), 1985.

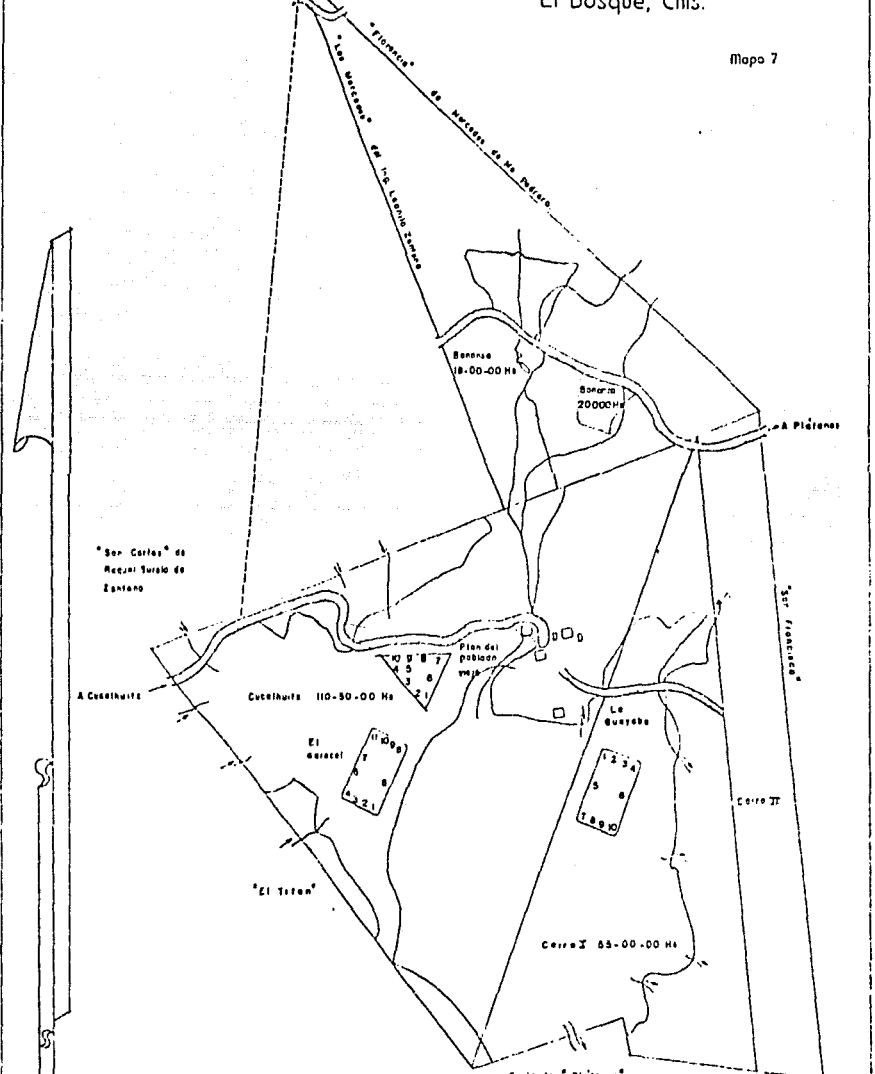
17°

PLANO DE LOS PREDIOS

Cucalhuitz = Cairo I = Cairo II = y Bonanza = con sus respectivas areas de café

Ubicación de la Finca Cucalhuitz Municipio El Bosque, Chis.

Mapo 7



Cucalhuitz	110-50-00 Hs	Potrero y cafetal
Cairo I	55-00-00 Hs	Potrero
Bonanza	20-00-00 Hs	Cafetal
Total	185-50-00 Hs	

Materiales y métodos

7.1 CAMPO

Para seleccionar los sitios de muestreo se tomó como criterio la forma del terreno, se colectó en la zona plana, pie de monte, parte media y alta del mismo; se hizo un reconocimiento del área de estudio, se realizaron 31 pozos de fertilidad que fueron muestreados cada 20 cm hasta la profundidad de 60 cm, distribuidos en tres zonas en donde se cultiva café, *El Caracol*, *El Poblado Viejo* y *la Guayaba*, siendo el primero de una mayor extensión por lo cual en éste se hicieron 11 pozos y 10 en cada uno de los siguientes. Se tomó la precaución de que los pozos quedaran ubicados al pie de un cafeto, posteriormente se muestreó el material foliar del arbusto de café, al que se le quitaron 25 hojas correspondientes al tercer y cuarto par a tres alturas o estratos de la copa del arbusto (parte baja, media y alta) este material se colocó en bolsas de papel estraza, con los datos de campo correspondientes y transportados al laboratorio.

7.2 LABORATORIO

7.2.1 Lavado, secado y molienda

Antes de que se metieran a la estufa fué necesario pesarlas para obtener el Peso fresco.

Se lavó el material hoja por hoja, frotándolas suavemente en una solución jabonosa diluída, se enjuagaron con agua corriente, posteriormente se le dieron tres lavados con una solución de HCl 2N, después se enjuagaron con agua destilada, y al agua residual se le hizo la prueba de cloruros; en caso de que ésta fuera positiva se recomiendan los lavados necesarios hasta que la reacción fuera negativa. Las hojas lavadas se colocaron en bolsas de papel estraza etiquetadas.

Después de lavadas se metieron a la estufa para que se deshidrataran a una temperatura de 50 a 60°C, posteriormente se sacaron y se volvieron a pesar, se procedió a la molienda de las hojas en un molino Wiley completamente limpio, con una malla del No. 40, se recibió el material foliar molido en bolsas de plástico y se guardaron para los análisis correspondientes.

7.2.2 Preparación de las muestras por vía seca

Para realizar la cenización seca, fué necesario lavar perfectamente los crisoles de porcelana y enjuagarlos con agua de la llave y después se colocaron en una solución de HCl al 25% durante 24 horas o más, se enjuagaron con agua destilada y se llevaron hasta peso constante, se colocaron inmediatamente en un desecador durante una hora para que se enfriaran y se pesaron en una balanza analítica.

Se colocó un gramo de material foliar molido en el crisol y en la su-

perficie se esparció aproximadamente un gramo de persulfato de amonio distribuyéndolo homogéneamente (para evitar que se volatilizaran algunos elementos durante la cenización). Después se calentaron los crisoles en un mechero con flama baja, hasta que dejaran de salir los vapores de persulfato y se calentaron al rojo vivo, entonces se tuvo la seguridad de que todo el persulfato había sido quemado, inmediatamente se colocaron en una mufla durante 6 horas a una temperatura de 600°C, luego se sacaron y se colocaron en el desecador durante una hora para que se enfriaran y se volvieran a pesar en la balanza analítica.

Para disolver las cenizas, se le agregaron 5 ml de HCl concentrado y se colocaron en una placa caliente durante 20 a 30 minutos cuidando de que el ácido no se secase, luego se filtró en un papel filtro del No. 2 previamente humedecido en HCl 2N, se lavó la muestra con agua destilada caliente y se aforó a 100 ml. Se guardaron las muestras en recipientes de plástico perfectamente lavados en solución de HCl al 25% durante 24 h y con agua destilada y. Se etiquetaron y se mantuvieron en refrigeración. En este extracto se determinó potasio, calcio y magnesio.

7.2.3 Preparación de la muestras por vía húmeda

Se colocó 0.5 g de tejido vegetal en un matraz erlenmeyer de 250 ml y se añadieron 5 ml de Ac. nítrico concentrado, se mezcló perfectamente se calentaron en baño de arena durante 30 minutos y/o a sequedad, se retiró del baño y se dejó enfriar, se añadieron 5 ml de mezcla triácida (Ac. nítrico concentrado, Ac. sulfúrico concentrado y Ac. perclórico al 60% en una proporción de 10-1-4), se digirió a una temperatura de 180 a 200°C, hasta que aparecieron vapores blancos de Ac. sulfúrico se retiró del baño y se dejó enfriar antes de añadir 5 ml de HCl concentrado, se mezcló perfectamente y virtió en un vaso de precipitados, realizándose otros dos lavados al matraz, empleando

HCl 6N yvirtiéndolo en el mismo vaso de precipitados. Este extracto se etiquetó y se mantuvo en refrigeración y en él se determinó fósforo.

7.2.4 Determinaciones físicas

- a) *Rendimiento en peso fresco.* Utilizando una balanza Ohaus de triple barra con capacidad de 2600 g.
- b) *Rendimiento en peso seco.* Secando a 60°C en una estufa marca Felisa hasta obtener peso constante y pesando en una balanza Ohaus digital con capacidad de 1500 g.
- c) *Porcentaje de humedad.* Por el método gravimétrico utilizando una estufa marca Felisa a 60°C hasta peso constante (Flores, 1975).
- d) *Porcentaje de cenizas.* Por el método gravimétrico utilizando una mufla Bluem a 600°C durante 24 h (Flores, 1975).

7.2.5 Determinaciones químicas

- a) *Nitrógeno.* Método de Kjeldahl usando como catalizador el sulfato de cobre y sulfato de sodio (Jackson, 1982).
- b) *Fósforo.* En el extracto de la vía húmeda por el método colorimétrico del fosfo-vanado-molibdato de amonio en un fotómetro Leitz (Jackson, 1982).
- c) *Potasio.* En el extracto de la vía seca, por flamometría con un flamómetro Corning 400 (Jackson, 1982).
- d) *Calcio.* En el extracto de la vía seca, por titulación con EDTA 0.02 N utilizando murexida como indicador, Método del Versenato (Jackson, 1982).
- e) *Magnesio.* En el extracto de la vía seca, por titulación con EDTA 0.02 N utilizando negro de eriocromo como indicador, Método del Versenato (Jackson, 1982).

f) *Porcentaje de proteína cruda.* Usando el factor de corrección de 6.25 multiplicado por el porcentaje de nitrógeno, encontrado por el método de Kjeldahl.

