

# Cafeto

## Cultivo y Fertilización

Segunda Edición

**José F. Carvajal**



**Instituto Internacional de la Potasa**  
**Berna / Suiza** **1984**

*Foto de cubierta*

Las nuevas variedades híbridas de café de alta producción requieren elevadas dosis de fertilizantes minerales para desarrollar todo su potencial genético.

# Cafeto – Cultivo y Fertilización

Segunda Edición

**José F. Carvajal**

Fitofisiólogo  
Excatedrático de Fisiología  
Vegetal  
Universidad de Costa Rica  
Costa Rica, América Central

**Editores: Instituto Internacional de la Potasa**  
**P.O. Box 121**  
**CH-3048 Worblaufen-Bern/Suiza**

**1984**

# Contenido

Prólogo de la segunda edición	9
Agradecimiento	11
<b>1. Origen, distribución y ambiente</b>	<b>13</b>
1.1 Ecología	16
1.2 Características del clima	17
1.2.1 Efecto de la luz solar	17
1.2.2 Precipitación e interacciones	21
1.2.3 Absorción de nutrimentos en función de la humedad del suelo	22
1.3 Efecto de la temperatura	25
1.4 Efecto del viento	27
1.5 Características edáficas	27
1.5.1 Origen de los suelos	27
1.5.2 Categorías de fertilidad de los suelos	28
1.5.3 Reacción del suelo	30
1.5.4 Contenido de materia orgánica	31
1.5.5 Propiedades físicas del suelo	31
1.6 Fijación de nitrógeno atmosférico	32
1.6.1 Potencial alelopático de las principales plantas de un cafetal	33
1.6.2 Distribución de la biomasa aérea en los diferentes estratos del cafetal	33
1.7 Factores ecológicos que influyen en el tamaño del fruto	35
1.8 Proyecciones prácticas	35
1.9 Referencias	36
<b>2. Prácticas culturales</b>	<b>41</b>
2.1 Suelos aptos para el cultivo del café	41
2.2 Propagación por semilla	41
2.2.1 Semilleros	42
2.2.2 Uso de herbicidas en almácigos	46
2.2.3 Abonamiento de los viveros	47
2.2.4 Control de enfermedades y fertilización foliar	47
2.2.5 Preparación de plantas de almácigo en bolsas de polietileno	48
2.2.6 Mantenimiento de viveros a plena exposición solar o bajo sombra	50
2.2.7 Tratamiento para prevenir la marchitez del trasplante	50

2.3	Propagación vegetativa: cultivo de estacas, tejidos e injertos	51
2.4	Siembra de plantaciones nuevas	52
2.4.1	Implicaciones fisiológicas en plantaciones con alta densidad de siembra	56
2.4.2	Siembra de variedades de alta producción	56
2.5	Control de malas hierbas	58
2.5.1	Uso de herbicidas	60
2.5.2	Fórmulas básicas para el control de malas hierbas	61
2.5.3	Aspectos económicos	63
2.5.4	Papel de los herbicidas en el cultivo intensivo	64
2.6	Formación y poda de los arbustos	64
2.6.1	Poda en Brasil	68
2.6.2	Poda en Costa Rica	69
2.6.3	Poda en Colombia	70
2.6.4	Poda por calle Beaumont-Fukunaga, B.F. de Hawai	71
2.6.5	Poda en Kenya	71
2.6.6	Recepa en café Robusta	72
2.6.7	Prácticas coadyuvantes	72
2.6.8	Renovación de plantaciones viejas	74
2.6.9	Agobio de ramas ortotrópicas o de la planta entera	74
2.7	Conservación de suelos	75
2.8	Protección contra el viento	75
2.9	Sombra	76
2.9.1	Cultivo de solana y de umbría	76
2.9.2	Interacción sombra-cobertura muerta	80
2.9.3	Sombra y nutrición	81
2.9.4	Sombra permanente y temporal	82
2.9.5	El cultivo de solana y la calidad del café en la taza	83
2.10	Riego	85
2.10.1	Sistemas de riego para cafetales	86
2.11	Floración	87
2.12	Inducción de la maduración de frutos	88
2.13	Recolección de la cosecha	90
2.14	Producción de la caficultura en algunos países	91
2.15	Referencias	92
<b>3.</b>	<b>Cobertura del suelo</b>	<b>99</b>
3.1	Cobertura muerta	99
3.1.1	Residuos vegetales útiles para cobertura	100
3.1.2	Efecto de la cobertura en las características del suelo y en la nutrición del café	103
3.1.3	Cobertura orgánica <i>versus</i> aplicación de estiércol o fertilización inorgánica	105

3.1.4	Aplicación de cobertura muerta como método indirecto de fertilización	105
3.2	Cobertura viva	106
3.3	Cobertura muerta <i>versus</i> plantas de cobertura	107
3.4	Cultivos intercalados	107
3.5	Referencias	108
<b>4.</b>	<b>Enfermedades y plagas</b>	<b>111</b>
4.1	Enfermedades fungosas	111
4.1.1	Antracnosis	111
4.1.2	Chasparria, mancha de hierro o del fruto, cercosporiosis, cercóspora	112
4.1.3	Derrite o «quema»	113
4.1.4	Enfermedad Rosada	113
4.1.5	Herrumbre o roya	114
4.1.6	Llaga macana, mal de machete	115
4.1.7	Llaga negra de la raíz	116
4.1.8	Mal o moho de hilachas, «arañero»	116
4.1.9	Mal del Talluelo	117
4.1.10	Mancha mantecosa	120
4.1.11	Ojo de gallo, «gotera», «maja», «viruela»	120
4.2	Enfermedades virosas	121
4.2.1	Mancha Anular	121
4.3	Enfermedades bacterianas	123
4.3.1	Mancha aureolada	123
4.4	Preparación y aplicación de compuestos para el control fitosanitario	124
4.4.1	Preparación de caldos fungicidas	124
4.4.2	Equipo para aplicación de formulaciones fitosanitarias	124
4.5	Uso de coadyuvantes	125
4.6	Referencias	125
4.7	Nemátodos del café	128
4.7.1	Síntomas	129
4.7.2	Control	130
4.8	Referencias	132
4.9	Plagas de insectos	133
4.10	Combate de plagas del café	135
4.11	Control integrado de las plagas	140
4.12	Referencias	140

<b>5.</b>	<b>Respuesta del cafeto a los fertilizantes</b>	<b>143</b>
5.1	Producción a base de fertilización intensiva	143
5.1.1	Dosis y fórmulas de los fertilizantes	143
5.1.2	Respuesta a NPK por el cafeto	150
5.2	Función de los fertilizantes en la fisiología de las plantas	151
5.2.1	Nitrógeno	151
5.2.2	Fósforo	152
5.2.3	Potasio	152
5.2.4	Magnesio	153
5.2.5	Calcio	153
5.2.6	Azufre	154
5.2.7	Boro	154
5.2.8	Zinc	155
5.2.9	Cobre	155
5.2.10	Hierro	155
5.2.11	Molibdeno	155
5.2.12	Manganeso	156
5.3	Extracción de minerales por la cosecha y por el arbusto	156
5.3.1	Algunas interacciones propias de la nutrición del cafeto	158
5.4	Respuesta a nitrógeno	159
5.4.1	Efecto de la fuente de nitrógeno	161
5.4.2	Uso flexible de las fuentes de nitrógeno	162
5.5	Respuesta a fósforo	163
5.5.1	Efecto de la fuente de fósforo	164
5.6	Respuesta a potasio	165
5.6.1	Efecto de la fuente de potasio	167
5.7	Respuesta a magnesio, calcio y azufre	168
5.8	Método y época de aplicación de los fertilizantes	172
5.8.1	Efecto residual de los fertilizantes	174
5.9	Fertilización y poda <i>versus</i> producción bienal	178
5.10	Abonamiento foliar	179
5.10.1	Nitrógeno	179
5.10.2	Fósforo	180
5.10.3	Potasio	180
5.10.4	Magnesio, calcio y azufre	181
5.10.5	Micronutrientes	181
5.10.6	Corrección de deficiencias de oligoelementos	183
5.11	Suministro de abonos orgánicos	184
5.12	Referencias	187

<b>6.</b>	<b>Fertilización científica del café</b>	<b>195</b>
6.1	Investigación básica	195
6.2	Relaciones nutritivas	196
6.2.1	Absorción anual de nutrientes	196
6.2.2	Absorción neta	196
6.2.3	El cociente de cationes ( $K^+$ ; $Ca^{+2} + Mg^{+2}$ )	200
6.2.4	La relación cationes/aniones	200
6.2.5	Deficiencia de minerales <i>versus</i> absorción de nutrientes	201
6.3	Métodos de diagnóstico del estado de nutrición	201
6.3.1	Análisis de suelo	201
	La muestra de suelo	202
	Interpretación del análisis químico del suelo y de la banda de fertilización	205
6.3.2	Análisis foliar	207
	Objetivos	208
	La muestra de hojas	208
	Tamaño de la muestra	212
	Precauciones	213
	Diagnóstico de disturbios nutricionales complejos	213
	Niveles críticos o de suficiencia de nutrientes en las hojas	213
	Composición química de hojas deficientes en minerales	216
6.3.3	Diagnóstico bioquímico	222
6.3.4	Diagnóstico visual	225
6.3.5	Clave para la identificación de los síntomas de deficiencia	225
6.3.6	Respuesta a la aplicación de nutrientes	231
6.4	Correlaciones entre dosis de fertilizantes, análisis foliar y cosecha	232
6.5	Dosificación racional de los fertilizantes y equilibrio de las fórmulas	235
6.6	Índice de frecuencia de aplicación de nitrógeno	236
6.7	Método científico de fertilización del café	238
6.7.1	Aspectos valederos y limitaciones del análisis foliar aplicado al café	238
6.7.2	Metodología	241
6.7.3	Análisis complementarios	243
6.8	Factores que afectan la nutrición	243
6.9	Logística de la metodología propuesta	243
6.10	Aplicaciones prácticas	244
6.11	Referencias	245

<b>7.</b>	<b>Apéndices</b>	253
7.1	Glosario del café	253
7.2	Pesos y medidas	254

## Prólogo de la Segunda Edición

*Diez años después de la publicación de la primera edición de la obra CAFETO – CULTIVO Y FERTILIZACIÓN, el imperativo de la época señala la necesidad de contar con una segunda edición actualizada, que compendie las contribuciones de la década que recién concluyó y que señale el énfasis y los derroteros de la investigación que se deben impulsar en la que se inicia, en función a las metas del cultivo a nivel mundial.*

*En la presente edición, se destaca, por relevante, la importancia del cultivo intensivo del café para contrarrestar el alto costo de los insumos, de la mano de obra cada vez más escasa y a mayor costo y la fluctuación del precio de venta del café, el cual presenta periodos cíclicos que permiten el cultivo eficiente y, por ende, la explotación de la tierra con criterio de verdadera empresa, mientras que, en otros, el mismo se torna en negocio marginal o deficitario.*

*A pesar de que la tecnología que compila la presente obra pone en evidencia que el cultivo del café salió ya del subdesarrollo, lo cierto es que aún queda un amplio número de pequeños, medianos y grandes caficultores que no han asimilado tal tecnología. De mantenerse esta situación puede aseverarse que la desaparición de los cultivadores de café en forma «extensiva», ocurrirá a muy corto plazo, lo cual provocará, en más de un país, problemas socio-económicos de alcances insospechables. Por otro lado, el avance del uso de la tecnología no debe detenerse por este escollo, el cual puede y debe ser solucionado mediante programas de diversificación agrícola debidamente orientados y por una agresiva transferencia de tecnología.*

*Las innovaciones agrotécnicas puestas en evidencia, ya en uso durante los últimos años por los caficultores de mayor capacidad empresarial, constituyen un impacto a la vez que un contraste con respecto a la caficultura tradicional. Basta con recorrer las interminables planicies de la nueva región cafetalera de Minas Gerais, en Brasil, donde la tecnología moderna ha «reclamado» suelos prácticamente despreciados en el pasado, convertidos hoy en la más promisoría región caficultora del país, donde los cultivos Catuai y Mundo Novo, cubren los campos y los convierten en verdaderas fuentes de riqueza inagotable. Por su lado, en Costa Rica, y en contraste por ser uno de los países más pequeños, el cultivo intensivo del café constituye un verdadero ejemplo para la caficultura mundial, donde en el presente se obtiene la mayor cantidad de café por unidad de superficie.*

*El trabajo de los genetistas, fisiólogos, patólogos, entomólogos, especialistas en suelos, en maquinaria agrícola, etc., han hecho durante los últimos veinticinco años un verdadero despliegue de actividades investigativas en favor de una caficultura cada vez más integral. El ámbito de las contribuciones abarca desde el conocimiento de los fundamentos de la fertilización científica del café, hasta la producción de cultivares con resistencia horizontal a la Roya, enfermedad que, con el correr del tiempo, dejará de ser el fantasma encantado y temido tanto por los experimentados como por los noveles caficultores.*

*Al igual que la primera edición, se espera que la presente sirva de punto de partida para los investigadores que se inician, al tiempo que dé incentivo para los caficultores, al poner en sus manos un compendio de la contribución de centenares de investigadores en*

*una obra sinóptica. Se abriga la esperanza que al poner en práctica al menos las evidencias científicas más importantes y las recomendaciones fundamentales que se transcriben tendientes a llevar al éxito al caficultor progresista, se atrase por largo tiempo, o bien se conjure la ruina de la caficultura mundial, cuyo vaticinio no parece ser ahora una especulación ante la difícil situación por la que atraviesa la caficultura al momento de la conclusión de la presente monografía.*

JOSÉ F. CARVAJAL

San José, Costa Rica  
Octubre, 1984

## Agradecimiento

Se desea dejar testimonio de agradecimiento a los colegas, especialistas, *Carlos A. Soto, Adrián Figueroa y Evaristo Morales*, del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, por la revisión y actualización de la literatura pertinente sobre enfermedades y plagas del café.

La colaboración de la División de Usuarios del *Centro Interamericano de Documentación e Información Agrícola (IICA-CIDIA)*, fue la dependencia que, por mediación de la Biblioteca, hizo posible la revisión bibliográfica, sin cuya ayuda la preparación de esta obra no habría sido posible.