Resultados

La finca Cucalhuitz (Gran Cerro) se encuentra dividida en potreros y zonas en donde se cultiva café, dichas zonas nunca habían sido fertilizados, realizan una poda anual de café, un deshije, un agobio y un deshierbe; el primero después de la cosecha (enero o febrero) y otro en agosto. En los primeros años de un cultivo de café, la sombra de mayor importancia es el plátano ya que la leguminosa *Inga spp.* es aún muy pequeña, con el paso del tiempo eliminan el plátano porque este absorbe más agua del suelo.

La cosecha de café empieza en septiembre y octubre, y termina en febrero, durante esta época se realizan cuatro cortes de cereza.

El café que ahí se cultiva se exportaba a Estados Unidos, pero después de la erupción del volcán Chichonal la calidad del grano disminuyó, ya que los árboles de *Inga spp.* se vieron afectados por una plaga de mariposa, sus larvas acabaron con la leguminosa y por lo tanto los cafetos estuvieron expuestos al sol y a grandes ventarrones; estas fueron las razones por las cuales la producción desminuyó notablemente.

El cultivo de café en el sitio *El Caracol* al momento del muestreo poseía arbustos viejos y tenían una altura de tres a cinco metros,

presentaban un aspecto descuidado, la sombra es deficiente, las hojas poseían manchas llamadas *ojo de gallo*, con botones y flores marchitos y otros secos.

En el *Poblado Viejo* los arbustos eran jóvenes y maduros medían entre dos y tres metros de altura, presentaban buen aspecto aunque algunos cafetos poseían hojas con las manchas *ojo de gallo*, con sombra adecuada y se encontraban en época de floración.

Los cafetos de *La Guayaba* eran maduros y viejos medían de tres a cinco metros de altura, la sombra era deficiente, las hojas poseían las manchas de *ojo de gallo* y en algunos cafetos se observaba la cereza aún verde y en otros sólo había botones.

8.1 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS FOLIAR EN EL CARACOL

Los resultados de peso fresco se muestran en la gráfica 8.1. y cuadro 1. Se observa que el mayor peso es de 65 g y el menor es de 23.2 g y en lo que respecta a las alturas de la copa arbustiva (alta, media y baja) la cantidad aumenta hacia la parte alta.

Los resultados de peso seco se muestran en la gráfica 8.2 y cuadro 1. Como se puede observar el menor y mayor peso son de 11.2 y 25.3 g respectivamente. El peso es mayor al aumentar la altura de la copa arbustiva.

Los porcentajes de humedad se muestran en la gráfica 8.3 cuadro 1. Estos porcentajes varían entre 39.2 a 61.1, observándose que el valor más alto en la mayoría de los arbustos corresponde a la parte baja.

Los porcentajes de cenizas pueden observarse en la gráfica 8.4 cuadro 1. Los porcentajes varían entre 5.10 y 8.45, el valor más alto en la mayoría de los arbustos corresponde a la parte baja.

Los porcentajes para el nitrógeno son homogéneos en los resultados y la variación entre estos es de 2.38 a 2.94 y se muestran en la gráfica

8.5 y cuadro 1.

Los contenidos de fósforo se muestran en la gráfica 8.6 cuadro 1. Se obtuvieron los valores entre 0.135 y 0.190%.

El potasio se encontró en niveles que varían de 1.38 y 1.61%, como se observa no hay una altura definida en la cual haya más o menos potasio, ya que algunas veces la cantidad más alta es en la parte baja y otras en la parte superior, estos valores pueden observarse en la gráfica 8.7 y cuadro 1.

El contenido de calcio varío entre 0.56 a 1.36% se pueden observar en la gráfica 8.8 y cuadro 1. Los valores más altos se encuentran en la parte baja de la copa arbustiva.

Los contenidos de magnesio oscilan entre 0.241 y 0.272%, se muestran en la gráfica 8.9 y cuadro 1.

Los resultados de la proteína cruda se observan en el cuadro 8.1 y cuadro 1, los valores varían de 14.9 a 18.4% y en general se comporta de la misma forma que el nitrógeno.

8.2 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS FOLIAR EN EL POBLADO

Los resultados de peso fresco se muestran en la gráfica 8.1 y cuadro 2. Se observa que los valores oscilan entre 26.8 y 52.8 g. El primer valor corresponde a la parte baja y el segundo a la parte superior de la copa arbustiva.

En lo que respecta al peso seco, se puede observar en la gráfica 8.2 y cuadro 2, que los valores varían entre 11.0 y 22.2 g. El peso seco se incrementa de la parte baja a la parte alta del arbusto.

Los porcentaje de humedad pueden observarse en la gráfica 8.3 y cuadro 2, oscilan entre 42.2 y 61.0, los valores más altos están ubicados en la parte superior del arbusto.

Los porcentajes de cenizas varían entre 6.45 y 9.50 y pueden observarse en la gráfica 8.4 y cuadro 2, se ve que hay una disminución en el contenido de cenizas de la parte baja hacia la alta de la copa arbustiva, este comportamiento se mantiene en todos los cafetos muestreados.

En los resultados obtenidos para el Nitrógeno se encontró que varían entre 2.38 y 2.94% esto puede observarse en la gráfica 8.5 y cuadro 2.

El contenido de fósforo oscila entre 0.138 y 0.189%, esto se muestra en la gráfica 8.6 y cuadro 2, los valores más altos corresponden a la parte baja y media del arbusto y disminuyen en la porción superior.

Los contenidos de potasio se muestran en la gráfica 8.7 y cuadro 2, los valores se encuentran en un nivel de 1.23 a 1.58%.

La concentración de calcio varía de 0.68 a 1.80% y se muestran en la gráfica 8.8 y cuadro 2, los valores más altos corresponden a la altura baja y media del arbusto.

Los porcentajes de magnesio oscilaron entre 0.222 y 0.272 y se observan en la gráfica 8.9 y cuadro 2. El contenido más bajo está ubicado en la porción media y los más altos en la parte baja y alta de la copa arbustiva.

Los valores de proteína cruda se muestran en el cuadro 2, en donde el contenido más alto es de 18.4 y el más bajo de 14.8% presentando un comportamiento semejante al de nitrógeno.

8.3 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS FOLIAR EN LA GUAYABA

Los resultados de peso fresco, peso seco, porcentaje de humedad, porcentaje de cenizas, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, y proteína cruda se muestran en el cuadro 8.3.

Los resultados de peso fresco se muestran en la gráfica 8.1. Se observa un nivel que va de 21.8 a 69.0 g, el primer valor corresponde

a la parte baja y el segundo a la parte alta del arbusto.

El peso seco se muestra en la gráfica 8.2. Como puede observarse los valores se encuentran entre 11.3 y 27.8 g los pesos más altos no corresponden necesariamente a la porción alta del arbusto, en algunos casos se encuentran en la parte media.

El porcentaje de humedad se encuentra en un nivel de 39.3 a 68.2 estos valores coinciden con el peso fresco y seco siendo mayores en la parte alta del arbusto, véase gráfica 3.

El porcentaje de cenizas se muestra en la gráfica 8.4, se encuentran en un nivel de 5.18 a 7.41, los valores más altos se encuentran en la parte baja y disminuyen hacia la parte alta del arbusto.

Los de nitrógeno presentan un nivel que va de 2.38 a 2.80% como se observa en la gráfica 8.5, hay homogeneidad en los valores.

El contenido de fósforo se muestra en la gráfica 8.6. Hay una oscilación de 0.142 a 0.187%.

El potasio se encontró en un nivel que varía de 1.23 a 1.51%, se muestran en la gráfica 8.7. No hay una zona definida en la planta en la cual haya una acumulación constante de potasio, es decir los valores altos pueden encontrarse a veces en la parte baja en la media o alta.

Los porcentajes de calcio varían de 0.68 a 1.28% y se muestran en la gráfica 8.8. Los valores más altos se encuentran en la parte baja y media de la copa arbustiva.

El magnesio se muestra en la gráfica 8.9, se observa una oscilación de 0.225 a 0.291%, los valores más altos se encuentran en la parte media de la copa arbustiva.

Los resultados de la proteína cruda se presentan en el cuadro 3, los valores se encuentran entre 14.9 y 17.5%.

8.4 COMPARACIÓN ENTRE EL ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO Y LA PLANTA.

Haciendo la comparación entre los análisis químicos de las tres zonas de estudio tanto del suelo como de la planta, fué necesario sacar la media de cada determinación (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio), de cada pozo y arbusto muestreado y además de cada zona, esto con el fin de que la comparación fuera más detallada, véanse cuadros 8.4, 8.5 y 8.6.

Cuadro 8.2 Resultados del análisis foliar en *Coffea arabica*, en tres estratos de la copa arbustiva en la zona de cultivo El Poblado Viejo de la Finca Cucalhuiz, Mpio. El Bosque en el Estado de Chiapas.

Arbusto	Altura	Peso	Peso	Humedad	Cenizas	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Proteína
No.		Fresco	Seco	%	%	%	%	%	%	%	%
		g	g								
1	Bajo	39.6	19.1	52.0	7.17	2.94	0.109	1.32	1.72	0.209	18.4
	Medio	39.9	20.0	49.9	7.35	2.94	0.145	1.32	1.24	0.253	18.4
	Alto	40.6	19.0	59.2	6.72	2.80	0.149	1.32	1.16	0.204	17.5
2	Bajo	41.0	20.7	49.5	8.06	2.80	0.187	1.43	1.36	0.245	17.5
	Medio	44.6	22.2	50.2	7.87	2.66	0.188	1.45	1.25	0.222	16.6
	Alto	48.0	20.0	56.7	6.91	2.66	0.150	1.38	0.90	0.233	16.6
3	Bajo	50.5	21.3	42.2	8.17	2.66	0.187	1.40	1.08	0.250	16.6
	Medio	47.4	22.4	57.2	8.10	2.80	0.187	1.40	1.24	0.241	17.5
	Alto	52.8	22.5	57.4	7.51	2.80	0.189	1.44	0.89	0.251	17.5
4	Bajo	35.0	16.0	54.3	8.51	2.80	0.166	1.32	1.80	0.252	17.5
	Medio	40.2	16.4	59.2	7.96	2.38	0.167	1.23	1.68	0.242	14.8
	Alto	45.9	19.4	57.1	7.00	2.94	0.140	1.23	1.52	0.248	18.3
5	Bajo	26.8	13.6	49.3	9.06	2.80	0.185	1.45	1.80	0.250	17.5
	Medio	39.0	17.6	54.9	8.30	2.80	0.189	1.32	1.70	0.238	17.5
	Alto	31.2	17.4	44.2	8.14	2.38	0.146	1.42	1.04	0.244	14.9
6	Bajo	40.4	17.9	55.7	9.50	2.66	0.163	1.48	1.36	0.256	16.6
	Medio	41.2	16.2	60.8	8.05	2.80	0.174	1.45	1.40	0.220	17.5
	Alto	44.6	22.2	50.2	6.88	2.66	0.165	1.51	0.76	0.248	16.6
7	Bajo	29.0	14.2	52.0	7.17	2.80	0.180	1.35	1.08	0.246	17.5
	Medio	29.6	13.6	54.1	6.97	2.66	0.140	1.42	1.12	0.220	16.6
	Alto	72.0	15.2	52.5	6.60	2.94	0.165	1.55	0.96	0.239	18.4
8	Bajo	35.8	14.9	58.4	8.87	2.66	0.143	1.45	1.20	0.272	16.6
	Medio	39.2	18.5	52.8	7.03	2.66	0.143	1.38	1.20	0.250	16.6
	Alto	40.7	20.0	50.9	6.60	2.80	0.138	1.35	1.00	0.202	17.5
9	Bajo	31.8	12.5	60.7	8.03	2.66	0.152	1.45	1.12	0.265	16.6
	Medio	45.5	18.2	60.0	8.31	2.94	0.143	1.51	0.88	0.267	18.4
	Alto	48.5	20.2	54.4	6.45	2.66	0.145	1.38	0.80	0.250	16.6
10	Bajo	28.2	11.0	61.0	8.68	2.66	0.160	1.58	0.74	0.253	16.6
	Medio	30.8	12.5	59.4	8.30	2.66	0.150	1.51	0.80	0.246	16.6
	Alto	35.0	14.0	58.5	7.96	2.50	0.140	1.38	0.68	0.248	15.8

Material parental Americano

Clima: Am(w^h)_h Cálido húmedo

Precipitación total: 2 352 mm

Temperatura media anual: 22°C

Altitud: 1000 msnm

Vegetación: Selva alta perennifolia

Cultivo actual: Café

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

Cuadro 8.3 Resultados del análisis foliar en *Coffea arabica*, en tres estratos de la copa arbustiva en la zona de cultivo La Guayaba de la Finca Cucalhuitz, Mpio. El Bosque en el Estado de Chiapas.

Arbusto	Altura	Peso	Peso	Humedad	Cenizas	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Proteína
No.		Fresco	Seco	%	%	%	%	%	%	%	%
		g	g								
1	Bajo	27.9	15.5	45.9	7.10	2.52	0.108	1.37	1.28	0.274	15.8
	Medio	32.6	14.2	56.4	6.49	2.80	0.154	1.42	1.00	0.274	17.5
	Alto	32.9	18.7	43.2	5.83	2.80	0.152	1.44	0.78	0.277	17.5
2	Bajo	33.1	14.0	55.0	6.40	2.00	0.150	1.42	1.08	0.255	16.0
	Medio	40.0	18.0	55.0	5.78	2.80	0.156	1.35	0.90	0.262	17.5
	Alto	40.0	15.2	62.0	5.63	2.52	0.109	1.38	0.84	0.260	15.8
3	Bajo	24.4	13.9	43.0	7.19	2.52	0.174	1.29	1.12	0.284	15.8
	Medio	32.8	14.1	57.9	6.87	2.80	0.161	1.26	1.24	0.291	17.5
	Alto	30.6	13.8	54.9	6.00	2.00	0.154	1.23	1.00	0.267	16.0
4	Bajo	28.0	17.0	39.3	7.08	2.52	0.105	1.29	1.12	0.282	15.8
	Medio	33.5	16.9	49.0	6.24	2.80	0.109	1.32	1.08	0.267	17.5
	Alto	48.3	21.7	55.1	5.78	2.80	0.140	1.42	0.76	0.253	17.5
5	Bajo	22.3	11.7	47.5	7.41	2.52	0.142	1.38	1.10	0.259	15.8
	Medio	30.1	11.3	67.8	7.33	2.52	0.150	1.42	1.12	0.264	15.8
	Alto	22.2	11.4	48.6	6.21	2.52	0.140	1.40	0.88	0.246	15.8
6	Bajo	21.8	11.7	40.3	6.48	2.00	0.157	1.23	1.08	0.255	16.0
	Medio	34.2	16.9	50.6	5.05	2.38	0.149	1.30	1.40	0.274	14.9
	Alto	38.5	17.2	55.3	5.18	2.52	0.165	1.29	0.76	0.243	15.8
7	Bajo	44.0	17.9	59.9	6.76	2.00	0.140	1.51	1.08	0.250	16.0
	Medio	41.2	18.5	55.1	6.40	2.60	0.150	1.47	1.12	0.262	16.0
	Alto	52.5	10.7	68.2	5.76	2.80	0.142	1.45	0.90	0.252	17.5
8	Bajo	35.0	16.2	53.7	7.34	2.80	0.142	1.30	1.20	0.284	17.5
	Medio	38.0	15.2	60.6	7.17	2.00	0.165	1.23	1.20	0.258	16.0
	Alto	36.5	15.2	58.4	6.09	2.00	0.165	1.29	1.00	0.284	16.0
9	Bajo	45.8	17.8	61.1	6.99	2.00	0.168	1.32	1.12	0.282	16.0
	Medio	49.0	18.7	61.8	6.53	2.00	0.165	1.29	0.88	0.228	16.0
	Alto	54.9	21.8	60.3	6.90	2.60	0.143	1.23	0.80	0.225	16.0
10	Bajo	48.7	17.3	64.5	5.91	2.00	0.183	1.29	0.74	0.286	16.0
	Medio	54.4	21.9	59.7	5.93	2.00	0.187	1.42	0.80	0.284	16.0
	Alto	69.0	27.8	59.7	5.90	2.52	0.160	1.32	0.68	0.270	15.8

Material parental: Acahuas

Clima: Am(w)^h y Cálido húmedo

Precipitación total: 2 357 mm

Temperatura media anual: 22°C

Altitud: 1000 msnm

Vegetación: Selva alta porofofa

Cultivo actual: Café

Cuadro 8.4 Análisis químicos de suelos y plantas de la zona El Caracol para nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Muestra No.	Nitrógeno		Fósforo		Potasio		Calcio		Magnesio	
	%		%		%		%		%	
	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P
1	0.15	2.52	0.073	0.15	0.011	1.51	0.20	1.03	0.075	0.25
2	0.24	2.57	0.038	0.14	0.013	1.44	0.25	0.92	0.085	0.26
3	0.21	2.57	0.031	0.15	0.012	1.51	0.20	1.15	0.050	0.25
4	0.26	2.66	0.077	0.16	0.016	1.48	0.23	0.91	0.080	0.26
5	0.27	2.75	0.053	0.15	0.018	1.61	0.29	0.95	0.054	0.25
6	0.20	2.71	0.145	0.16	0.012	1.40	0.27	0.83	0.087	0.26
7	0.22	2.66	0.080	0.17	0.011	1.53	0.26	0.87	0.068	0.26
8	0.25	2.66	0.123	0.18	0.015	1.52	0.26	0.94	0.086	0.26
9	0.17	2.80	0.092	0.16	0.015	1.51	0.23	0.85	0.076	0.26
10	0.27	2.75	0.30	0.16	0.019	1.46	0.32	0.85	0.055	0.25
11	0.19	2.71	0.18	0.16	0.050	1.53	0.25	0.80	0.072	0.26

* S= suelo

† P= planta

Cuadro 8.5 Análisis químicos de suelos y plantas de la zona El Poblado Viejo para nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Muestra No.	Nitrógeno		Fósforo		Potasio		Calcio		Magnesio	
	%		%		%		%		%	
	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P
1	0.22	2.87	0.130	0.15	0.010	1.32	0.26	1.37	0.040	0.26
2	0.19	2.71	0.690	0.18	0.018	1.42	0.22	1.17	0.066	0.23
3	0.24	2.75	0.470	0.19	0.019	1.41	0.28	1.07	0.077	0.25
4	0.43	2.71	0.063	0.16	0.010	1.26	0.25	1.67	0.092	0.25
5	0.32	2.61	1.200	0.17	0.020	1.40	0.55	1.71	0.067	0.24
6	0.24	2.71	0.167	0.17	0.018	1.48	0.23	1.17	0.094	0.24
7	0.29	2.80	0.048	0.16	0.011	1.44	0.39	1.05	0.042	0.24
8	0.30	2.71	0.197	0.14	0.013	1.39	0.38	1.13	0.056	0.26
9	0.15	2.75	0.087	0.15	0.011	1.45	0.20	0.93	0.068	0.26
10	0.28	2.63	0.245	0.15	0.012	1.49	0.36	0.74	0.073	0.25