El agradecimiento se hace extensivo al Dr. *Carlos E. Fernández*, Ph. D., Jefe del Programa Cooperativo Regional para la Protección de la Caficultura en México, Centro América y Panamá (*PROMECAFE*), dependencia de la Zona Norte del *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*, así como al Dipl. Ing. agr. *Hans Hobi*, asesor del Programa para Agricultura Tropical y Subtropical de la *Estación Experimental Agrícola Bünthehof*, República Federal de Alemania por la revisión y crítica del texto.

Especial reconocimiento merece la colaboración de mi esposa *Olga Marta*, por su paciente trabajo mecanográfico y por el apoyo moral recibido de ella en todo momento.



# 1. Origen, distribución y ambiente

La literatura menciona varias versiones sobre el origen del uso del café como bebida. Su demanda se extendió lentamente por Europa y después en las Américas. Hasta donde se sabe, se dice que *Próspero Alpino*, fundador del Jardín Botánico de Venecia, fue el primer europeo que mencionó el cafeto en sus escritos de 1592, por haberlo visto cultivado en El Cairo [2]. Los países de mayor consumo *per capita* son Islandia, los Países Escandinavos y Finlandia. Estados Unidos de América es el importador más grande del globo. En cuanto a los países productores, en América Central y del Norte y en el área del Caribe, los principales son Guatemala, El Salvador, Costa Rica, México, Puerto Rico, Haití y Cuba. En América del Sur, Brasil y Colombia. En Africa, Angola, Camerún, Etiopía, Costa de Marfil y Uganda. En Asia y Oceanía, India e Indonesia [14]. Respecto a la distribución del cafeto en el mundo, en los párrafos siguientes se sintetiza la labor de investigación hecha en la década del sesenta [59].

En cuanto a los primeros cultivos, se admite que aún continúa la duda de si fueron iniciados en la propia Etiopía o en Yemén, Arabia, donde el café fue llevado por los árabes a principio del siglo XVII o quizá antes. Fue de este país de donde los holandeses obtuvieron semillas de *Coffea arabica*, introduciéndolo, allá por el año 1690, a Java, donde tuvieron lugar los primeros cultivos extensivos de esta rubiácea. En 1706, fue llevado un arbusto de esta especie al Jardín Botánico de Amsterdam, espécimen que por circunstancias especiales se convirtió en la fuente de origen de millones de cafetos en América Latina, donde se introdujeron semillas, procedentes de Amsterdam, a la Guayana Holandesa, en 1714. El mismo cafeto dio origen a semillas para el Jardín Botánico de París, de donde pocos años después se envió simiente a Martinica que, a su vez, se convirtió en centro de distribución importante para Venezuela, Colombia, toda América Central y varias regiones de las Antillas. Hasta donde se sabe, el café fue llevado de Surinam a Cayena, en 1718, y de aquí a Belém do Pará, en 1727.

Poco después de su introducción a Indonesia, el café pasó a Ceilán, a la India y a otros países asiáticos (Burma, Malaya, Tailandia, Indochina, China, Formosa, Filipinas). En América alcanzó luego México, siendo Paraguay aparentemente el último país en iniciar su cultivo en América del Sur.

El género *Coffea* incluye unas 80 especies. No obstante, únicamente se citan cuatro en cultivo comercial, con marcado énfasis en las dos primeras, según el siguiente orden: *Coffea arabica* L., *C. canephora* Pierre ex-Froehner, *C. liberica* Bull ex Hiern. y *C. dewevrei* de Wild.

La especie *C. arabica* se cultiva en un 85% de los países caficultores, ya sea como especie única o junto a las otras comercialmente importantes. En el Continente Americano, es donde ha tenido mayor difusión. En Asia, esta especie se eliminó en Ceilán por la incidencia del herrumbre (*Hemileia* sp.). Se encuentra, sin embargo, en las partes altas del Sur de la India, donde se cuenta con variedades resistentes a este hongos, así como en Filipinas y en Indonesia.

En cuanto a la especie *C. canephora* (Robusta), el auge de su cultivo se debe exclusivamente al hecho de que es altamente resistente al herrumbre de las hojas. Se le cultivó primero en Java, por los holandeses, en sustitución de *C. arabica*. En el presente se encuentra con carácter exclusivo en el Congo y predomina, asimismo, en Angola, Madagascar, Costa de Marfil, Uganda, Ceilán, Trinidad, Indonesia y Viet-Nam. La especie *C. liberica* es de importancia económica menor que las anteriores. Se cultivó con carácter de especie exclusiva en la Guayana Británica y se difundió, en adición, en diecisiete países más. La especie *C. racemosa* Lour., se limita a Mozambique; *C. stenophylla* G. Don., a Sierra Leona; *C. dewevrei* (var. *excelsa*) y *C. abeokutae* Cramer. principalmente a la Costa de Marfil. Aquí se cuenta ahora con el híbrido interespecífico denominado Arabusta, de alta producción. Se origina del cruce de *C. canephora* con *C. arabica*.

Las regiones del mundo en donde se cultivan las tres especies comercialmente más importantes del género *Coffea* exhiben límites ecológicos distintos. No obstante, en algunas localidades, como en la India, el café Robusta y el Arábica se encuentran en un mismo clima [45]. *C. arabica* se cultiva entre los 21° de latitud Norte y 25° de latitud Sur del ecuador. El área que abarca el cultivo de las especies *C. canephora* o *C. liberica* es mucho más restringida y está limitada por latitudes cercanas al ecuador [72]. Estas dos especies son originarias de las tierras bajas de Africa Central.

En la Figura 1.1 se presenta un mapa de distribución de la caficultura en el ámbito mundial [58], la cual no ha experimentado mayor cambio [76].

Existen en el mundo un número de bancos de germoplasma para efectos de investigación básica. A título de ejemplo, en el Instituto Agronómico de Campinas, Brasil, se cuenta en el presente con casi todos los cultivares de *Coffea arabica* y la colección se ha enriquecido, además, con cultivares de *C. canephora*, *C. congensis*, *C. dewevrei*, *C. liberica*, *C. eugenioides*, *C. kapakata*, *C. stenophylla*, *C. salvatrix*, *C. racemosa*, *C. mauritiana*, *C. brevipes*, *C. bengalensis*, *C. travancorensis* y *C. klainii* [13]. El trabajo de investigación realizado por muchos años en este prestigioso Instituto ha suplido al mundo cafetalero de los mejores cultivares de *C. arabica* que hoy se cultivan comercialmente.

*Coffea arabica* sufre cerca del 70–75% del café que se consume en el mundo, mientras que el resto lo aportan especialmente los cultivares de *C. canephora* dentro del grupo de las otras especies de importancia comercial [28].

*C. arabica* se caracteriza por experimentar un alto grado de autofecundación, vale decir, que cerca del 90% o más de la fertilización de las flores ocurre en la misma flor antes de abrir (antes de la antesis), con polen de la misma flor. No obstante, se han identificado un número de mutaciones naturales como es el caso del Caturra y del Bourbon, el Pacas y otros. Los genetistas han producido hibridaciones, e híbridos naturales también han sido identificados. El Mundo Novo, tan difundido en Brasil y en otros países, es un cruce natural entre «Bourbon» y «Sumatra», mientras que el Catuaí es un cruce hecho entre el «Mundo Novo» y el «Caturra». Un ejemplo similar lo constituyen los Catimores y el híbrido interespecífico Arabusta. Esta característica especial en cuanto al alto grado de autofecundación que experimenta *C. arabica* (tetraploide), no se cumple en *C. canephora* (diploide) o *C. liberica*. En este caso la polinización cruzada es la regla, por lo que no se puede mantener un tipo de planta

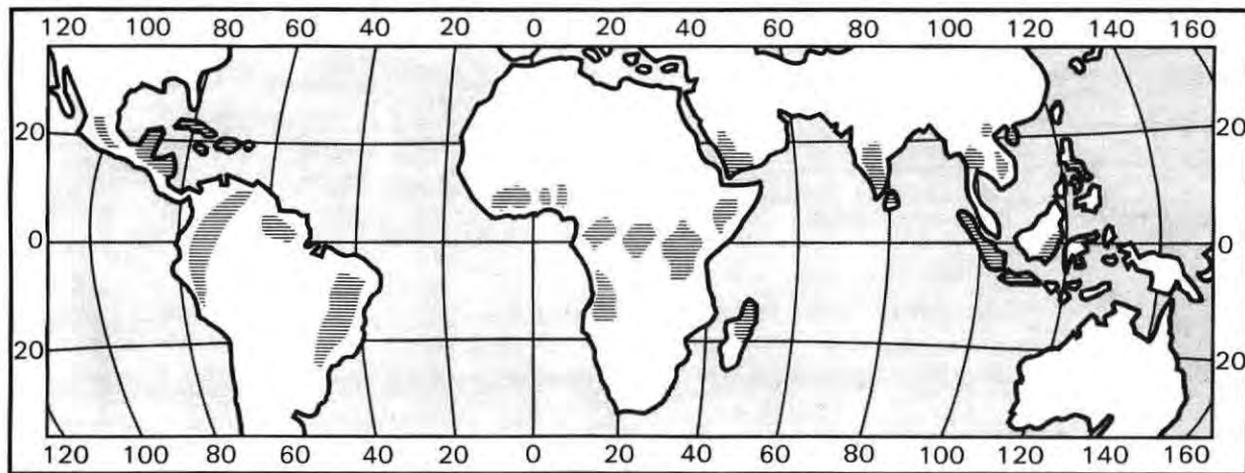


Figura 1.1 Zonas cafetaleras más importantes en el mundo.

estable mediante reproducción sexual, ventaja que si presentan todos los cultivares de *C. arabica*.

## 1.1 Ecología

Según *Fournier*, el agroecosistema cafetalero incluye, como características principales, las siguientes [28]:

### Medio ambiente

Suelo: física, química, relieve, etc.

Clima: luz, temperatura, vientos, humedad, etc.

### Biota

*Organismos productores:* comprende a los organismos autótrofos. Entre otros, los cafetos, los árboles de sombra y las malas hierbas.

*Organismos consumidores:* Comprende a los organismos heterótrofos. Incluye dos categorías: a) macroconsumidores, que derivan su energía de organismos vivos; b) microconsumidores, v.gr., hongos y bacterias responsables de la descomposición de la materia orgánica.

Los organismos macroconsumidores constituyen un grupo compuesto por animales y plantas importantes en cuanto a que contribuyen a incrementar la resistencia ambiental (v.gr., hongos patógenos, nemátodos, insectos, ácaros y algunos animales superiores).

El bosque natural que constituye el ecosistema bajo cuyas condiciones se mantiene el café en el lugar de origen, se varía en mayor o menor grado de acuerdo con la modalidad de cultivo de cada país. Esto señala la necesidad de contar con mayor información básica sobre la fisiología de esta rubiácea, con el propósito de llegar a entender y controlar mejor los factores negativos que afectan su productividad, en especial en lo relativo a la formación de flores, al control hormonal de ciertos mecanismos fisiológicos primarios y a su hábito de producción bienal de frutos [65]. La planta de café más adaptada a una alta productividad, corresponde a un arbusto de fuste bajo, el cual exhibe una disminución en el ángulo de inserción de las ramas, así como en la separación entre pares de ramas y entre los nudos, un aumento del número de flores por verticilo, del tamaño de las hojas y del número de estomas [28]. Estas características que se destacan, hacen de este arbusto, un individuo mejor adaptado al aprovechamiento de la energía solar. *Nunes et al.* [74] sugieren la posibilidad de seleccionar café con alto potencial de producción de materia seca (mayor eficiencia fotosintética).

El agroecosistema de un cafetal no experimenta su máximo potencial biótico en virtud de la incidencia de factores limitantes (resistencia ambiental). En la parte aérea y en el sistema radical de los cafetos influyen factores determinantes de la producción que se identifican como «suministros primarios» (luz, calor, agua, oxígeno,

nutrimentos, etc.); «restricciones externas» (hongos, insectos, contaminantes, nemátodos, bacterias, etc.) y «suministros secundarios» (efectos de la sombra, plaguicidas, herbicidas, sustancias reguladoras del crecimiento, etc.) [28].

## 1.2 Características del clima

En las características del clima influyen los efectos de la luz solar, del viento, de las temperaturas máximas y mínimas, así como el régimen pluviométrico que afecta a cada localidad. En relación a fotosíntesis, crecimiento vegetativo y reproductor, productividad y su regulación por factores climáticos, se recomienda consultar el excelente trabajo de *Maestri y Barros* [65].

### 1.2.1 Efecto de la luz solar

La influencia de la luz solar se manifiesta en los vegetales por el efecto de dos variables: a) duración (fotoperiodo) y b) intensidad (irradiación). De éstas, la que más influencia tiene sobre el comportamiento del género *Coffea* es la intensidad lumínica, objeto de un artículo de revisión [89].

Los estudios pioneros efectuados por *Franco* dieron base para considerar al café como una planta de día corto [30]. Estos resultados fueron corroborados por otros autores [65]. La investigación efectuada recientemente en Kenya, específicamente sobre la respuesta del café *Arábica* a días largos, durante tres años consecutivos, indicaron que los arbustos aparentemente retienen por seis o más meses el estímulo inductivo, pero que posteriormente tienden a comportarse como plantas de día corto [15]. Se observó que los arbustos experimentales, particularmente los que se sometieron a una interrupción de tres horas del período oscuro, iniciaron su floración más lentamente y las ramas se extendieron más rápidamente que en los arbustos que no se sometieron a cambios de fotoperiodo.