* S= suelo

† P= planta

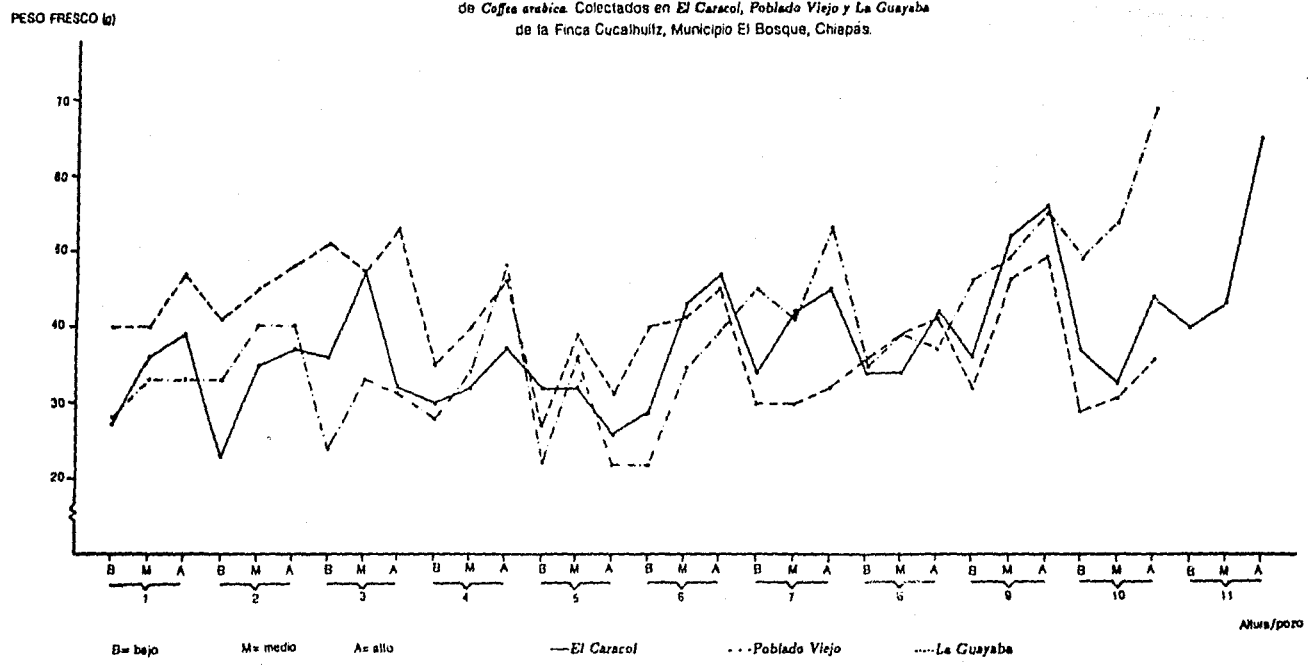
Cuadro 8.6 Análisis químicos de suelos y plantas de la zona La Guayaba para nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

Muestra No.	Nitrógeno		Fósforo		Potasio		Calcio		Magnesio	
	%		%		%		%		%	
	S	P	S	P	S	P	S	P	S	P
1	0.14	2.71	0.090	0.16	0.013	1.41	0.21	1.02	0.138	0.28
2	0.19	2.64	0.300	0.16	0.009	1.38	0.17	0.94	0.044	0.26
3	0.24	2.66	0.170	0.16	0.009	1.26	0.21	1.12	0.079	0.28
4	0.21	2.71	0.090	0.16	0.012	1.34	0.26	0.99	0.070	0.27
5	0.34	2.52	0.037	0.15	0.016	1.40	0.47	1.05	0.109	0.26
6	0.27	2.50	0.027	0.16	0.016	1.27	0.55	1.08	0.121	0.26
7	0.36	2.71	0.080	0.15	0.013	1.48	0.31	1.05	0.133	0.26
8	0.26	2.71	0.030	0.16	0.014	1.27	0.43	1.13	0.086	0.28
9	0.22	2.66	0.110	0.16	0.010	1.26	0.23	0.93	0.048	0.26
10	0.26	2.61	0.170	0.18	0.013	1.34	0.30	0.74	0.090	0.28

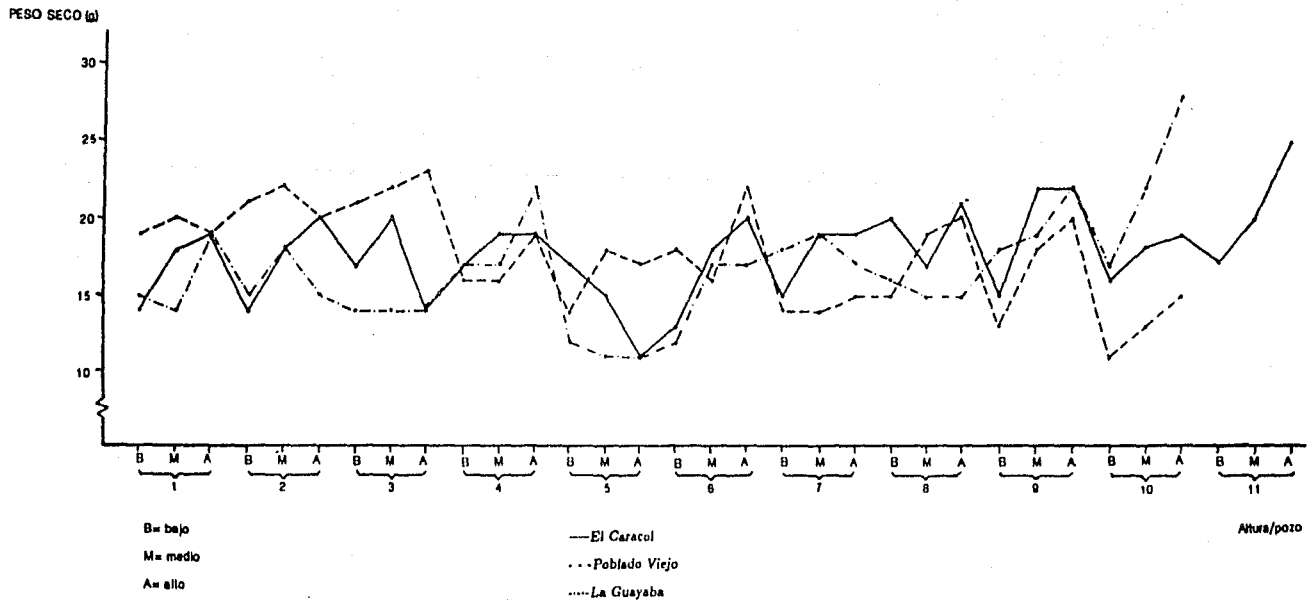
* S= suelo

† P= planta

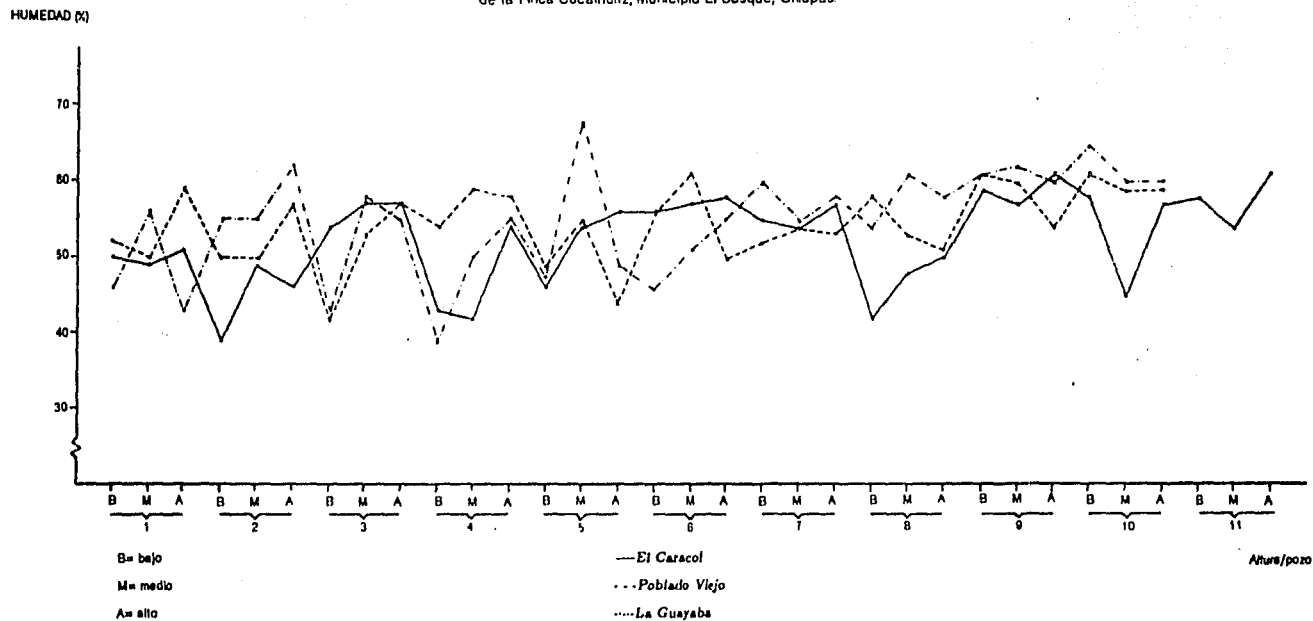
Gráfica 1 Determinación de Peso fresco (g) en tres estratos arbustivos de *Coffea arabica*. Colectados en El Caracol, Poblado Viejo y La Guayaba de la Finca Cucalhuatz, Municipio El Bosque, Chiapas.



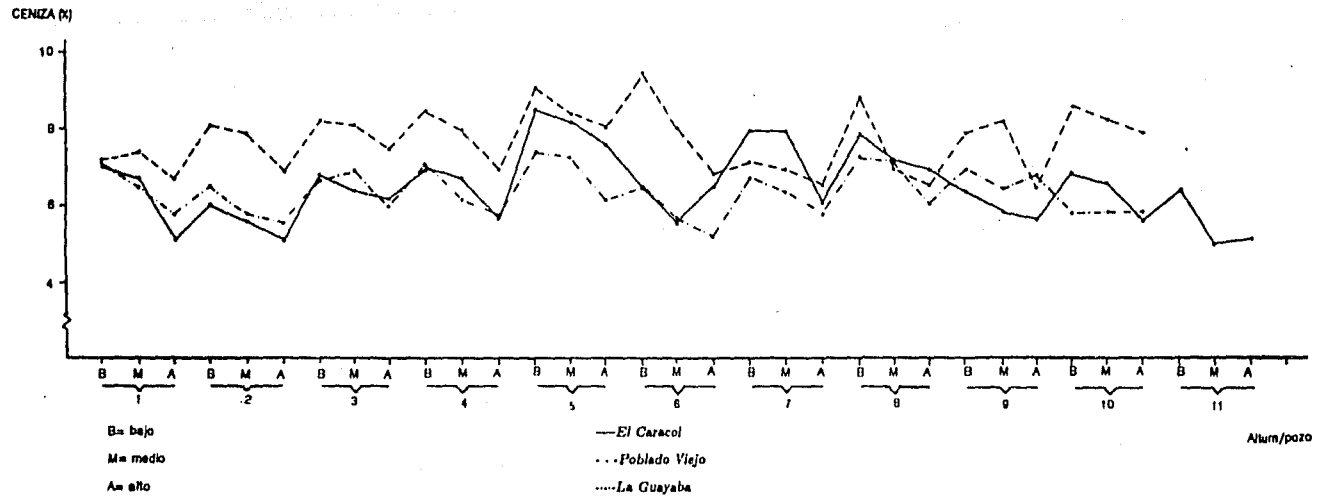
Gráfica 2 Determinación del Peso seco (g) en tres estratos arbustivos de *Coffea arabica*. Colectados en El Caracol, Poblado Viejo y La Guayaba de la Finca Cuculhuitz, Municipio El Bosque, Chiapas.



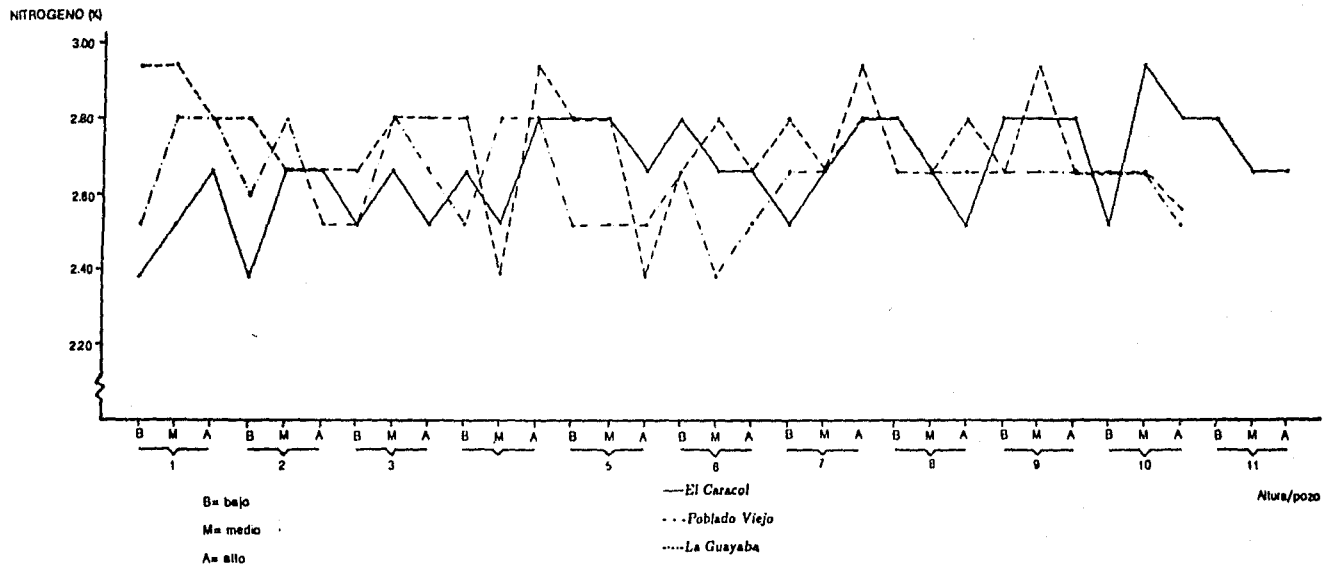
Gráfica 3 Determinación de Humedad (%) en tres estratos arbustivos de *Coffea arabica* Coleccionados en El Caracol, Poblado Viejo y La Guayaba de la Finca Cucalthuitz, Municipio El Bosque, Chiapas.



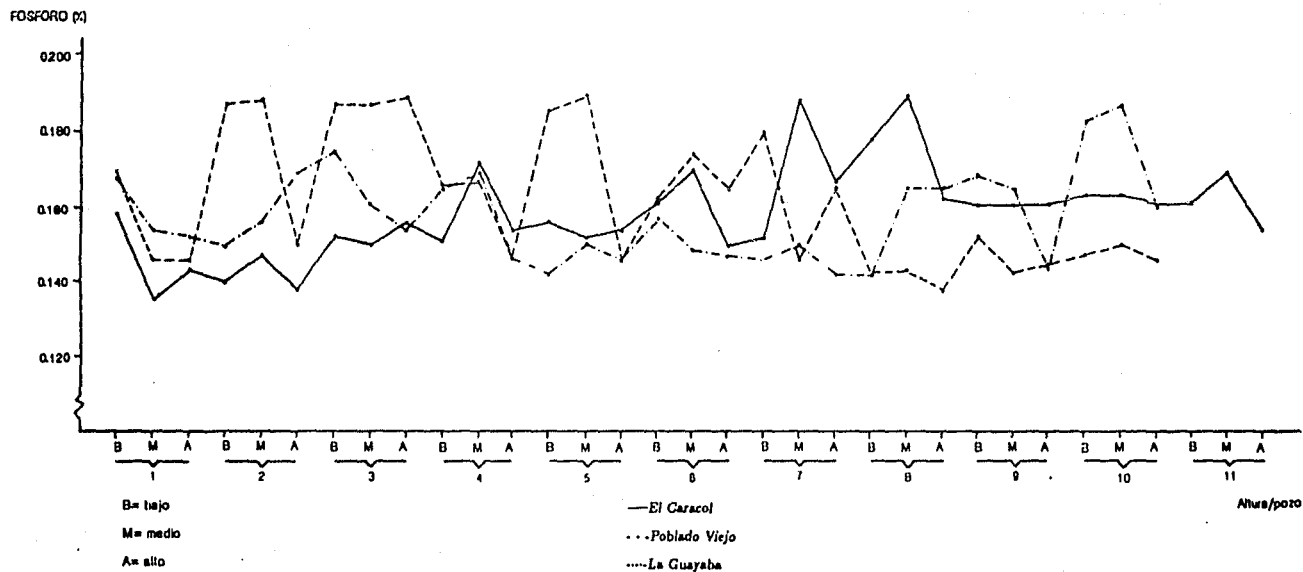
Gráfica 4 Determinación de Cenizas (%) en tres estratos arbustivos de *Coffea arabica*. Colectados en El Caracol, Poblado Viejo y La Guayaba de la Finca Cucalhuiz, Municipio El Bosque, Chiapas.



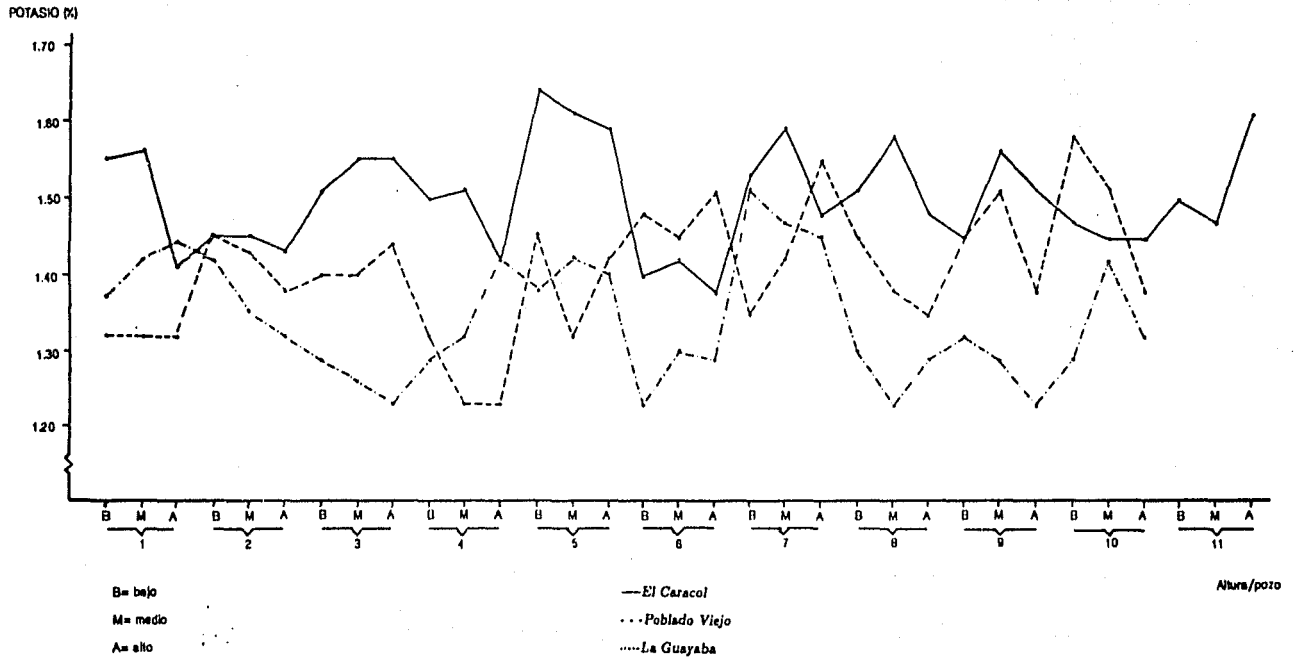
Gráfica 5 Determinación de Nitrógeno (%) en tres estratos arbustivos de *Coffea arabica* Colectados en El Caracol, Poblado Viejo y La Guayaba de la Finca Cucalhuiz, Municipio El Bosque, Chiapas.