Las experiencias efectuadas en Costa Rica demostraron que el café produce más materia seca y fotosíntesis por unidad de área foliar cuando crece en condiciones de solana [8, 17]. En el clima de Tingo María (Perú) se encontró en plantas de vivero que, entre otras variables, el peso seco total de las plantas y, por ende, el de la parte aérea y del sistema radical, resultan mayores cuando las plantas se cultivan bajo un 40% de sombra [4]. La comparación de los datos anteriores con los obtenidos en Colombia y en Brasil, permiten concluir que los resultados que se obtienen al respecto no son consistentes y que es obvio que en experimentos de esta clase la ecología y el método de trabajo que se adopta tienen una influencia marcada en los datos finales [4]. En los dos últimos países citados el mejor comportamiento se observó en plantas cultivadas bajo sombra. Como quiera que las exigencias nutricionales, responsables del crecimiento de las plantas varían según se trate del cultivo al sol o a la sombra, la fertilidad intrínseca del suelo debe ser un factor importante a considerar en cada caso. En relación con la capacidad fotosintética (índice de asimilación neta – IAN) los hallazgos han demostrado que representantes de este género

exhiben una eficiencia relativamente baja, así como en cuanto a intensidad relativa de crecimiento (IRC), en comparación con lo que se observa en otros géneros. Valores de IAN y de IRC han sido obtenidos para diferentes cultivares de *C. arabica* [4]. La producción de cosecha mayor entre cultivares de *C. arabica* con respecto a *Typica*, ha sido correlacionada con la magnitud de los índices de IAN e IRC, como indicadores de las diferencias en producción. Los resultados se consignan en el Cuadro 1.1. Se concluyó que las discrepancias en cuanto a producción que se observaron no podían ser atribuidas a diferencias en IAN, por cuanto los valores habían resultado semejantes para las tres variedades. Investigaciones posteriores efectuadas por Nunes et al. [74] señalaron que este parámetro exhibe diferencias importantes entre especies y variedades. Los estudios mostraron que el efecto de saturación de luz ocurre a aproximadamente  $0.11 \text{ cal./cm}^{-2}/\text{min}^{-1}$  y que la fotosíntesis disminuye al aumentar la temperatura arriba de  $20^{\circ}\text{C}$ . Alvim [4] notó discrepancia con respecto al área foliar, IRC y peso seco total. Las investigaciones realizadas en otras especies han demostrado que el área foliar es probablemente la manifestación del crecimiento que se relaciona más de cerca con la producción de la planta [98]. Si este criterio se aplica a las variedades Bourbon y Caturra, que producen más que la *Typica*, la mayor cosecha efectiva probablemente resulta influida en buena parte en aquéllas por la mayor área foliar que exhiben, lo que se traduce en una capacidad fotosintética absoluta más elevada. El efecto beneficioso de los fertilizantes sobre la producción se debe precisamente a la mayor área foliar que forman los vegetales a sus expensas.

Cuadro 1.1 Capacidad fotosintética de las variedades *Typica*, *Bourbon* y *Caturra*, de 73 a 95 días de edad\* [4]

Variedad	IAN (g/dm <sup>2</sup> / semana)	IRC (g/g/ semana)	Área foliar (dm <sup>2</sup> )	Altura (cm)	Peso seco			
					hojas	tallos	raíces	Total
<i>Typica</i> .....	0.1652	0.2023	0.814	11.8	0.350	0.156	0.101	0.607
<i>Bourbon</i> .....	0.1771	0.2352	0.957	11.6	0.452	0.180	0.113	0.745
<i>Caturra</i> .....	0.1603	0.2233	0.918	9.0	0.428	0.144	0.103	0.676
D.M.S. 5% .....	N.S.	0.0033	0.095	0.7	0.042	0.013	N.S.	0.078

\* Datos obtenidos en la Estación Experimental Agrícola de Tingo María (Perú)

Se ha mencionado que el café produce más materia seca cuando crece en condiciones de solana. Al respecto las investigaciones efectuadas señalan que existe correlación entre el Índice de Área Foliar (IAF = área foliar/área del terreno) y la productividad del café [95]. La investigación tuvo lugar en parcelas con densidades de siembra de 2500, 5000 y 10 000 arbustos/hectárea. Se concluyó que en el cultivar *Caturra* experimental, un IAF = 7.97 podía ser considerado como óptimo, el cual se alcanzó, a los tres años, con una densidad de siembra de 10 000 plantas/hectárea, o a los cuatro años después de la siembra con 5000 plantas/hectárea. Una vez que se alcanza un IAF óptimo se debe tratar de mantener mediante abonamiento racional, rejuvenecimiento de la madera productiva y raleo. En la Figura 1.2 se presenta

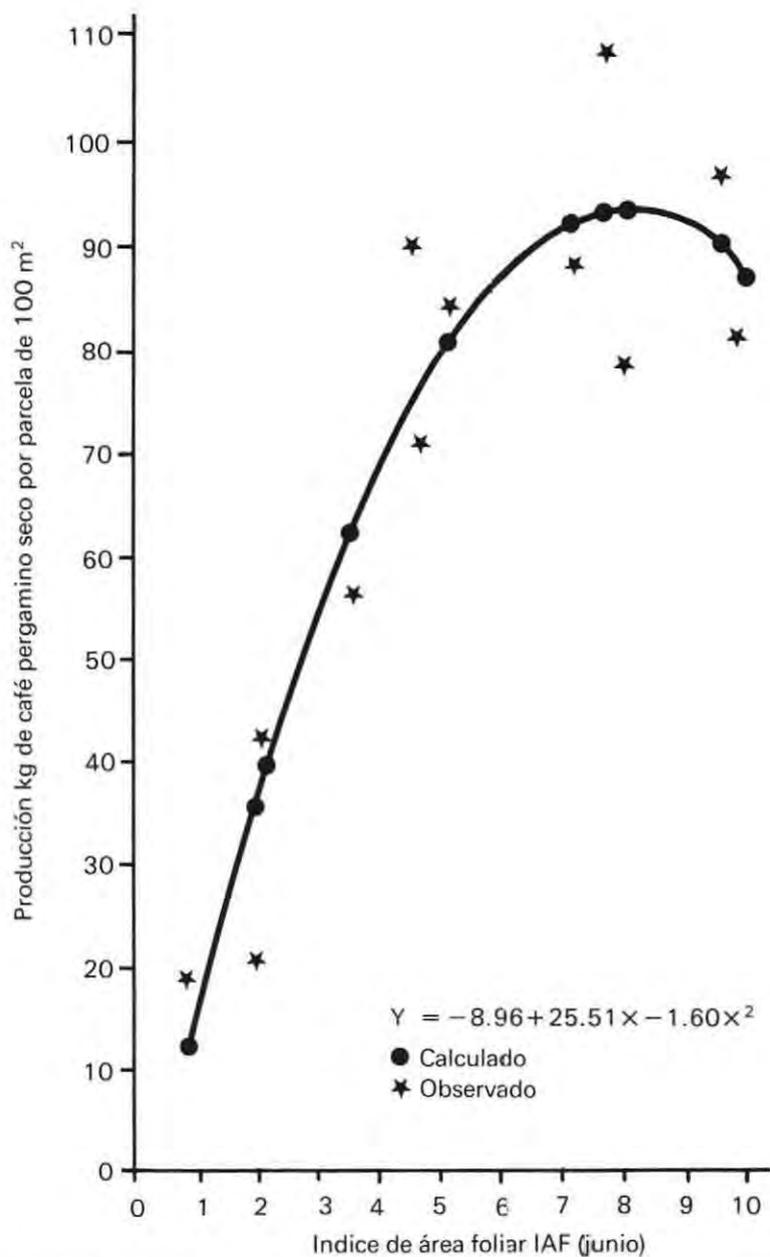


Figura 1.2 Ecuación de regresión de la producción por parcela (Y) sobre el índice de área foliar en junio (X) y valores observados [95].

esquemáticamente la tendencia de la ecuación de regresión que se obtuvo en esta investigación, entre la magnitud del IAF y la producción de café. La influencia de los factores ambientales sobre el crecimiento de las hojas en *C. arabica* ha sido investigada en relación al efecto de la temperatura atmosférica, duración del brillo solar, la humedad relativa de la atmósfera y la precipitación [96].

En Africa se demostró que una hoja de café fotosintetiza mucho menos cuando está expuesta a plena luz solar que bajo luz difusa, de menor intensidad [77]. Se encontró, asimismo, que la actividad fotosintética es más intensa por la mañana y por la tarde que a medio día y de mayor intensidad en los días nublados que en los completamente soleados. En otros estudios se demostró que el hallazgo anterior obedecía al hecho de que durante las horas de intensidad lumínica más fuerte (medio día) ocurría cierre de los estomas [78]. Este hallazgo fue corroborado posteriormente en Costa Rica [5] y en Brasil [29, 64]. Se ha encontrado que por cada grado de aumento de temperatura, arriba de los 24 °C, se favorece un incremento de 20 ppm/cm<sup>2</sup> en la concentración interna de CO<sub>2</sub> [73]. Esta situación se hace acompañar del cierre de los estomas [9].

En cuanto al mecanismo fotosintético, se considera que la planta de café se clasifica como C<sub>3</sub> y que, además, experimenta fotorrespiración [65]. Sin embargo, recientemente se han encontrado algunas evidencias morfológicas que sugieren que el café utiliza un ciclo de fijación fotosintética del CO<sub>2</sub> diferente al de las plantas C<sub>3</sub>, por lo que se ha señalado que puede tener alguna semejanza con el de las plantas C<sub>4</sub> y con las CAM [80].

La actividad de la reacción de Hill ha sido investigada en cloroplastos aislados de yemas florales y hojas del cafeto, en *Coffea arabica* L. var. S. 795. En estas investigaciones se encontró que el contenido total de clorofila es mucho menor en las yemas florales que en las hojas. De la misma manera, la actividad de la reacción de Hill de las yemas florales fue también menor que en las hojas. Se detectó almidón tanto en hojas como en yemas florales [51]. La curva de saturación de luz ha sido investigada en *C. arabica* en función de la fijación de CO<sub>2</sub>. Aparentemente la asimilación de CO<sub>2</sub> aparece como relativamente constante a una intensidad lumínica comprendida entre los alrededores de 800 y 6000 bujías-pie [92]. No obstante, se ha informado que existen diferencias en magnitud respecto a fotosíntesis neta entre especies y variedades de café [74].

Los efectos de la radiación solar y de la edad de las plantas de café, han sido estudiados en relación al contenido de cafeína y nitrógeno en hojas y frutos de tres especies: *Coffea canephora* var. Robusta, *C. excelsa* var. Indeterminada y *C. arabica* var. Mundo Novo [3]. De estos estudios se concluyó que la concentración de cafeína disminuye en las tres especies de acuerdo con la edad de las hojas. El contenido de nitrógeno y cafeína mostró una correlación positiva en las hojas de *C. canephora* y *C. arabica*.

Se ha investigado el balance de los flujos de radiación solar de onda corta (0.3 a 3.0 μm) y fotosintéticamente activa (0.3 a 0.75 μm) en *Coffea arabica*, específicamente en los cultivares Catuai y Borbón Amarillo [53]. Los balances de radiación se investigaron en la parte externa del cultivo y en cuatro niveles en el interior de los arbustos. Se encontró, que el follaje de la variedad Catuai intercepta el 96% de la radiación

solar que incide, lo que señala que solamente un 4% se transmite a la superficie del suelo. En la variedad Borbón Amarillo estos valores resultaron ser de 95 y 5%, respectivamente. En la primera capa del follaje el Catuai intercepta el 88% de las radiaciones, quedando disponible para las capas internas, el 8%. En la variedad Borbón Amarillo se encontraron valores de 93 y 2%, respectivamente. Los coeficientes de extinción para la radiación fotosintética activa fueron de 0.49 y 0.42, para Catuai y Borbón Amarillo, respectivamente.

Los resultados que se transcriben en los párrafos anteriores no debe tomarlos el profano en el sentido de que la mejor irradiación para el cafeto debe estar muy por debajo de la intensidad lumínica a plena exposición, lo que apuntaría, con énfasis, en el cultivo de umbría. Debe entenderse que el follaje de un arbusto cualquiera constituye a menudo toda una trama de hojas cuya intensidad lumínica que reciben, individualmente, difiere entre sí, y que mientras las hojas de la periferia pueden en un momento dado estar recibiendo mucha luz, en cuyo caso el CO<sub>2</sub> es el factor limitante del proceso fotosintético, en hojas vecinas internas quizá la velocidad de la fotosíntesis puede estar siendo limitada por una intensidad lumínica baja.

## 1.2.2 Precipitación e interacciones

El cafeto se cultiva en una variedad de condiciones ecológicas en altitudes desde unos pocos metros sobre el nivel del mar hasta aproximadamente 2000 m (Yemen y Ecuador), en los más diversos tipos de suelo y clima [59]. Una de las áreas más secas donde se cultiva es en Yemen [90]. Lo opuesto a esta condición, lo constituyen aquellas regiones afectadas por regímenes de lluvia de 5000 mm o más. Se sabe por experiencia que una lluvia excesiva conduce a correlaciones negativas respecto a la cosecha [70]. Precipitaciones arriba de 3000 mm deben considerarse como no apropiadas para el cultivo económico del cafeto [72].

Al valorar el óptimo de precipitación efectiva deben tomarse en cuenta algunas variables importantes [91]: a) precipitación anual media; b) distribución de la precipitación durante el año (número de meses secos); c) desviación de la precipitación anual de la media (promedio años secos o húmedos); d) condiciones del suelo (características físicas).

En Kenya (Ruiru) la utilización anual de agua es de 836 mm a 0.57 E<sub>0</sub> (E<sub>0</sub> = evapotranspiración), sin irrigación, y de 1.067 mm a 0.69 E<sub>0</sub> con riego. Esta es una de las razones del por qué del espaciamiento tan amplio a que normalmente se ha sembrado el café en esta región (2.70 × 2.70 m ó 3 × 3 m) [20]. Esta condición ayuda a que las raíces cuenten con un volumen de suelo mayor para obtener el agua necesaria. Con espaciamientos reducidos y en condiciones en que la cobertura del suelo es completa, el potencial anual de uso de agua se considera que debe elevarse a los alrededores de 0.8 E<sub>0</sub> ó 1220 mm, para la localidad de Ruiru, a título de ejemplo.

El consenso de varios autores, en relación con el presente tema, indica que una precipitación anual entre 1600 y 1800 mm es ideal para *C. arabica* [18, 45, 50, 90, 99], y que el mínimo absoluto para esta especie es cerca de 1000 mm [48, 50, 57]. Existe poca información respecto a la precipitación óptima para las otras dos especies

comercialmente importantes. No obstante, los datos de evapotranspiración de las regiones en que se cultivan han dado base para sugerir un mínimo de precipitación de cuando menos 1500 mm [48]; la precipitación óptima se estima en cerca de 2000 mm [48]. La información que proviene de Indonesia indica que para café Robusta la precipitación óptima debe ser un poco más alta, o sea entre 2000 y 2600 mm, distribuidos en cerca de 135 a 140 días con lluvia durante el año [19].

Existe una correlación entre la lluvia del año anterior y la cosecha de café del año siguiente. Esta información proviene de Hawái, en donde se ha encontrado una correlación positiva con la precipitación registrada entre los meses de febrero a junio, debido probablemente al mayor crecimiento que se induce durante esta época [21]. Otro ejemplo de interacción está dado por los estudios realizados en El Salvador, en donde se demostró la existencia de una relación entre la precipitación que cae durante los primeros tres meses del año y la producción de cosecha del mismo año [87]. Este hallazgo pone énfasis en la necesidad de la aplicación de suplementos de agua.

Se ha informado que la humedad del aire aparece como menos importante, aun cuando un promedio de humedad relativa de 70 a 95% haya sido recomendado para *C. arabica* [1, 72]. Para las especies *C. canephora* y *C. liberica*, una humedad relativa constante de 80 a 90% se ha mencionado como adecuada [72]. No obstante, no debe olvidarse que humedades relativas altas conducen siempre a una mayor incidencia de enfermedades fungosas.

### 1.2.3 Absorción de nutrimentos en función de la humedad del suelo

La mayor parte de los nutrimentos que la planta requiere para satisfacer las exigencias del crecimiento y de la ontogenia, procede del contenido presente en la parte superior del suelo [20]. Si ésta llega a perder mucha agua, a pesar de que algo obtiene la planta de los estratos inferiores, el arbusto sufre de una deficiencia de minerales, ya que no se induce una corriente transpiratoria que atraiga los nutrimentos a la superficie de las raíces y en consecuencia su velocidad de difusión es muy baja en un suelo seco. Esta situación es menos detrimental para los nutrimentos más móviles, como en el caso del nitrógeno, pero sería importante para otros elementos entre los que se citan potasio, fósforo y boro.

La disponibilidad de nutrimentos y de agua está regida por las propiedades físicas del suelo (textura, estructura, porosidad, espesor y pendiente). Las características químicas de hecho juegan también un papel importante [60].

#### *Disponibilidad de agua*

Estudios realizados con cafetos cultivados en invernadero en tres suelos distintos (andosol, latosol y aluvial), sometidos a diversos contenidos de humedad, permitieron medir simultáneamente el ritmo de difusión del oxígeno (RDO) en las inmedia-

ciones del sistema radical y las fluctuaciones de la succión de la humedad del suelo y de la temperatura [40]. El contenido de humedad afectó el ritmo de difusión del oxígeno. La influencia de este factor se atribuyó a la clase de textura del suelo, a la retención del agua y a la fisiología de las raíces del cafeto. En esta planta, el ámbito crítico de valores de ritmo de difusión de oxígeno, entre  $20-40 \times 10^{-8}$  g/cm<sup>2</sup>/minuto, correspondió a la región de succión de humedad del suelo entre 10 y 75 centibares. Al comparar estos resultados con los que se obtuvieron en cacao, se concluyó que éste es más sensible que el café al efecto de humedad excesiva en el suelo y a la difusión lenta de oxígeno.

La interacción precipitación *versus* consumo de agua ha sido un tema abordado en Brasil. En estos estudios se ha comparado la pérdida de agua por transpiración con el promedio de la precipitación. Los datos obtenidos dieron base para concluir que en el lugar experimental (Campinas) de octubre a marzo la precipitación excede al consumo de agua. En abril, junio y setiembre el exceso es pequeño y en los meses de mayo, julio y agosto la cantidad de agua transpirada excede al promedio de precipitación [32]. Los estudios tuvieron lugar en arbustos de dos a tres años de edad de la variedad Bourbon, cultivados en macetas, a plena exposición solar. Los autores encontraron una máxima intensidad de transpiración diurna de 17.6 mg/dm<sup>2</sup>/minuto, durante 12 horas. El promedio hallado de transpiración fue de 6.29 g/dm<sup>2</sup>/día y la cantidad total de agua transpirada por una planta de café, durante un año de 7270 litros. En un trabajo hecho en Africa, se había encontrado un valor de transpiración máxima de 20.67 mg/dm<sup>2</sup>/minuto, también para las horas de sol [79]. En otro estudio se determinó, además, que un cafeto a la sombra, recibiendo 55% de iluminación, transpira un 80% en comparación con la magnitud que se registra a un 100% de iluminación [31]. Este dato se tomó en cuenta en otra investigación en la que se comparó la pérdida de agua al estado de vapor por cafetos bajo sombra y por los árboles que la producían (*Inga edulis*) [35]. De esta investigación se concluyó que de abril a setiembre (en las condiciones de Campinas, Brasil) la cantidad de agua transpirada excedía la precipitación promedio. Algunos de los datos que se obtuvieron en la investigación en referencia tuvieron que ver con la velocidad de transpiración máxima que experimentó durante el día *Inga edulis*, esto es, de 36.7 mg/dm<sup>2</sup>/minuto. La transpiración diaria promedio que se encontró tuvo una magnitud de 9.90 g/dm<sup>2</sup>/día. Los datos permitieron concluir que la cantidad total de agua transpirada por los árboles de Inga era de 71 140 litros/planta/año. Estudios de correlación entre disponibilidad de agua y sombreado han sido efectuados por Franco, en Brasil y en América Central [33, 34].

La disponibilidad de agua está en íntima relación con ciertos procesos fisiológicos primarios, como la fotosíntesis y la transpiración. Un inadecuado suministro de agua también incide en procesos como respiración, apertura de estomas, floración y tamaño de los frutos [75]. Se sabe que un déficit hídrico afecta más severamente al mecanismo de la fotosíntesis que al de la transpiración. En la Figura 1.3 se presentan algunos datos obtenidos respecto a los efectos de las relaciones hídricas del cafeto en algunos parámetros propios de la fisiología de la planta [75]. Se infiere que en los programas de mejoramiento genético debe ponerse énfasis en la selección de linajes con relaciones de baja magnitud entre transpiración y fotosíntesis (T/F).

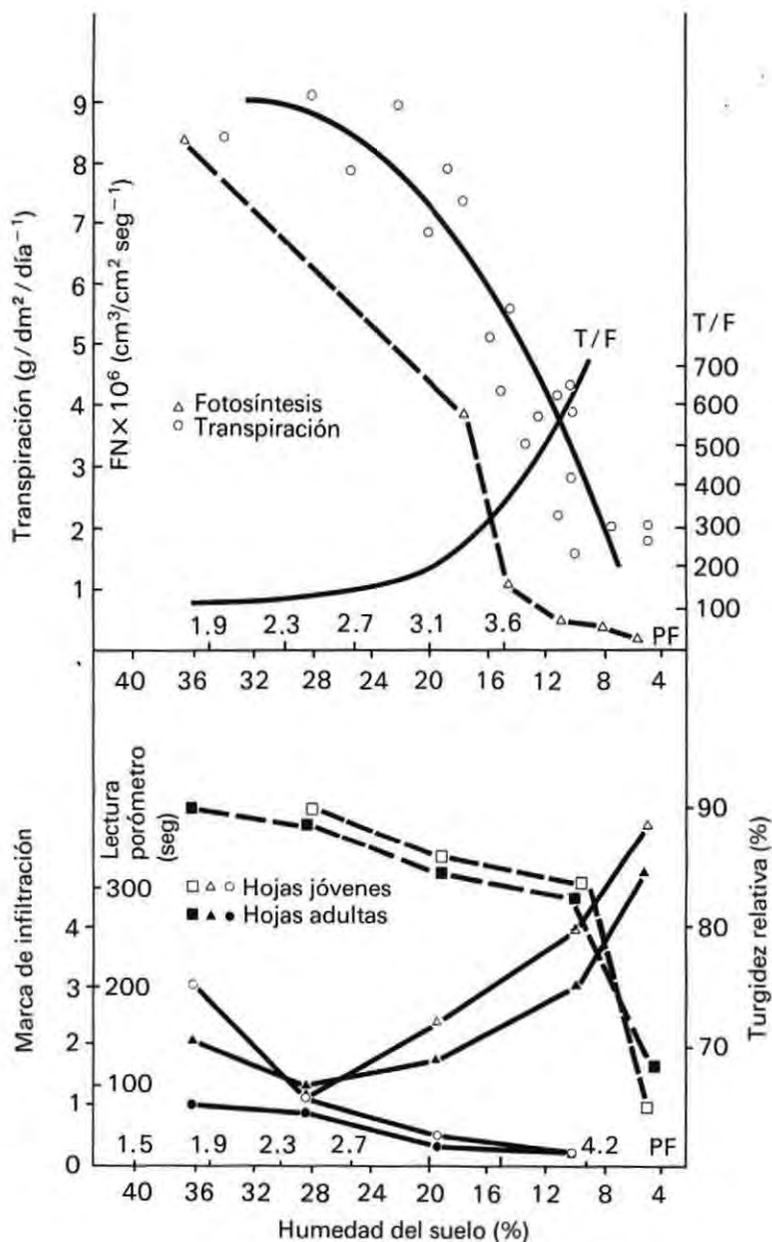


Figura 1.3 Efecto de la falta de agua en la transpiración (T), fotosíntesis neta (FN), cociente transpiración/fotosíntesis (T/F), turgidez relativa (□) y apertura de estomas en el café. La humedad del suelo se presenta en % del peso seco del suelo y tensión (PF) [75].

El balance hídrico en cafetales, con y sin sombra, ha sido objeto de estudio en época reciente [56] y se puso en evidencia que las plantas bajo sombra disminuyen la pérdida de agua por evapotranspiración, en tanto que los valores máximos se registran en el cultivo de solana. La distribución de las lluvias tiene que ver, asimismo, con la deficiencia estacional de algunos nutrimentos, v. gr., de boro [81] y fósforo [7] durante la estación seca y, hasta cierto punto, de nitrógeno y potasio (por el lavado de este último a partir de las hojas) durante la época de lluvias fuertes y prolongadas. Asimismo, existe evidencia que cuando ocurre escasez de agua la deficiencia de nitrógeno usualmente acompaña a la de fósforo [91].

### 1.3 Efecto de la temperatura

En la mayoría de las regiones caficultoras del mundo la fluctuación estacional de la temperatura no constituye problema, excepción hecha de algunas áreas en Brasil en donde ocurren heladas causadas por temperaturas bajo el punto de congelamiento o ligeramente superiores, siempre que persistan por un tiempo mayor que un mínimo crítico [36, 38]. Temperaturas cerca de 0 °C no son detrimentales para el café si se mantienen por corto tiempo. Cabe añadir, que en el presente, debido a la nueva zonificación que en Brasil han aplicado al cultivo del café, el peligro de las heladas ha disminuido considerablemente, dado que el cultivo se ha extendido mucho en el Estado de Minas Gerais, donde sólo esporádicamente puede ocurrir peligro por bajas temperaturas. El porcentaje de la caficultura que aún queda en las regiones que tradicionalmente han sido afectadas por las heladas (Estados de Paraná, y São Paulo), es cada vez menor.

Al igual que en otras especies, el café necesita crecer bajo un régimen de termoperiodo que beneficie el crecimiento vegetativo y el sistema radical [37]. La iniciación de las yemas florales, así como el crecimiento, parecen favorecerse más por temperaturas altas que bajas [69]. En estudios efectuados en condiciones controladas, en donde se probaron efectos de varias temperaturas altas y bajas, las plantas mantenidas a 23 °C durante el día y 17 °C durante la noche fueron por lo general más vigorosas. A temperaturas más altas (30 °C diurna y 24 °C nocturna) se observó un desarrollo floral deficiente y gran incidencia de flores estrella, subdesarrolladas [69].

Cuando se valoran los requisitos de temperatura y humedad por el café, se nota que la zona óptima para producir café (*C. arabica*) está comprendida en la formación «Bosque Húmedo de la Franja Sub-tropical» [50]. El cultivo económico dentro de la formación «Bosque Seco de la Franja Sub-tropical» puede hacerse solamente con suplemento de agua. En la formación «Bosque muy Húmedo» se obtienen cultivos satisfactorios únicamente cuando se planta en suelos de alta fertilidad y buen drenaje.

En cuanto a *C. canephora*, según criterio externado, la altura óptima está a menos de 800 m [19]. Altitudes de 400–600 m resultan especialmente adecuadas para el cul-

tivo del café Robusta en Java, que corresponden a regiones cuya temperatura oscila sobre los 24 °C. Se ha advertido que zonas de temperaturas menores o más húmedas acarrearán problemas fitosanitarios y dificultades de avenamiento. Por otra parte, las zonas más secas retardan el crecimiento y rinden producciones más bajas, excepto si se dispone de agua de irrigación [50].

Los requerimientos de temperatura para *C. canephora* y *C. liberica* son más altos que para *C. arabica*, ya sea un ámbito de temperatura media anual de 18–27 °C [79] o de 27–30 °C [48]. No obstante, en la India se encuentran cafetos de Robusta y Arábica cultivados en la misma región [45]. *C. arabica* es típico de tierras altas y se cultiva, salvo excepciones, en regiones con una temperatura media anual entre 17 °C y 23 °C, que puede considerarse óptima para esta especie [72]. Algunos autores dan un ámbito de temperatura más estrecho, ya sea 18.3 °C a 21.1 °C [44], o aún más amplio, de 13 °C a 27 °C [94].

Al valorar el efecto de la temperatura para juzgar si una localidad es adaptable o no al cultivo deben considerarse las temperaturas medias de los meses más cálidos y más fríos, las temperaturas mínimas absolutas y el termoperiodo diario [72]. Como temperatura media del mes más cálido se dan valores de 23 °C [46] y 27 °C [57]. Se estima que temperaturas arriba de este límite aceleran el crecimiento vegetativo, así como floración y fructificación limitadas [46]. Si la temperatura promedio del mes más frío es <16 °C [94] o de 13 °C [44, 57], el crecimiento cesa y el arbusto alcanza poco tamaño. Temperaturas altas del suelo son también perjudiciales al cultivo del café [37].

En Brasil se investigó el régimen térmico del aire en el interior de una plantación de café cultivado a pleno sol [25]. Se encontró que la temperatura del aire aumenta durante la noche de acuerdo con la altura sobre el nivel del suelo y disminuye en horas del día. La inversión de los gradientes ocurrió de las 8:00 a las 11:00 horas y de las 16:00 a las 18:00 horas. Se puso en evidencia, asimismo, que la temperatura media diaria varía de acuerdo con la altura, presentando un gradiente negativo de 0.4 °C/metro abajo del 60% de la altura de la planta y, por encima de este nivel, un gradiente positivo de 0.5 °C/metro. La temperatura máxima diaria del aire disminuyó en el cafetal en relación a la altura sobre el suelo, mientras que la mínima diaria aumentó. La temperatura del aire en el interior de una plantación de café, se ha estudiado, asimismo, respecto a su correlación con la que se mide en un punto meteorológico convencional [25].