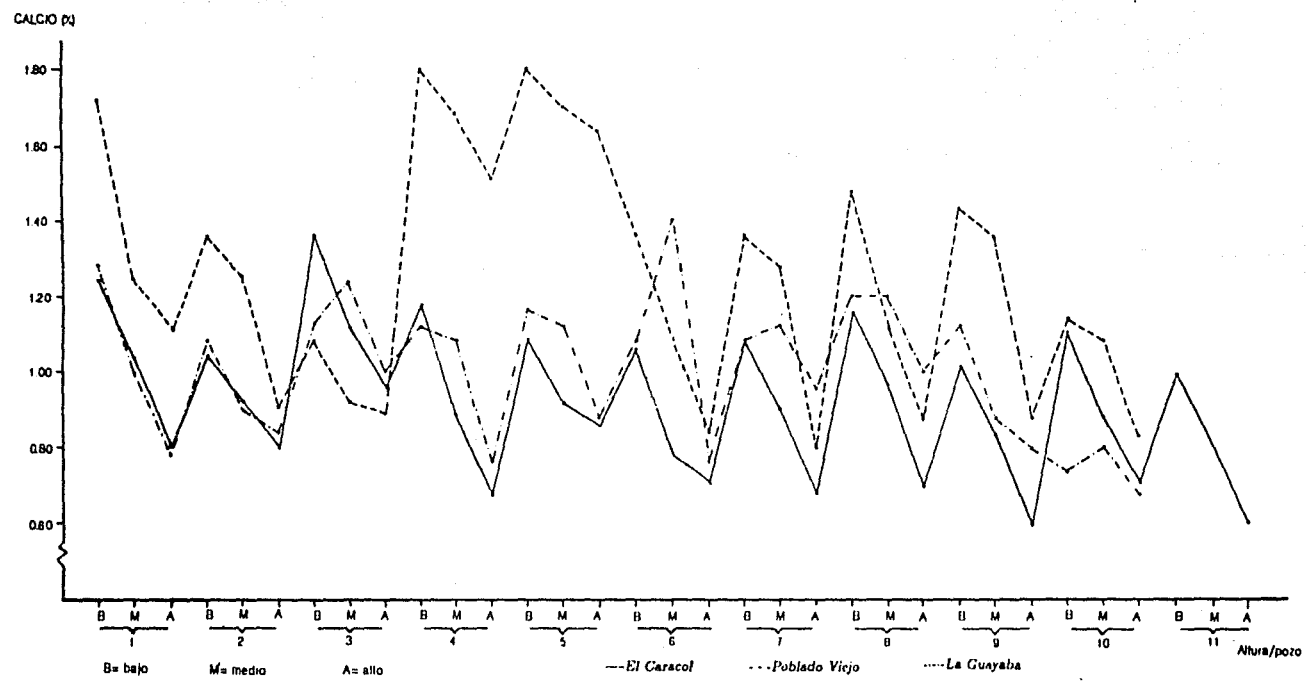
Gráfica 6 Determinación de Fósforo (%) en tres estratos arbustivos de *Coffea arabica*. Colectados en El Caracol, Poblado Viejo y La Guayaba de la Finca Cucahuitz, Municipio El Bosque, Chiapas



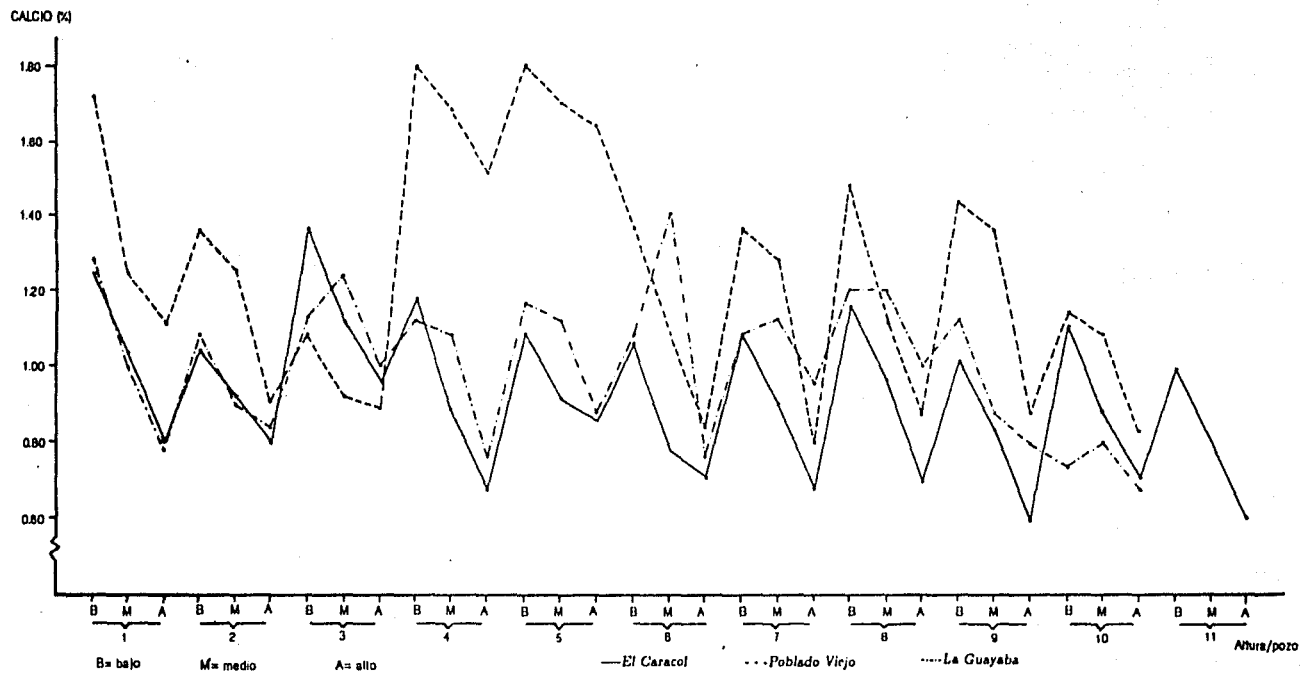
Gráfica 7 Determinación de Potasio (%) en tres estratos arbustivos de *Coffea arabica*. Colectados en El Caracol, Poblado Viejo y La Guayaba de la Finca Cucalhuatz, Municipio El Bosque, Chiapas.



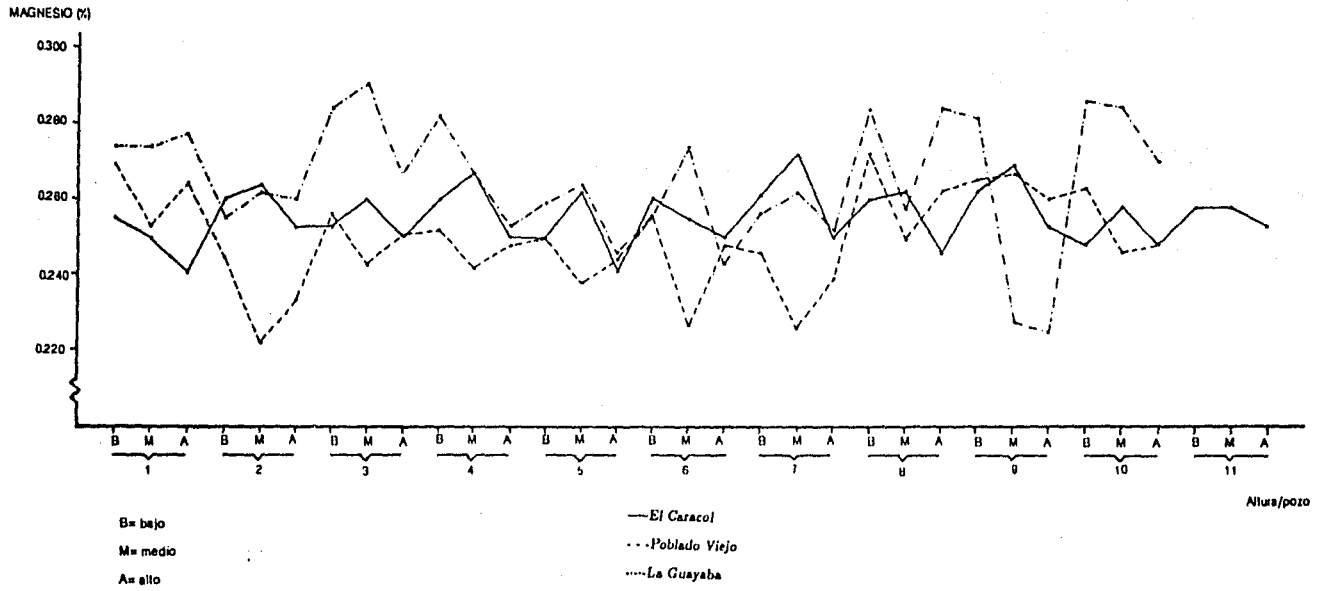
Gráfica 8 Determinación de Calcio (%) en tres estratos arbustivos de *Coffea arabica* Colectados en El Caracol, Poblado Viejo y La Guayaba de la Finca Cucalhuatz, Municipio El Bosque, Chiapas



Gráfica 8 Determinación de Calcio (%) en tres estratos arbustivos de *Coffea arabica*. Colectados en El Caracol, Poblado Viejo y La Guayaba de la Finca Cucalutz, Municipio El Bosque, Chiapas



Gráfica 9 Determinación de Magnesio (%) en tres estratos arbustivos de *Coffea arabica*. Colectados en El Caracol, Poblado Viejo y La Guayaba de la Finca Cucaluitz, Municipio El Bosque, Chiapas.



Atlas/pozo

Discusión

El peso fresco para las tres zonas se comporta de una manera similar, los valores más altos corresponden a la parte alta de la copa arbustiva; esto puede deberse a que en esta zona las hojas son jóvenes y poseen mayor contenido de agua y de ciertos nutrientes.