En Colombia se ha estudiado la temperatura en hojas, ramas y frutos de café. Se encontró que durante el día la temperatura es superior, e inferior durante la noche, con respecto a la del aire circundante [43]. Se observó que en algunas ocasiones la temperatura de las ramas y de los frutos se eleva por encima de la temperatura de las hojas. En condiciones de sombra la temperatura de las hojas resultó similar a la del aire, hasta las 2 de la tarde. Posteriormente las hojas empezaron a enfriarse hasta alcanzar valores de 1.2 °C menor que el aire. La temperatura de las hojas subió hasta 31.5 °C como promedio máximo, mientras que en el aire se registró un máximo de 28.5 °C. En casos excepcionales la temperatura de las hojas fue hasta 10.2 °C superior a la del aire. La diferencia entre la temperatura de una hoja sombreada con respecto a la de una expuesta al sol fue de 10 °C, lo que corrobora que las hojas som-

breadas se comportan en forma muy similar al aire. Los valores promedio durante el día fueron de 3 °C a 5 °C más altos y de 1 °C a 2 °C inferiores durante la noche, con respecto al aire circundante. La temperatura, a su vez, afecta el mecanismo de apertura y cierre de los estomas [9]. Nunez *et al.* [73] encontraron que a temperaturas mayores de 24 °C el café empieza a experimentar una disminución de su actividad fotosintética. Se ha sugerido que aparentemente el termoperíodo puede sustituir el efecto del fotoperíodo en la floración del café [15].

## 1.4 Efecto del viento

Entre los elementos que afectan al clima cabe destacar la incidencia del viento. Este factor, negativo desde todo punto de vista, es detrimental por su efecto desecante y por los daños que produce en los propios cafetos y en los árboles de sombra. El perfil del viento en cafetales cultivados a plena exposición solar, ha sido investigado en Colombia [52]. El relieve del suelo también ejerce influencia sobre las características del viento [63]. El viento rompe las hojas, daña los brotes tiernos e inclusive las yemas florales. Los daños a menudo sirven de puerta de entrada para organismos patógenos [60]. En plantas jóvenes el daño que provoca el excesivo movimiento de la parte aérea produce lesiones en la base del tronco. A menudo se forma una callosidad en esta región. Las plantas así afectadas por lo general exhiben un sistema radical deficiente.

## 1.5 Características edáficas

Las características edáficas comprenden un número de variables muy importantes, habida cuenta que en suma conforman la calidad del anclaje de los cafetos en cada localidad. Algunas de las inserciones que constan en los capítulos II, III y V complementan el presente acápite.

### 1.5.1 Origen de los suelos

Los suelos dedicados al cultivo del café son de muy variado origen en el mundo. Algunos son derivados de cenizas volcánicas (Inceptisoles), a menudo laterizados, como ocurren en América Central, México, Java, Colombia, Hawai, Camerún y Malaya [41, 54, 58, 62, 85]. Estos suelos y los de origen aluvial, presentan condiciones excelentes para el cultivo del café pero no son de muy amplia distribución. En Brasil los tipos principales pertenecen a los Oxisoles y se denominaron en un principio Massapé-Salmourão, Terra roxa y Arenito. Tuvieron origen de la meteorización de rocas de complejo cristalino, como gneis, granito, micáceos y basaltos [71]. En los países comprendidos en la Zona Andina los suelos son típicos: arcillosos pesados, a menudo pedregosos. La mayoría de los suelos de la India son derivados de rocas gneis y de granito y los suelos resultantes son del tipo Latosol Tropical rojo y café [58]. Un origen similar exhiben los suelos del Oeste de África, mientras que en la parte Oriental se desarrollaron a partir de rocas masivas de lava, como también se

observan en Kivu y Hawai. Otros suelos se formaron de conglomerados o de rocas sedimentarias silíceas o calcáreas [86, 99]. En Kenya los suelos tienen varios orígenes, rocas traquíticas, rocas piroclásticas traquíticas, basaltos, aglomerados, sodas fonolita y gneises hornbléndicos biotíticos fonolíticos [67]. Los más productivos pertenecen al grupo de los Latosoles arcillosos [41]. Los suelos derivados de arenas terciarias, esquistos y granitos, son comunes en la Costa de Marfil [58, 97]. La mayoría de las plantaciones de café Robusta en El Congo están ubicadas en suelos lateríticos amarillos rojizos, arenosos, ácidos y pobres en nutrimentos. Algo semejante ocurre en Brasil con la incorporación de los suelos de «cerrado» a la caficultura.

La calidad del material que da origen al suelo persiste en la fertilidad intrínseca del mismo. A título de ejemplo, los suelos derivados de granito y granito-gneis, son deficientes en fósforo. En la Costa de Marfil los suelos formados de arenas terciarias son en general muy pobres y la suma de las bases de intercambio ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$ ) es inferior a 2 me/100 g de suelo. Aquí la deficiencia de potasio y magnesio es muy notoria, además de la de nitrógeno y el tenor promedio de fósforo es de 0.6% [97]. En la región cuyo origen del suelo fue granito los suelos aparecen más arcillosos, la cantidad de fósforo total es débil (de 0.3 a 0.4%). El contenido de bases de intercambio es superior a 6 me/100 g de suelo, el tenor de potasio, sin embargo, deficiente (0.10–0.15 me/100 g de suelo). En Ruanda se ha observado que los suelos que tienen un potencial de producción poco elevado (granitos) son los que mejor responden a la fertilización mineral, mientras que los de potencial alto responden menos (esquistos). No obstante, las producciones más altas se obtienen en los suelos derivados de esquistos y micaesquistos, luego en los de granito y finalmente en los cuarzosos [23].

En Costa Rica los suelos derivados de cenizas volcánicas y los aluviales, son en general los mejores para el cultivo del cafeto. Son suelos profundos de excelentes condiciones físicas y altos en bases de intercambio. En México, los suelos cafetaleros que han sido estudiados, aunque de origen volcánico en un 90%, la saturación de bases, el nitrógeno total y la capacidad de intercambio son comúnmente altos. En estos estudios se han encontrado algunas correlaciones: la CICT muestra correlación significativa con la materia orgánica, así como los agregados finos (limo + arcilla) y el contenido de  $\text{Al}^{+3}$  cambiante [83]. El porcentaje de saturación de bases y la reacción del suelo (pH) dependen principalmente del contenido de calcio y aluminio. Algunas propiedades del suelo, como el contenido de materia orgánica, de los cationes nutrientes mayoritarios ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$ ), el contenido de nitrógeno, acidez, aluminio, saturación de bases y la CICT resultaron afectadas por factores climáticos y por la topografía.

### 1.5.2 Categorías de fertilidad de los suelos

En Costa Rica, los ensayos con plantas indicadoras han señalado la existencia de tres categorías de fertilidad de suelo bien definidas, concepto que, con pocas excepciones, podría generalizarse como aplicable a la mayor parte de los cultivos de plan-

tas económicamente importantes [39]. La hipótesis tiene fundamento en la sumatoria de los cationes nutrientes mayoritarios, según se destaca en el Cuadro 6.3. La fertilidad de los suelos donde se produce una alta o baja producción de café fue estudiada inicialmente en Kenya [66]. Se encontró que todas las propiedades químicas (excepto Hp) resultaban más bajas en los suelos de baja producción (Cuadro 1.2).

Cuadro 1.2 Propiedades químicas de suelos cafetaleros de alta y baja fertilidad [66]

Propiedades químicas	Suelo	
	Alta fertilidad	Baja fertilidad
pH	6.5	5.7
K <sup>+</sup> me/100 g	1.9	0.8
Ca <sup>+2</sup> me/100 g	7.1	1.3
Mg <sup>+2</sup> me/100 g	4.1	1.1
Na <sup>+</sup> me/100 g	0.6	0.4
Mn <sup>+2</sup> me/100 g	1.5	0.7
P ppm	20.0	4.0
Ca/Mg (cociente)	1.7	1.2
Ca/K (cociente)	3.7	1.6
Mg/K (cociente)	2.2	1.4

La fertilidad de los suelos cafetaleros se valora mediante los niveles críticos de los elementos en el suelo, pero fundamentalmente por los equilibrios  $\frac{Ca + Mg}{K}$ , Mg/K; Ca/Mg; Ca/K; K/S y K/T. Estos parámetros han sido investigados en Kenya [67, 68], en la República Centroafricana [27], en Costa Rica y en Brasil [11, 60] para las especies *C. arabica* y *C. canephora* (Robusta). Llama la atención la correspondencia de los niveles de suficiencia que han sido encontrados en lugares tan distantes como la República Centroafricana y Costa Rica. En el Cuadro 6.4 se citan los valores encontrados para algunos de estos equilibrios. Se ha llamado la atención en el sentido de que el «potasio disponible» depende de la fracción correspondiente al «potasio intercambiable» y del contenido de arcilla, por lo que se ha sugerido la relación  $K_2O$ /arcilla para interpretar los datos analíticos [27]. Se ha observado que no existe una buena correlación entre el dato correspondiente a potasio intercambiable y la absorción respectiva por las plantas, y que la naturaleza de la arcilla y el porcentaje de potasio dentro del contenido total de cationes ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^+$ ) es muy importante. Se aconseja evaluar el *status* del potasio referido a la fracción limo + arcilla. En cuanto al magnesio, en Colombia se considera que cuando los suelos volcánicos tienen cantidades menores de 1.0 me/100 g de suelo, existe deficiencia [62]. Sin embargo, también se ha observado en suelos de alto contenido ( $\cong 5$  ó más miliequivalentes) asociada con deficiencia de nitrógeno. El síntoma desaparece

cuando el nitrógeno deja de ser limitante. En cuanto al fósforo, en Kenya se considera que un contenido de  $>30$  ppm debe ser interpretado como alto (medio, entre 15 y 30 y bajo  $<15$  ppm). En Colombia se estima que los suelos que contienen  $<25$  ppm (extraído con  $H_2SO_4$  0.08N) responden a fósforo [62].

### *Minerales de arcilla versus fertilidad*

Los minerales de arcilla han sido estudiados en algunos países caficultores, como Kenya [67], Costa Rica [10, 61] y México [83]. A menudo los suelos están constituidos por materiales amorfos o por mezclas de materiales cristalinos y amorfos. Los materiales cristalinos son principalmente caolinita/ haloisita con cantidades menores de asociaciones de vermiculita, illita y montmorillonita. Gibsita y goetita también se encuentran presentes en algunos suelos [61, 67]. Los suelos en donde predomina caolinita/haloisita muestran una capacidad mayor de fijación de fósforo que cuando estos minerales se encuentran dentro del grupo de los secundarios (suelos de morfología cristalina). En los suelos que fijan menos fósforo es posible predecir la ocurrencia de un efecto residual proveniente de la fertilización. La clase de mineral de arcilla tiene que ver también con la fijación y aprovechamiento del potasio. Cuando el contenido de illita forma parte de los materiales dominantes se favorece la nutrición potásica, según el grado de alteración o contenido del elemento.

### **1.5.3 Reacción del suelo**

En relación a la acidez del suelo, se ha señalado que el café prefiere una reacción ligeramente ácida, o sea, un pH 6–6.5, pero que se pueden obtener excelentes cosechas en suelos más ácidos, siempre y cuando las propiedades físicas sean satisfactorias [41]. Sin embargo, se sabe que en la mayoría de los casos un pH bajo indica un contenido pobre de nutrientes minerales. Dependiendo del efecto residual de los fertilizantes, por lo general la reacción del suelo vira hacia el lado ácido y un pH de 4 es muy común en la banda de fertilización del café. En determinadas circunstancias inclusive un pH 3.1 no ha mostrado efecto desfavorable [24]. En estudios sobre el efecto del pH en el crecimiento del café se ha demostrado que a pH 6.5 el crecimiento es superior dentro de un ámbito 4–7.5 [12]. En condiciones naturales el sistema radical no está confinado y las raíces exploran volúmenes de suelo de distintos grados de acidez. La experiencia obtenida en el campo, mediante los intentos que se han hecho por aumentar la producción por la adición de calcio, han resultado algunas veces infructuosos y la conclusión a que se ha llegado es que la acción acidificante de los abonos minerales no anula el beneficio que se obtiene con su adición [24] y que el café crece y se desarrolla mejor en suelos ácidos [82]. La gran adaptabilidad del café a la reacción del suelo se pone de manifiesto por el hecho de que también es cultivado con éxito en suelos alcalinos con un pH hasta 8 ó aún mayor [26]. Sin embargo, en Kenya se da mucha importancia al mantenimiento de la acidez de la banda dentro de un ámbito de pH = 6–6.5, por lo que sugieren un uso más flexible de las fuentes nitrogenadas [68], nitrato de amonio o nitrato de calcio en vez de sulfato de amonio o urea, o viceversa.

### 1.5.4 Contenido de materia orgánica

El tenor del nitrógeno está regido en los suelos principalmente por el factor clima [62]. El contenido de materia orgánica de los suelos disminuye a medida que aumenta la temperatura media anual. De la misma manera, la disminución de la precipitación media anual contribuye a bajar el contenido de materia orgánica. La productividad primaria neta de un ecosistema es el producto de la estabilidad dinámica y se fundamenta en el suministro continuo de la hojarasca, con lo cual se produce un reciclaje de nutrientes. Estudios de esta clase han sido realizados en México, con el propósito de cuantificar el aporte de la materia orgánica como factor ecológico, para compararlo con la dinámica de un ecosistema forestal [55]. Estos trabajos han puesto en evidencia que bajo la influencia de la sombra no se observan diferencias significativas con respecto al bosque caducifolio. Sin embargo, las discrepancias se tornan importantes cuando se incluye la variable del cultivo a pleno sol. En Brasil se considera que un suelo ideal debe contener alrededor de un 5% de materia orgánica [60].

### 1.5.5 Propiedades físicas del suelo

Desde el punto de vista físico, los suelos para café deben ser profundos, permeables, friables y de buena textura. La aeración del suelo es fundamental para el cultivo con éxito. El suelo de Brasil, denominado originalmente *Terra roxa*, se cita como ejemplo de suelos profundos, pues a menudo alcanzan hasta 20 m. En Kenya, Colombia y Costa Rica los mejores suelos son también profundos [41]. En general, los suelos de mal drenaje y los muy pesados no son aconsejables. Por otra parte, los arenosos y livianos, muy sueltos, son de relaciones hídricas pobres [41]. Ninguna de las tres especies comercialmente más importantes de café crece bien en suelos arcillosos o muy livianos [72]. En Brasil se considera que el suelo para café debe tener una profundidad no inferior a un metro [71]. En relación con la textura, un autor ha indicado que el suelo ideal debería tener un espacio de poro del 60%, del que un 30% debe permanecer ocupado por el aire del suelo, cuando húmedo; que la densidad real fuese de 2.65 [47]. Otro autor ha señalado que un suelo ideal debería tener alrededor de 50% de porosidad y 45% de sustancias minerales [60]. En síntesis, el café se cultiva en ámbito mundial, en suelos de características físicas y químicas muy dispares. La predicción de cosechas altas sólo puede tener lugar en suelos fértiles [22]. En su defecto, la fertilidad debe ser mantenida artificialmente mediante la adición de abonos minerales y/u orgánicos favorables a un equilibrio nutricional óptimo.

#### *Topografía*

El café, por ser una planta rústica, se adapta con facilidad a condiciones topográficas desfavorables para otros cultivos.

La importancia de la topografía depende de si se dan o no, localmente, algunas con-

diciones [14]. En general, podrían resumirse así:

- Debe o no permitir mecanización.
- La erosión superficial no debe ser favorecida.
- Idealmente debe permitir la formación de un horizonte de acumulación de nutrimentos.
- Debe favorecer el transporte dentro y fuera del campo.
- Debe permitir una mayor o menor retención del agua de lluvia.

No cabe duda de que los suelos planos o ligeramente ondulados son los más aptos para el cultivo del café, por su mayor profundidad, capacidad de retención de agua y nutrimentos, y por ser aptos para la mecanización. Una pendiente mayor de 15 a 20% elimina la posibilidad de usar tractores [60].

## 1.6 Fijación de nitrógeno atmosférico

Entre los organismos productores y consumidores que conforman la biota en el agroecosistema cafetalero, además de la presencia de las plantas bajo cultivo, de sombra y de malas hierbas (Capítulo 2), la fijación de nitrógeno atmosférico por bacterias del género *Rhizobium* (fijación simbiótica) y por otros organismos como *Azotobacter* (fijación asimbiótica), cobra importancia. La fijación de nitrógeno por algas (cianobacterias) de los géneros *Nostoc*, *Anabaena* y *Oscillatoria* también contribuyen en el mismo sentido.

En México se han hecho estudios sobre fijación de nitrógeno atmosférico en cuatro estructuras vegetativas diferentes [84]. Se analizaron nódulos en *Inga jinicuil*, hojas de café con epífitas (organismos no parásitos que viven en la superficie de las hojas) y en muestras de suelo, durante un período de dos años. Se encontró que la actividad de la fijación de nitrógeno varía durante el año y que el aporte al agroecosistema por la presencia de *Inga* spp. representó, en las condiciones experimentales, 35 kg/ha/año, lo que representa localmente del 22 al 28% del nitrógeno que se incorpora en la forma de fertilizantes. Cabe aclarar, que en México una práctica común en todas las regiones caficultoras es el abonamiento con nitrógeno solo. La cantidad de nitrógeno fijado por epífitas resultó ser de alrededor de 1 g/ha/año. Aparentemente la presencia de epífitas no afecta la cantidad de café en cereza. Esta cantidad de nitrógeno fijado contrasta con la obtenida por la vía simbiótica.

En Colombia se ha estudiado el comportamiento de 37 leguminosas tropicales, con el propósito de evaluar su capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico, apuntando hacia la posibilidad de su uso eventual en la «entrecalle», como cobertura verde [88]. Investigaron el comportamiento con y sin el uso de inóculos. Se encontró que la época de mayor fijación y producción vegetativa coincide con la época de floración, tanto en leguminosas de ciclo largo como corto. Entre las leguminosas estudiadas se encontraron fijaciones de 763 a 3310 mg de N/planta.

### 1.6.1 Potencial alelopático de las principales plantas de un cafetal

Se han estudiado las interacciones químicas que se dan en la asociación vegetal propia de un cafetal, las cuales pueden tener alguna influencia en su productividad, así como en el control natural de las malas hierbas [6]. El efecto de los lixiviados de hojas y raíces sobre la germinación y primeros estados de crecimiento de las malezas es la técnica experimental que se ha seguido en esta clase de estudios, los cuales han puesto en evidencia que inclusive distintas variedades de café demuestran tener un potencial alelopático, lo que señala que existe un mecanismo de defensa de origen químico que puede manifestarse por la depresión de parásitos y de predadores o por la presión de competidores. Las relaciones existentes, de orden químico, entre los cafetos y los árboles de sombra, pueden mejorarse si en un futuro se adquiere algún conocimiento sobre el efecto recíproco, según lo determinan la producción y excreción de metabolitos al medio ambiente. Este derrotero de investigación apunta hacia la posibilidad de aplicar los conocimientos acumulados en un futuro, al manejo práctico del cafetal. Los resultados de estos bioensayos con las variedades de café Typica, Bourbon, Mundo Novo y Caturra, al que se sumaron algunas otras especies tropicales típicas como árboles de sombra en los cafetales, son muy prometedores. Los extractos de suelo también mostraron efectos, lo que indica que en condiciones naturales «existe todo un mosaico químico variable y complejo», cuyas consecuencias ecológicas son sin duda de carácter trascendental para muchos organismos propios del ecosistema. En la Figura 1.4 se transcriben algunos datos parciales obtenidos en esta investigación.

### 1.6.2 Distribución de la biomasa aérea en los diferentes estratos del cafetal

Los estudios sobre producción de biomasa han sido efectuados en México, precisamente en un cafetal reconocido como mal manejado, de 45 años de edad, con plátanos interplantados y sombra permanente de *Inga jinicuil* [42]. En estas condiciones experimentales se observaron algunas indicaciones de la declinación de la plantación y de la productividad de los diferentes estratos vegetacionales estudiados. En cuanto a la biomasa del cafeto, se encontró variabilidad, tanto en la foliar como en la lignificada. La elevada densidad de la población de cafetos produjo competencia intraespecífica, lo que quizá era la causa de la disminución del crecimiento de las plantas más antiguas. Se encontró, asimismo, que a una mayor biomasa de órganos estructurales, no le correspondía mayor biomasa foliar. Se concluyó que probablemente el área foliar se reduce con la edad de la plantación, lo que causaría una disminución de la tasa fotosintética. Estudios semejantes se realizaron con las musáceas interplantadas y con los árboles de sombra. Se observó una importante biomasa, especialmente en los árboles de sombra viejos. Resta por reconocer su influencia en el ecosistema. La biomasa de mayor magnitud correspondió a la *Inga jinicuil*, de 27 940 kg/ha. Siguió los cafetos con 16 713 kg/ha, plátanos con 9995 kg/ha y las hierbas con 1310 kg/ha, para un gran total de 55 939 kg/ha (base seca) excluyendo la biomasa correspondiente a las epifitas.

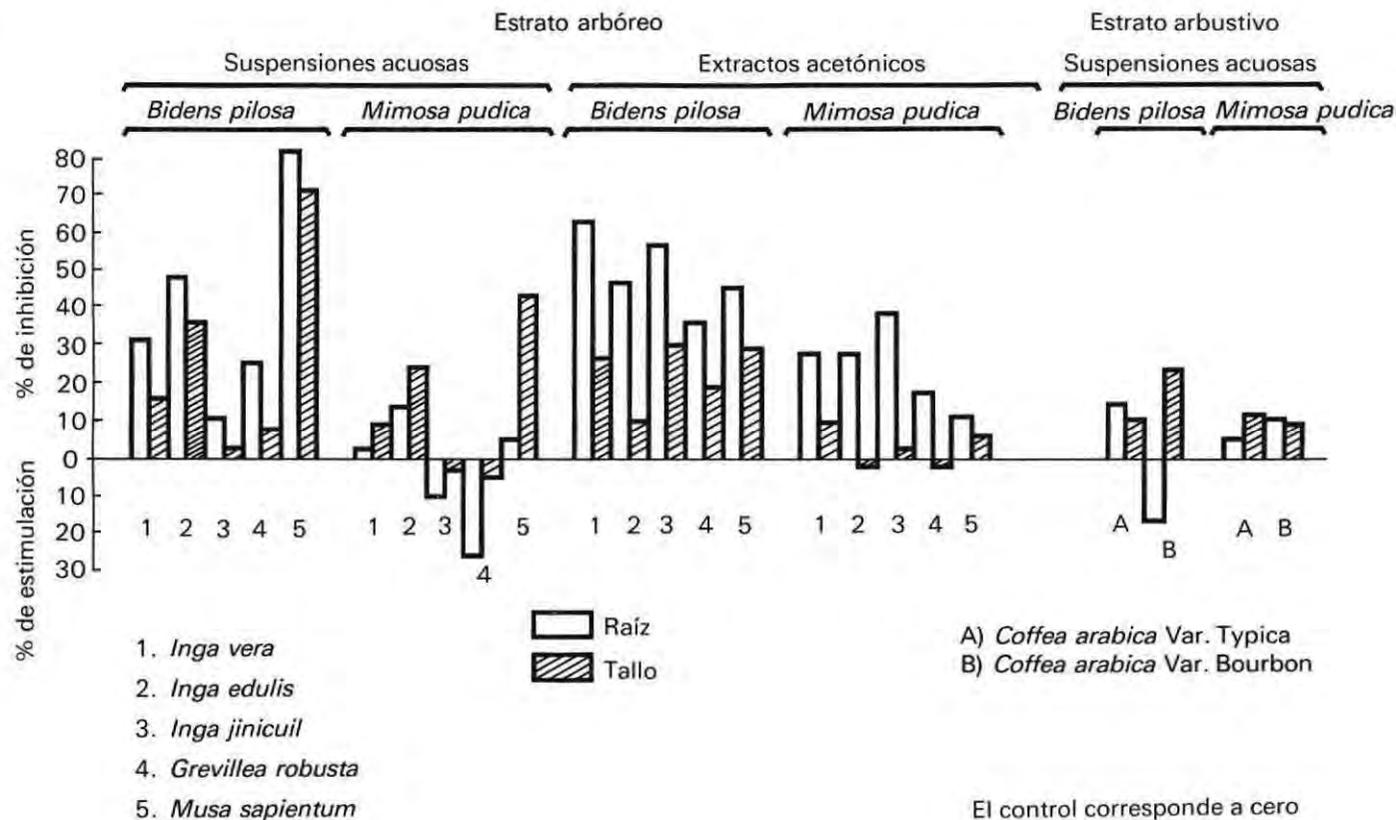


Figura 1.4 Alelopatía en el agroecosistema de un cafetal cultivado con sombra. Efecto de suspensiones y extractos de hojas secas del estrato arbóreo y del arbustivo sobre el crecimiento de malezas [6].

## 1.7 Factores ecológicos que influyen en el tamaño del fruto

De acuerdo con las investigaciones efectuadas en Kenya la precipitación que ocurre de 4 a 6 meses antes de la época de cosecha es la que más contribuye al tamaño que alcanza el fruto [100]. Ha sido demostrado que el factor lluvia es más importante que la cantidad de cosecha y las prácticas culturales. Se ha encontrado experimentalmente que entre 10 y 17 semanas después de que el café florece, los frutos se expanden rápidamente y que el tamaño potencial de los granos lo determina el volumen de expansión que alcanzan los lóculos en este momento [100]. La producción de frutos de tamaño grande favorece la irrigación frecuente durante el período en que la cosecha experimenta el estado de expansión. Es interesante mencionar que en Kenya la proporción de granos de café grande, de valor comercial, varía de un año a otro, y se altera por las prácticas culturales que hacen variar el nivel hídrico del suelo y en parte por el patrón estacional de producción de frutos [16]. Irrigación, la aplicación de cobertura muerta y tratamientos que disminuyen la cosecha, tal como el raleo de frutos, el aumento en la densidad de siembra y la sombra, se ha demostrado que tiende a aumentar el tamaño de los frutos. Por otro lado, la adición de fungicidas, tiende a reducirlo.

Para una revisión exhaustiva sobre los efectos del clima en el crecimiento de los órganos vegetativos y reproductores, se sugiere consultar *Maestri y Barros* [65].

## 1.8 Proyecciones prácticas

La economía de la caficultura moderna depende de la conjugación de cuando menos tres factores determinativos: a) la ecología de la región; b) el conocimiento que el caficultor tenga sobre los diversos factores que favorecen la productividad y c) la capacidad empresarial del caficultor.

Entre los diversos factores que comprende la ecología que tienen que ver con el suelo, se destaca el conocimiento que el caficultor debe tener de las limitaciones y bondades de la calidad de los suelos de su hacienda, más específicamente de la banda de fertilización, por las modificaciones que esta sufre por efecto del monocultivo y del uso ininterrumpido, a menudo indiscriminado, de fertilizantes. Además de la fertilidad intrínseca, existe un efecto residual de los fertilizantes, el cual debe ser evaluado todos los años, con el propósito de favorecer un abonamiento cada vez más racional, acorde con el menor costo posible, en función de la exigencia del cultivo. Entre las características edáficas, el grado de fertilidad del suelo, el pH (acidez), el equilibrio entre el calcio, el magnesio y el potasio, la evaluación del contenido disponible de cada nutrimento y del tenor de materia orgánica, constituyen parámetros que el buen caficultor debe conocer de tiempo en tiempo.

El aporte de nitrógeno al suelo procedente de la atmósfera, mediante la contribución de bacterias que viven en simbiosis en las raíces de especies leguminosas como árboles de sombra, representa cerca de un 25% de economía en la fertilización anual cuando se trabaja bajo el sistema de umbría. Este hecho apunta la importancia de

contar en tal situación, con una densidad adecuada de árboles de sombra/unidad de superficie con el propósito de propiciar una distribución uniforme del nitrógeno en todo el terreno y disminuir la intensidad lumínica aproximadamente un 60%.

La triada, cultivo al sol-fertilización intensiva-alta producción, debe ser muy bien comprendida por el caficultor contemporáneo cuando usa variedades de alta producción. Bajo este sistema de cultivo el aprovechamiento de la luz cobra importancia según la densidad de siembra, al igual que se debe tomar en cuenta la disponibilidad de agua pues en ningún momento se debe favorecer la influencia de periodos deficitarios en la plantación.