En la gráfica 8.1 se puede observar que los pesos más altos corresponden a el *Poblado Viejo*, los valores medios a *El Caracol* y los más bajos a *La Guayaba*, este comportamiento se presenta para los siete primeros arbustos y para los últimos el comportamiento es inverso, los valores más altos son para la *Guayaba* y los más bajos para el *Poblado Viejo*. Las diferencias entre los tres sitios, puede ser debido a las condiciones en que se encontraba la plantación al momento del muestreo, en los sitios de *El Caracol* y *La Guayaba* la sombra era deficiente, esto hace que la acción del viento sobre los cafetos provoque el marchitamiento de las hojas y de los brotes jóvenes; por lo tanto, disminuye el peso de las hojas debido al retraso en la producción de tejidos.

El intervalo en el porcentaje de humedad se encuentra en general para las plantas entre 39.2 a 67.8%. Siendo en el *Poblado Viejo* en donde se observan los valores más altos, así lo indica la gráfica 8.3;

los valores medios para la *Guayaba* y los más bajos para *El Caracol*. El porcentaje de humedad nos indica la cantidad de agua contenida en los tejidos vegetales, según los valores, se observa que la parte alta es en donde hay mayor acumulación de la misma debido a que las hojas son más jóvenes y no han sufrido demasiada deshidratación, comparada con las hojas más viejas de la parte baja.

El porcentaje de cenizas para las tres zonas va de 5.10 a 9.50%. Como puede observarse en la gráfica 8.4 el *Poblado Viejo* tiene los valores más altos 6.45 a 9.50%. *El Caracol* con 5.10 a 8.45% y *La Guayaba* con 5.18 a 7.41% de cenizas siguen un comportamiento muy semejante.

El lo que respecta a las diferencias en el porcentaje de cenizas entre las alturas de la copa arbustiva se deben a que en la parte baja hay una mayor acumulación de minerales y por lo tanto los porcentajes de cenizas son mayores. Los contenidos de nitrógeno que se encontraron en las tres zonas se muestran en la gráfica 8.5. Como se observa el *Poblado Viejo* tiene valores un poco más altos en comparación con la *Guayaba* y *El Caracol*, pero en general puede decirse que siguen un comportamiento semejante.

El intervalo en el porcentaje de nitrógeno que se ha obtenido en las tres zonas, es de 2.38 a 2.94%, considerado como una concentración media a alta; es importante recordar que los cafetales tienen una sombra proporcionada por una leguminosa, éstos árboles pueden contribuir a los requerimientos de nitrógeno del café, mientras que los mismos (árboles), mantendrán en circulación otros nutrientes, Machado, (1956) y (Geus, 1976).

El nitrógeno es un elemento móvil que interviene en el desarrollo vegetativo y es por eso que no hay variación muy notoria entre las alturas de la copa arbustiva.

El fósforo se muestra en la gráfica 8.6, los valores más altos corresponden al *Poblado Viejo* para los primeros siete arbustos de café,

después hay un descenso hasta ser el más bajo, el intervalo de concentración es de 0.138 a 0.189%.

El Caracol presenta la concentración de fósforo más baja en los cinco primeros arbustos, posteriormente se incrementa hasta obtener valores que van de 0.135 a 0.190%.

La Guayaba en general presenta una concentración media a alta, con valores de fósforo de 0.142 a 0.182%.

Con base en los datos de Machado, (1956) los valores reportados de fósforo en un intervalo de 0.135 a 0.190% se consideran una concentración media a alta; el fósforo es un elemento muy móvil que interviene en la inducción floral y en la formación de fruto, es por eso que el fósforo en esta etapa se acumula en las hojas.

Los contenidos de potasio se muestran en la gráfica 8.7, como puede observarse los porcentajes más altos corresponden a *El Caracol*, con valores de 1.38 a 1.61%.

En el *Poblado Viejo* el porcentaje de potasio es medio en un rango de 1.23 a 1.58% y para la *Guayaba* es de 1.23 a 1.51% que corresponden a un valor bajo.

Según Machado, (1959) menciona que el rango en el porcentaje de potasio para las tres zonas es de 1.23 a 1.61% que corresponde a una concentración baja a media, es importante recordar que los requerimientos de potasio son altos particularmente durante el desarrollo de las cerezas del café y hay un requerimiento máximo en las etapas del desarrollo y madurez del arbusto, por lo cual el contenido en la hoja puede disminuir notablemente.

El contenido de calcio más alto corresponde a el *Poblado Viejo*, con valores de 0.80 a 1.80%, véase gráfica 8.8.

La concentración media se observa en *La Guayaba* con una oscilación de 0.68 a 1.20% de calcio y la baja en *El Caracol* con un rango de 0.56 a 1.36%.

Chaverri citado por Geus, (1967) mencionan que la concentración de 0.56 a 1.80% de calcio corresponde a n valor bajo a alto medio para las tres zonas.

El calcio es un elemento inmóvil que se acumula en la hojas más viejas, es por esta razón que la mayor concentración se encuentra en la parte baja de la copa arbustiva.

Los contenidos de magnesio se pueden observar en la gráfica 8.9. La concentración más alta corresponde a la *Guayaba* con una oscilación de 0.225 a 0.219% y para la *Guayaba* y *El Caracol* se observa un comportamiento similar con valores que van de 0.222 a 0.272% de magnesio.

Chaverri citado por Geus, (1967) menciona que el rango de 0.222 a 0.291% para los tres zonas, esta en una concentración media. El magnesio es un elemento móvil que se transloca con mucha facilidad de las hojas maduras a las más jóvenes y al fruto (Flores, 1973) y además forma parte de la clorofila razón por la cual las diferencias entre las alturas de la copa arbustiva no son muy grandes.

En relación a la comparación entre las tres zonas de estudio (ver cuadros 8.4, 8.5 y 8.6), respecto al análisis de nutrientes en suelo (Sotelo, S.A., 1988) como en la planta, se han realizado algunas estimaciones sobre la cantidad de elementos que la planta de café extrae del suelo, a distintas edades.

Según Malavolta citado por Ortíz, (1978), menciona que la absorción de nitrógeno, potasio y calcio, va creciendo intensamente a medida que la planta gana en edad, en contraste con la absorción de fósforo y magnesio que sube de manera mucho menos pronunciada.

En el cuadro 9.1 es interesante observar que de los 2.5 a los 3.5 años de edad las exigencias minerales del cafeto se duplican, lo que se debe casi exclusivamente al inicio de la producción de granos.

Cuadro 9.1 Cantidades totales de nutrientes (en gramos) removidos por cafetos jóvenes durante su desarrollo.*

<i>Elemento</i>	<i>Edad (años)</i>							
	<i>1</i>	<i>1.5</i>	<i>2</i>	<i>2.5</i>	<i>3.5</i>	<i>4</i>	<i>4.5</i>	<i>5</i>
N	1.29	10.77	28.27	43.20	80.45	84.24	94.73	117.47
P ₂ O ₅	0.11	1.83	3.67	4.32	9.38	9.89	14.38	16.33
CaO	0.63	6.65	22.80	29.33	64.65	59.61	76.67	77.11
K ₂ O	1.43	15.18	20.85	35.21	85.45	70.88	116.85	121.32
MgO	0.32	0.80	2.16	10.25	22.33	13.18	25.10	23.47
Peso seco	76	750	2 665	3 625	6 103	6 748	8 115	10 174

* Catani y Morales citados por Ortíz, (1978).

Según SEIFA citado por Ortíz, (1978) menciona que la absorción de los distintos elementos se intensifican, cuando la planta pasa de los tres años de edad. La proporción de fósforo, en relación con nitrógeno y potasio, es mayor hasta el quinto año, a partir del cual la cantidad de absorción ya no se incrementa sino que tienden a decaer, véase cuadro 9.2.

Cuadro 9.2 Cantidades de elementos nutritivos absorbidos por el café en diferentes años de su vida, expresado en gramos.*

<i>Edad del Cafeto</i>	<i>Nitrógeno N</i>	<i>Fósforo P₂O₅</i>	<i>Potasio K₂O</i>	<i>Calcio CaO</i>	<i>Magnesio MgO</i>
1 año	0.215	0.013	0.119	0.057	0.019
2 años	0.271	0.120	0.443	0.253	0.086
3 años	6.345	0.655	6.292	3.434	1.150
4 años	10.674	1.041	9.805	5.030	1.574
5 años	18.106	2.390	21.673	12.425	3.910
10 años	18.066	1.778	16.011	11.268	3.619
40 años	5.538	0.663	6.056	4.138	1.283

* SEIFA citados por Ortíz, (1978).

Teniendo en consideración lo anterior se puede decir que los resultados obtenidos en el análisis químico del suelo y del café no son los

esperados según la bibliografía, ya que los contenidos de los diferentes elementos son muy similares entre las tres zonas, aún cuando los cafetos de el Poblado Viejo tienen una edad de 3 años aproximadamente, comparado con 20 del Caracol, así se observa que el porcentaje de nitrógeno varía en la planta de 2.61 a 2.8 y en suelo de 0.15 a 0.43%; considerándose valores medios, esto es explicable porque los cafetos estaban sombreados con la leguminosa *Inga spp.* que establece simbiosis con *Rhizobium spp.* para la fijación de nitrógeno.

El contenido de calcio es mayor en la zona del Poblado Viejo en comparación con los otros dos, esto se observa tanto en la planta como en el suelo, se puede explicar relacionándolo con la edad de los cafetos, ya que como se mencionó son jóvenes comparados con el Caracol (20 años). En esta etapa el cafeto necesita una alta concentración de calcio para el buen desarrollo de la raíz y el transporte de carbohidratos a través de la planta.

En relación al fósforo y magnesio que son elementos nutritivos importantes en la inducción floral (formación de fruto) y para la síntesis de carbohidratos (como constituyente de la clorofila) respectivamente, se puede decir que el mayor porcentaje de fósforo va de 0.14 a 0.19 y de magnesio de 0.23 a 0.28 para plantas, de acuerdo con Chaverri citado por Geus, 1967 menciona que es un contenido medio, no así en el suelo en donde los valores van de medio a bajos, lo que indica una escasez de magnesio.

Es importante mencionar que el potasio se encontraron en baja concentración en el suelo como en la planta, siendo un elemento muy importante, ya que el requerimiento por la planta es alto, particularmente durante el desarrollo de la cereza del café.