El trabajo de los genetistas ha producido un tipo de planta que por sus características fenotípicas resulta mejor adaptada al aprovechamiento de la energía lumínica. Los nuevos cultivares de *C. arabica*, de porte bajo, entre los que merecen especial mención, el Catuaí, el Caturra, el Pacas y similares, constituyen el mejor ejemplo. El híbrido interespecífico Arabusta, producido en la Costa de Marfil, también representa un tipo de planta, cuyas características somáticas superan a las de las especies progenitoras. El cruce entre Caturra con el Híbrido de Timor (Catimor), se perfila como promisorio, para contar con semilla seleccionada de híbridos resistentes a la Roya.

## 1.9 Referencias

1. Alegre, G.: Climats et caféiers d'Arabie. L'Agronomie Trop. 14 (1), 23-58 (1959)
2. *Alpinus, P.*: De Plantis Aegypti... Venetiis... Apud Franciscum de Franciscis Senensem, 1592
3. *Alvim, P. de T.*: Algunos estudios sobre la fisiología del café. Suelo Tico 7 (29), 58-62 (1953)
4. *Alvim, P. de T.*: Physiology of growth and flowering in coffee. Coffee 2 (6), 57-62 (1960)
5. *Alvim, P. de T. y Hovis, R.*: An improved infiltration series for studying stomatal opening as illustrated with coffee. Plant Physiol. 29, 97-98 (1954)
6. *Anaya, A. L., et al.*: Potencial alelopático de las principales plantas de un cafetal. In: Memorias 1º Simposio Estudios Ecológicos en el Agroecosistema Cafetalero. Xalapa, Veracruz (México) (1980)
7. *Baker, R. M.*: Seasonal deficiency of phosphorus in Arabica. In: Tanganyika Coffee Research Station, Research Report 1964. Tanganyika Coffee Board, pp. 48-51 (1966)
8. *Beaudin-Dufour, D. y Müller, L. E.*: Effet de la radiation solaire et de l'âge sur le contenu en caféine et en azote des feuilles et des fruits de trois espèces de caféiers. Turrialba 31, 387-392 (1971)
9. *Bierhuizen, J. F., Nunes, M. A. y Ploegman, C.*: Studies on the productivity of coffee. II. Effect of soil moisture on photosynthesis and transpiration of *Coffea arabica*. Acta Bot. Neerl. 18, 367-374 (1969)
10. *Blue, W. G. y Kretschmer, A.*: Report on the clay fraction of Costa Rica soils. Ministerio de Agricultura e Industrias STICA. Laboratorio Químico de Investigaciones Agronómicas. Informe poligrafiado, 5p. s.f.
11. *Briceño, J. A. y Carvajal, J. F.*: El equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinotérros en el suelo, asociado con la respuesta del café al potasio. Turrialba 23, 56-71 (1973)
12. *Carvajal, J. F., López, C. A. y Acevedo, A.*: Efecto del pH del sustrato en el crecimiento y la absorción del café. Rev. Biol. Trop. 11 (2), 141-155 (1963)

13. *Carvalho, A.*: Pesquisas sobre o melhoramento do cafeeiro. In: Nutrição e Adubação do Cafeeiro. Ed. *T. Yamada*. Instituto da Potassa e Fosfato (EUA) – Instituto Internacional da Potassa (Suíça) (Brasil), 1981
14. *Café*. Do plantio a colheita. Química Industrial Brasileira S.A., Quimbrasil, 1980
15. *Cannell, M. G. R.*: Photoperiodic response of mature trees of Arabica coffee. *Turrialba* 22, 198–206 (1972)
16. *Cannell, M. G. R.*: Factors affecting arabica coffee bean size in Kenya. *Kenya Coffee* 39, 342–352 (1974)
17. *Cannell, M. G. R.*: Crop physiological aspects of coffee bean yield: A review. *J. Coffee Res.* 5 (1/2), 7, 20 (1975)
18. *Coste, R.*: Les caféiers et les cafés dans le monde. Paris. Edition Larose. 1381 p., 1955
19. *Cramer, P. J. S.*: A review of literature of coffee research in Indonesia. Ed. por *F. L. Wellman*. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Publicación 15, 262 p. (1957)
20. *Dagg, M.*: Water requirements of coffee. *Kenya Coffee* 36, 149–151 (1971)
21. *Dean, L. A.*: Rainfall and coffee yields in the Kona district, Hawaii. *J. of Agr. Res.* 59 (3). 217–222 (1939)
22. *Dean, L. A. y Beaumont, J. H.*: Soil and fertilizers in relation to the yield, growth and composition of the coffee tree. *Amer. Soc. for Hort. Sci. Proc.* 36, 28–35 (1939)
23. *De Vuyst, P.*: La fumure minérale du caféier d'Arabie au Rwanda. Symposium sobre suelos, Madagascar, 1968
24. *Espinosa, Flora M. y Tenorio, H.*: Efecto de la aplicación de un fertilizante acidificante y de cal en el pH del suelo y en la producción del café. El Salvador, Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. Boletín Informativo, Suplemento 17, pp. 1–13 (1962)
25. *Foloni, L. L., et al.*: Estimativa da temperatura do ar diária em cafezal. *Turrialba* 29, 45–51 (1979)
26. *Forestier, J.*: Fertilité des sols des caféiers en République Centrafricaine. III. Etude des sols des caféiers de la Lobaye. *L'Agron, Trop.* 15 (1), 9–37 (1960)
27. *Forestier, J.*: Potassium and the Robusta coffee tree. *Fertilité* 30, 3–63 (1968)
28. *Fournier, L. A.*: Fundamentos ecológicos del cultivo del café. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas-OEA. Zona Norte (Costa Rica). Promecafé. Serie de Publicaciones Misceláneas 230. 29 p. (1978)
29. *Franco, C. M.*: Sobre a fisiologia dos estomas dos cafeeiros (*Coffea arabica* L.). An. la Reunión S.A. Bot., 3, 293–302 (1938)
30. *Franco, C. M.*: Fotoperiodismo em cafeeiro (*C. arabica* L.). *Rev. Inst. Café* 15, 1586–1592 (1940)
31. *Franco, C. M.*: Pesquisas sobre a fisiologia do cafeeiro. *Sep. Bol. Agric. (São Paulo)*, pp. 1–16 (1947)
32. *Franco, C. M. y Inforzato, R.*: Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro cultivado ao sol. *Bragantia* 10 (9), 247–257 (1950)
33. *Franco, C. M.*: A água no solo e o sombreamento dos cafezais na América Central. *Bragantia* 11, 100–119 (1951)
34. *Franco, C. M.*: A água no solo e o sombreamento dos cafezais em São Paulo. *Bul. Superintend. Serv. Coffee.* 27, 10–19 (1952)
35. *Franco, C. M. y Inforzato, R.*: Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro sombreado e pelo Ingazeiro. *Bragantia* 11 (4–6), 121–125 (1951)
36. *Franco, C. M.*: Descoloração em folhas de cafeeiros causado pelo frio, *Bragantia* 15 (13), 131–135 (1956)
37. *Franco, C. M.*: Influence of temperature on growth of coffee plant, New York, IBEC. (International Basic Economic Cooperation). *Res. Ins. Bull.* N° 16, 24 p. (1958)
38. *Franco, C. M.*: Estrangulamento do caule do cafeeiro causado pelo frio, *Bragantia* 19 (32), 515–521 (1960)
39. *García, A. y Carvajal, J. F.*: Respuesta al fósforo y al azufre en algunos suelos cañeros de Costa Rica. In: II° Congreso Agronómico Nacional (Costa Rica). Vol. 1, Resúmenes pp. 59 (1976)

40. *Gavande, S.*: Relaciones de humedad de suelos y de difusión de oxígeno en cacao y café. La Reunión de la Asociación Latinoamericana del Suelo (ALAS), Capítulo de Centro América y México, San José, Costa Rica, Resumen mimeografiado, 1 p., 1968
41. *Geus, J. G.*: Fertilizer guide for coffee. Part. 1. Kenya Coffee, pp. 208-213, 1969
42. *Golberg, A. D. y Jiménez, E.*: Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero IV: Distribución de la biomasa aérea en diferentes estratos del cafetal. In: Memorias I° Simposio Estudios Ecológicos en el Agroecosistema Cafetalero. Xalapa, Veracruz (México) (1980)
43. *Gómez, L. y Jaramillo, A.*: Temperaturas en árboles de café al sol. Cenicafé (Colombia) 25, 61-62 (1974)
44. *Haarer, A. E.*: Ecología del cafeto. La Hacienda (USA), 52 (11), 44-46 (1957)
45. *Haarer, A. E.*: Modern coffee production. London. Leonard Hill Seg. Ed. rev. 495 p., 1962
46. *Haarer, A. E.*: Best environment for coffee. Indian Coffee 27 (10), 289-291 (1963)
47. *Hardy, F.*: Suelos de café. Tercer curso de café, Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 16 p. Mimeografiado, 1958
48. *Hardy, F.*: Altitudinal zonation in coffee soils in western Latin America, Turrialba, Costa Rica. Interamerican Institute of Agricultural Sciences, 18 p. (mimeographed), 1960
49. *Huerta, S. A.*: La influencia de la intensidad de la luz en la eficiencia asimilatoria y el crecimiento del cafeto. Tesis para Magister Agriculturae. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 69 p. (mecanografiado), 1954
50. *Hunter, J. R.*: The climatic limits of cacao, coffee and rubber. Interamerican Institute of Agricultural Sciences. Coffee and Cacao Training Materials N° 16, 9 p. (1959)
51. *Janardhan, K. V. y Gopal, N. H.*: Hill reaction activity of chloroplasts isolated from flower buds arabica coffee. J. Coffee Res. 3 (3), 71-73 (1973)
52. *Jaramillo, A.*: El perfil del viento en cafetales al sol. Cenicafé (Colombia) 26, 143-147 (1975)
53. *Jaramillo, A. y Mardendos dos Santos, J.*: Balance de radiación solar en *Coffea arabica* L. variedades Catuai y Borbón amarillo. Cenicafé 31, 86-104 (1980)
54. *Jiménez, A.*: Clasificación de los Grandes Grupos de Suelos de las zonas cafetaleras de El Salvador. Boletín Informativo. Suplemento N° 22, 21 p. (1965)
55. *Jiménez, E.*: Comparación de la producción de materia orgánica de un bosque caducifolio y el cafetal. In: Memorias I° Simposio Estudios Ecológicos en el Agroecosistema Cafetalero. Xalapa, Veracruz (México) (1980)
56. *Jiménez, E.*: Efecto de diferentes estructuras vegetales sobre el balance hídrico del cafetal. In: Memorias I° Simposio Estudios Ecológicos en el Agroecosistema Cafetalero. Xalapa, Veracruz (México) (1980)
57. *Jonasson, O.*: Natural conditions for coffee culture. Econ. Geog., 9, 356-367 (1933)
58. *Krug, C. A.*: World coffee survey. (Draft of a future FAO agricultural study). Food and Agricultural Organization of the United Nations (Roma) 292 p., 1959
59. *Krug, C. A.*: A cafeicultura no mundo. In: Cultura e Adubação do Cafeeiro, Instituto Brasileiro de Potassa. São Paulo, Brasil. 259 p., 1963
60. *Küpper, A.*: Factores climáticos e edáficos na cultura cafeeira. In: Nutrição e Adubação do Cafeeiro. Ed. T. Yamada. Instituto da Potassa & Fosfato (EUA)-Instituto Internacional da Potassa (Suíça) (Brasil) 1981
61. *López, C. A.*: Identificación y clasificación de los minerales de arcilla presentes en nueve suelos de Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Laboratorio de Investigaciones Agronómicas. 56 p., 1963
62. *López, M.*: Problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia. Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas en América Latina, Turrialba, Costa Rica, 1969
63. *Llano, J. R.*: Influencia del relieve en las características de los vientos y su relación con la temperatura y la precipitación en Albán. Departamento del Valle. Cenicafé 31, 54-76 (1980)
64. *Maestri, M. y Vieira, C.*: Movimento de estomas em café, sob condições naturais. Ceres 10 (59), 324-331 (1958)

65. *Maestri, M. y Barros, R. S.*: Coffee. In: *Ecophysiology of Tropical Crops*. Academic Press. pp. 249–278 (1977)
66. *Mehlich, A.*: Chemistry. Soil fertility and plant nutrition. Coffee Research Foundation, Kenya. Annual Report 1965/66, pp. 32–40 (1966)
67. *Mehlich, A.*: Coffee soils in Kenya and their characteristics in relation to the mineral nutrition of arabica coffee. Coffee Research Foundation, Kenya. Annual Report 1966/67, pp. 5–17 (1967)
68. *Mehlich, A.*: Coffee nutrition and the possible use of compound fertilizers in Kenya, Kenya Coffee pp. 59–65 (1968)
69. *Mes, M. G.*: Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. *Portugaliae Acta Biologica* 4 (4), 328–356, 5 (1), 25–44 (1956–1957)
70. *McFarlane, W. L.*: Some factors affecting growth and yield of coffee. Turrialba. Costa Rica, Inter-American Institute of Agricultural Sciences. Tesis, M. Agr. 47 p., 1949
71. *Moraes, F. R. P. de*: Meio ambiente e práticas culturais. In: *Cultura e Adubação do Cafeeiro*. Instituto Brasileiro de Potassa. São Paulo, Brasil. 277 p., 1965
72. *Müller, L. E.*: Coffee nutrition. In: *Temperate to Tropical Fruit Nutrition*. Somerset Press. Inc., New Jersey, USA. 888 p., 1966
73. *Nunes, M. A., Bierhuizen, J. F. y Ploegman, C.*: Studies on the productivity of coffee. I. Effect of light, temperature and CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. *Acta Bot. Neerl.* 17, 93–102 (1968)
74. *Nunes, M. A., Bierhuizen, J. F. y Ploegman, C.*: Studies on productivity of coffee. III. Differences in photosynthesis between four varieties of coffee. *Acta Bot. Neerl.* 18, 420–424 (1969)
75. *Nunes, M. A.*: Water relations in coffee. Significance of plant water deficits to growth and yield: A review. *J. Coffee Res.* 6 (1), 4–21 (1976)
76. *Franke, G.*: Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. 2 ed., Tomo I. Hirzel, Leipzig, 1975
77. *Nutman, F. J.*: Photosynthesis of coffee leaves under natural conditions. *Ann. Bot., New Series* 1 (3), 353–367 (1937)
78. *Nutman, F. J.*: Studies on the physiology of *Coffea arabica*. II – Stomatal movements in relation to photosynthesis under natural conditions. *Ann. Bot. New Series* 1 (4), 682–693 (1937)
79. *Nutman, F. M.*: Studies on the physiology of *Coffea arabica*. III. Transpiration rates of whole trees in relation to natural environmental conditions. *Ann. Bot. New Series* 5, 59–81 (1941)
80. *Orozco Castaño, F. J. y Cassalet-Davila, C.*: Características anatómicas de las hojas y su relación con el posible ciclo fotosintético en Café. *Cenicafé* 25, 104–112 (1974)
81. *Pérez, V. M., Chaverri, G. y Bornemisza, E.*: Algunos aspectos del abonamiento del café con boro y calcio en las condiciones de la Meseta Central de Costa Rica. Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola, Información Técnica N° 1, 14 p. (1956)
82. *Pérez-Escobar, R.*: Efectos de la acidez del suelo en la producción de café y medidas correctivas recomendadas. *Revista de Agricultura de Puerto Rico* 44 (2), 93–97 (1965)
83. *Ramos, S., Vallejo, E. y Aguilar, N.*: Edafología del cafetal. In: *Memorias I° Simposio-Estudios Ecológicos en el Agroecosistema Cafetalero*. Xalapa, Veracruz (México) (1980)
84. *Roskoski, J.*: Importancia de la fijación de nitrógeno en la economía del cafetal. In: *Memorias I° Simposio-Estudios Ecológicos en el Agroecosistema Cafetalero*. Xalapa, Veracruz (México) (1980)
85. *Sáenz, A.*: Suelos volcánicos cafetaleros de Costa Rica. Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. Serie Agronomía N° 6. 355 p. (1966)
86. *Simmons, Ch. S.*: Apéndice B. Los suelos y el café. In: *Estudio de la nutrición cafetalera mundial*. Junta Interamericana del Café. 10 p. (mimeo). USDA Cat. N° 286. 368 IN 8 As., (1948)
87. *Suárez de Castro, F.*: Relationships between rainfall and coffee production. *Coffee* 2 (7), 85–90 (1960)
88. *Suárez, S.*: Estudio de adaptación y fijación simbiótica de nitrógeno en algunas leguminosas tropicales. *Cenicafé* 26, 27–37 (1975)