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos de los análisis realizados, se concluye que:

1. Para los tres sitios, la concentración de nitrógeno en la planta es alta ya que el suelo se lo está suministrando por la mineralización de la materia orgánica.
2. En la planta la concentración del fósforo es media y en el suelo es baja a media; el fósforo interviene en el metabolismo especialmente en la inducción floral y de la floración en sí. El cafeto es poco exigente en fósforo; tal vez por tratarse de un cultivo perenne, el cual puede absorber este elemento en forma continua y durante períodos largos, llenando así sus exigencias
3. Para las tres zonas se encuentra que las concentraciones de potasio son bajas a medias en la planta y en el suelo son bajas; el potasio es el más importante para el fruto y la semilla del cafeto, así como en la elaboración del almacén leñoso. Se recomienda una fertilización foliar con potasio para elevar el contenido de este elemento en las hojas.

4. Los abustos de café y el suelo tienen una concentración media, se puede observar un antagonismo con el potasio ya que al aumentar el contenido de calcio, hay una disminución de potasio.
5. El contenido de magnesio en las tres zonas es de una concentración media en la planta, no así en el suelo en donde los valores van de medio a bajos, lo que indica una escasez de magnesio.
6. Se considera conveniente efectuar muestreos foliares en diferentes épocas del año y hacer el análisis químico en la planta y en el suelo.
7. Aunque la zona presenta características ambientales adecuadas para el desarrollo y buena producción del café, la concentración de los principales elementos del suelo necesarios para la nutrición del cafeto es baja a media, excepto para el nitrógeno, por esta causa la planta tiene una concentración baja de potasio, y concentraciones medias de calcio y magnesio; aunado a esto, el descuido en las prácticas culturales como la poda, sombreado y el control de malezas ha disminuido la producción de café en la zona de estudio.

Referencias

- Aguilera, H. N. 1955. Los Suelos Tropicales de México. En Mesas Redondas sobre Problemas del Trópico Mexicano. Beltrán E. (Ed). *Pub. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov.* 1:3-24. México.
- Aguilera, H. N. 1959. Suelos. Los Recursos Naturales del Sureste y su aprovechamiento. Beltrán, E. (Ed.). *Pub. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov.* II(2): 177-212. México.
- Aguilera, H. N. 1972. *Mapa de Suelos de la República Mexicana*. Cit in Nuevo Atlas Porrúa de la Republica Mexicana. García de Miranda E. y Falcón de Gyves, Z. Ed. Porrúa, S.A. 110-111 pp. México.
- Aguilera, H. N. cit in Sánchez, A. P. 1976. *Properties and management of soils in the tropics*. John Wiley Sons, Inc. 76-90 pp.
- Bibliocafé, 1984. *La deuda externa de los países productores de café*. 6(4). México.

- Carvajal, J.F., 1963. La toma de muestras foliares en cafetos para fines de diagnóstico. Turrialba, Costa Rica. *Café* 5(17): 25-32.
- Carvajal, J.F., 1975. Fundamentos de la fertilización del cafeto: relación suelo-planta. Guatemala. ANACAFE. 156: 17-19.
- Carvajal, J.F., 1979. Efecto residual de los fertilizantes/aspectos generales que contribuyen a la productividad por área. Guatemala. ANACAFE. 154: 13-15.
- Casale, H., 1975. El abonado del café. Brasil. *Diario de Sao Paolo*. 7 pp.
- Cooil, B.J., 1954. Leaf composition in relation to growth and yield of coffee in Kona. Hawaii. Kona, Hawaii. *Coffee information Exchange*. Mimiografiado, 15 pp.
- Coste, R., 1980. *El Café*. Ed. Blume. Barcelona. 285 pp.
- Chaverri, G., Bornemisza, S.E. y Chaves, S.F., 1957. Resultados del análisis foliar del cafeto en Costa Rica. San José, Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. Servicio Técnico Interamericano de cooperación Agrícola. STICA. *Información técnica No 3*. 39 pp.
- Diccionario Porrúa, 1970. *Historia, Biografía y Geografía de México*. Tercera edición. Ed Porrúa, S.A. México.
- Duchaufour, P.H., 1965. *Précis de Pédologie*. Ed. Masson. Paris. 481 pp.

- Espinosa, M.F., 1961. El análisis foliar en el diagnóstico del estado nutricional del cafeto. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del café. El Salvador, C.A. *Boletín Informativo* (2): 12 pp.
- Fassbender, H.W., 1978. *Química de suelos*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, San José, Costa Rica. 398 pp.
- Flores, M.A., 1975. *Bromatología Animal*. Ed. Limusa. Segunda edición. México. 23-45 pp.
- Geus, J.G., 1967. Guía de fertilización para cultivos tropicales y subtropicales. Centro de Información y Documentación Agropecuaria. INRA. Wageningen, Zurich. *Serie Agrícolas*. 47 pp.
- Goodhall, D.W., y Gregory, F.G., 1947. Chemical composition of plants as an index of their nutritional status. Imperial Bureau of Horticulture and plantation Crops. East Malling, England. *Technical Comunication*. (17).
- Gutiérrez S.M., 1988. *Estudios edafológicos de suelos cafetaleros con sombra de Citrus sinensis del municipio de Xicotepec de Juárez, Puebla*. Tesis Biología. Fac. de Ciencias, UNAM. Puebla. Tesis Biología. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Haarer, A.E., 1982. *Producción moderna del café*. Ed. Revolucionaria. La Habana, Cuba. Segunda edición.
- Helbig, M.A., 1976. *Chiapas, Geografía de un Estado Mexicano*. Tomo I. Publicación del Gobierno del Estado de Chiapas. Ed. Libros de México, S.A. México.

- Instituto Mexicano del Café, 1974. *El Café Mexicano*. INMECAFE. México. Año I, (4): 23 pp.
- Instituto Mexicano del Café, 1978. *El Café Mexicano*. INMECAFE. México. 132 pp.
- Instituto Mexicano del Café, 1978. *El Café Mexicano*. INMECAFE. México. 8(3): 27 pp.
- Instituto Mexicano del Café, 1980. *El Café y su proceso industrial*. INMECAFE. México. pag. 28.
- Instituto Mexicano del Café, 1985. *La economía del café. Gerencia de regulación comercial, departamento de estudios de mercado*. INMECAFE. México. pag 2-7.
- Jackson, M.L. 1982. *Análisis químico de los suelos*. Ed. Omega, Barcelona España. 662 pp.
- Kitchen, H.B., et. al. 1948. *Diagnostic Techniques for soil and crops*. Publication the American Potash Institute. Washington.
- Lawes, J.B., y Gilbert, J.H., 1895. *The Rothamsted experiments*. Escocia. *Tras. Highland Agric. Soc.* 7: 354 pp.
- Lott, W.L., Nery, J.P., Gallo, J.R., & Medcalf, J.C., 1954. *Leaf analysis technique in coffee research*. Brasil. IBEC Research Institute. Sao Paulo. *Boletín*. 9: 26 pp.
- Lott, W.L., 1956. *La técnica del análisis foliar en los estudios del café por W.L.L. y otros*. IBEC de Costa Rica. *II Panel sobre suelos*

derivados de cenizas volcánicas de América. Pasto. Colombia, S.A. OEA.

- Loué, A., 1955. Diagnostic foliare compare du caféier dan les regions de Daloa et de Bingerville. *Centre de Rech. Agron. de Bingerville.* Côte d'Ivoire. Bull Especial.
- Machado, A., 1956. Los fertilizantes para el cafeto y el diagnóstico foliar. Colombia. Centro Nacional de Investigaciones del café. *Boletín Informativo* 7: 123-136 pp.
- Malagón, D., 1979. *Fundamentos de mineralogía de suelos.* Centro Interamericano de desarrollo integral de aguas y tierras. Mérida, Venezuela. Tomo II. 747 pp.
- Müller, L.E., 1956. Mineral deficiencies in coffee in Costa Rica. San José, Costa Rica. Ministro de Agricultura e Industrias STICA. Unpub. Rept., mimeografiado. 33 pp.
- Müller, L.E., 1959. La aplicación del diagnóstico foliar en el cafeto *Coffea arabica* L. para una mejor fertilización. Turrialba, Costa Rica. 9: 110-122 pp.
- Müllerried, F.K., 1958. *La geología de Chiapas.* Gobierno Constitucional del Estado de Chiapas. México.
- Ortiz, M.O., 1978. Manual de suelos y fertilización del café. Guatemala. ANACAFE 176: 9-19.
- Parra, J. 1957. El análisis químico de las hojas de las plantas y su aplicación en el cultivo de café. *Revista cafetera de Colombia.* Centro Nacional de Inv. de Café. Chinchiná, Colombia. 13(131)

- Ramos, H.S.G., 1979. *Estudios edafológicos de una zona cafetalera del Soconusco, Estado de Chiapas*. Tesis Biología, Facultad de Ciencias UNAM 117 pp.
- Ruíz, B.R., 1977. *Fertilización del cafeto Coffea arabica L. en vivero*, Tesis profesional, Chapingo, México. Dpto. Suelos. 83 pp.
- Sotelo, S.A., 1988. *Estudio de fertilidad de los suelos cafetaleros de una finca del Municipio El Bosque, Chiapas*. Tesis Biología. Fac. de Ciencias, UNAM.
- Tamhane, R.V.; Montiramani, D.P., 1978. *Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales*. Ed. Diana. México. 483 pp.
- Ullman, F., 1935. *Enciclopedia de Química Industrial*. Gustavo Gili. Barcelona. IV, V, VI, X, XI.
- Urhan, M., 1952. *Análisis de hojas; su aplicación en la investigación de la nutrición mineral de las plantas*. Colombia. *Boletín Informativo del Centro Nacional de Investigaciones del Café*. 3(33): 18-26 pp.
- Vivó, E.A., 1953. *Geografía de México*. Tercera edición. Fondo de Cultura Económica. México.