89. *Sylvain, P.*: The photosynthesis of *Coffea arabica* L. A review of pertinent literature. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Reporte no publicado, 14 p., 1955
90. *Sylvain, P.*: Coffee is grown under irrigation in Yemen. *Coffee and Tea Indust.* 79 (8), 30 (1956)
91. *Sylvain, P. G.*: El café en relación con el agua. *La Hacienda* 55 (5), 32-35, 38 (1960)
92. *Tiό, M. A.*: Effect of light intensity on the rate of apparent photosynthesis in coffee leaves. *J. Agri. Univ. P.R.* 46, 159-166 (1962)
93. *Tubelis, A., et al.*: Temperatura do ar em cafezal. Turrialba 30, 9-15 (1980)
94. *Ukers, W. H.*: All about coffee. New York, Tea and Coffee Trade Jour. Co. 796 p., 1922
95. *Valencia, G.*: Relación entre el índice de área foliar y la productividad del café. *Cenicafé* 24, 79-89 (1973)
96. *Vasudeva, M., Gopal, N. H. y Ramaiah, P. K.*: Studies of leaf growth IV. Influence of environmental factors on leaf growth in arabica coffee. *J. Coffee Res.* 3 (4), 80-88 (1973)
97. *Verlière, G.*: Fertilité des sols tropicaux. Evolution de la recherche sur la fertilisation en caféiculture en Côte d'Ivoire. Symposium de Madagascar, 1968
98. *Watson, D. J.*: The physiological basis of variation in yield. *Advances in Agronomy* 4, 101-145 (1952)
99. *Wellman, F. L.*: Coffee. Botany, cultivation and utilization. Leonard Hill (Books) Limited, London. 488 p., 1961
100. *Wormer, T. M. y Njuguna, S. G.*: Bean size and shape, a quality factor in Kenya Coffee. *Kenya Coffee* 31, 397-405 (1966)

## 2. Prácticas culturales

El cafeto es una planta perenne, no obstante, su productividad empieza a declinar cuando la plantación alcanza entre 15 y 20 años de edad. Dependiendo de las características del ecosistema el cultivo económico exige la práctica de un buen número de labores culturales, algunas de las cuales desconoce o ejecuta mal el caficultor novel.

Como se verá mediante el conjunto de temas que se discuten en este capítulo, las labores especializadas que conforman lo que hoy se incluye de rutina bajo la denominación de las llamadas «prácticas culturales», constituye un número considerable de factores que se reúnen bajo uno solo. Se reconoce que, en conjunto, representan un «factor de productividad» de importancia medular para el buen éxito del caficultor.

### 2.1 Suelos aptos para el cultivo del café

El cafeto exhibe una gran adaptabilidad respecto a los suelos aptos para su cultivo. Como se mencionó en el Capítulo 1, se cultiva en el mundo en suelos de muy variados orígenes y de un espectro muy amplio en cuanto a calidad. Afortunadamente se conocen las limitaciones y bondades de cada uno, al punto que bien se puede aseverar que el cultivo de esta rubiácea se practica con éxito dentro de un ámbito comprendido entre los suelos de «cerrado» en Brasil (muy pobres en cuanto a sus características químicas, no así respecto a las físicas), y los más ricos suelos volcánicos y aluviales distribuidos por todo el mundo [38]. En ausencia de características físicas indeseables, como es el caso de los suelos con poca aeración natural, muy superficiales o con predominancia de agregados gruesos, puede decirse que las limitaciones de carácter químico no ofrecen problema, a la luz del conocimiento de hoy. Como se mencionará en los párrafos siguientes, las exigencias de este cultivo se tornan más estrechas cuando se trata de la producción de plantas de vivero, pues en esta edad las plantas por lo general requieren de suelos de cuando menos mediana fertilidad, profundos y más o menos compactos. En cuanto a la topografía, el cultivo del café se practica tanto en suelos planos como de fuerte pendiente.

### 2.2 Propagación por semilla

La propagación por semilla constituye el método comercial más usado hasta ahora en el mundo. La variante fundamental que se observa entre países, la ilustra, por un lado, la preparación de almácigos directamente en el suelo, los que se trasplantan, con o sin adobe. Por otro lado, en algunos países se prefiere el uso de bolsas de polietileno, para los mismos fines. Al momento de la siembra se separa la envoltura del adobe (bolsa), pues de lo contrario interfiere en el desarrollo subsiguiente del sistema radical.

## 2.2.1 Semilleros

Los semilleros se preparan mediante siembra al voleo (si se prefiere pueden hacerse surcos equidistantes de poca profundidad) en una superficie de suelo bien preparada y mullida, aunque poco profunda [91]. Las semillas deben cubrirse con una capa delgada de tierra (1 cm) sobre la que se coloca una cobertura vegetal muerta y, dado que el porcentaje de germinación disminuye considerablemente a medida que transcurre el tiempo después de colectada, se debe dar preferencia al uso de semilla procedente de la cosecha inmediata anterior. Las semillas que flotan en agua no germinan. Dependiendo del volumen que se requiera, el despulpado previo puede ser hecho a mano o a máquina (en los «despulpadores» de un beneficio de café). Cuando la semilla se guarda por algún tiempo debe tomarse en cuenta que la viabilidad es inversamente proporcional al contenido de humedad en el momento en que se almacena, por lo que debe colocarse en recipientes que no permitan entrada de aire. La evidencia experimental indica que semillas de café, con contenidos de humedad de 20, 13 y 10%, viven por 4, 8 y 21 meses, respectivamente [51]. Investigaciones en relación al efecto del contenido de humedad de la semilla en la germinación señalaron en una oportunidad porcentajes de 20–25%, como mejores [136]. El porcentaje de germinación de la semilla ha sido investigado en Colombia en función de la temperatura de secado [15]. Una transcripción de los datos obtenidos se consigna en el Cuadro 2.1

### Cuadro 2.1

Porcentaje de germinación de la semilla de café a diferentes temperaturas de secado. Datos obtenidos en *C. arabica* var «Caturra» con contenidos de humedad en la semilla de 12–13% [15].

Temperatura de secado (°C)	Germinación (%)
A temperatura ambiente	95
Estufa a:	
40	95
45	95
50	80
55	45
60	4
70	0

Cuando los envases no se mantienen herméticos la longevidad resulta igual, o sea que el contenido de humedad inicial a equilibrio, es el mismo, y carece de importancia [51]. Los estudios efectuados en Camerún han demostrado que la viabilidad de la semilla de *C. arabica* y *C. canephora* puede conservarse prácticamente intacta durante por lo menos 12 y 6 meses respectivamente. Todo lo que se requiere es cubrir las semillas con polvo de carbón de leña, tratarlas con un fungicida y conservarlas luego en un recipiente cerrado con una humedad relativa ambiente del 100%. Hasta donde sea posible, es aconsejable el uso de semilla proveniente de las variedades seleccionadas por instituciones o firmas encargadas de la producción y/o distri-

bución de semillas de alta calidad [50]. Es obvio que los semilleros se deben establecer en lugares que puedan ser irrigados con facilidad. La cubierta vegetal que se mencionó, que tiene por objeto evitar una pérdida excesiva de humedad en la capa superior del suelo y mantener la temperatura más uniforme, debe removerse una vez iniciada la germinación para ser colocada luego a manera de barbacoa (zarzo) de 1.50 metros de altura. Las plántulas están listas para trasplante 50–60 días después de la siembra, momento en que alcanzan el estado de desarrollo denominado «manquito», «manguito», «soldadito», «abejón» o «fosforito», anterior al de hojas cotiledonales abiertas o estado de «copita». Previo reblandecimiento del suelo se arrancan y se seleccionan por calidad (selección masal).

La densidad de siembra de los semilleros cuando la semilla se distribuye al voleo, es de 1 kg/m<sup>2</sup> [113]. Se obtienen 3250 plantas/kg. Durante la preparación del terreno debe tomarse en cuenta la aplicación de pentacloronitrobenzeno al 75% (PCNB), a razón de 40 g/m<sup>2</sup>. La adición de este fungicida debe ser hecha de preferencia en solución acuosa ocho días antes de la siembra de la semilla o inmediatamente después del primer riego, una vez sembrada. El uso de este compuesto es muy indicado para prevenir la incidencia de la enfermedad fungosa conocida con el nombre de Mal del Talluelo (*Pellicularia filamentosa* Pat Rogers; *Rhizoctonia solani* Kühn). Por esta razón los semilleros deben ser hechos en terrenos no lindantes a plantaciones de café ya establecidas, pues la aparición de la referida enfermedad fungosa es más probable. Las dimensiones de las eras no obedecen a reglas fijas. No obstante, un ancho conveniente es 1–1,20 m por 10–15 m de longitud.

El semillero debe mantenerse húmedo mediante riegos periódicos ya sea con el uso de regaderas o de surtidores colocados a corta distancia de las eras. El exceso de humedad no es aconsejable, pues favorece la proliferación del agente causal del Mal del Talluelo, especialmente durante el período en que el semillero permanece tapado con la cobertura muerta. (Mal del Talluelo también tiene el nombre de chupadera fungosa).

### *Preparación del vivero*

La preparación de plantas de vivero de buena calidad, es un aspecto muy importante de la caficultura moderna, debido al imperativo de renovar las plantaciones viejas y utilizar los mismos terrenos (o nuevos), para la siembra de variedades de alta producción resistentes a la Roya, y eventualmente al CBD y a ciertas plagas. Además, la densidad de siembra debe ser mantenida en un 100%, vale decir, que las plantas que por alguna razón perecen, deben ser sustituidas a intervalos anuales. Los almacigales se hacen de dos maneras: a) directamente en el suelo; b) en bolsas de polietileno.

### *Selección del terreno*

Para la preparación de buenas plantas de vivero se debe contar con suelos apropiados para tales fines. Entre las características más importantes que se deben mencionar, figuran, el buen drenaje, topografía más o menos plana o ligeramente inclinada,

ausencia de pedregosidad, un cierto grado de compactación, textura ligeramente arcillosa (cuando se hace el trasplante con «adobe» este factor cobra importancia) y la cercanía a una fuente de agua.

Debido a la presencia de nemátodos en las plantaciones establecidas, así como de enfermedades fungosas, el terreno que se escoge para hacer los viveros no debe haber sido cultivado de café, cuando menos durante algún período más o menos largo inmediato anterior. Por esta razón, y por garantizar buenas propiedades físicas, se prefiere hacer los viveros en suelos de sabana. La disponibilidad de agua es muy deseable, no solamente por la facilidad de aplicar riego durante la estación seca, sino porque facilita todas las labores de atomización al follaje, de abonos foliares y de compuestos agroquímicos para el control de enfermedades y plagas [48, 49, 91]. Un almacigal a escala comercial puede ser cultivado bajo el sistema tradicional en uso en algunos países, o sea preparado en suelos de sabana, para trasplante en adobe o con «poda de raíz», modalidad esta última que consiste en preparar almárgicos con un sistema radical muy profuso. Para ello es imperativo el cortar la raíz pivotante 2-3 meses antes del trasplante, hincando un palín a un ángulo de 45° para cortarla, aplicando luego riego artificial para contrarrestar el déficit hídrico que experimenta la planta durante algún tiempo. Las plantas así tratadas pueden ser trasplantadas sin adobe, lo cual se consigue levantando con un palín cada planta al momento del trasplante tratando de no separar la tierra que queda adherida al sistema radical. Esta modalidad de siembra resulta muy práctica, tanto por la economía en la mano de obra al momento de la arranca, como por la facilidad con que se hacen todas las labores del transporte involucradas posteriormente a la misma [110].

### *Preparación del suelo*

Cuando se seleccionan suelos de sabana el primer paso es volcarla. Los bloques se sacuden con fuerza para remover la tierra adherida, procurando que quede suelta. Seguidamente se remueven los residuos vegetales y se arrancan las raíces de las especies arbustivas si las hay. Esta labor puede ser hecha con tractor si la extensión lo amerita. Estas prácticas normalmente tienen lugar durante la estación seca. El paso siguiente es el trazado a contorno y la hechura de las eras, de tal suerte que se evite la erosión al tiempo que se favorece el drenaje. Las dimensiones de las eras por lo general no obedecen a un patrón de carácter inflexible. Sin embargo, el ancho de las mismas puede ser de 1.10-1.40 m, con el propósito de facilitar las labores culturales, la aplicación de herbicidas, compuestos agroquímicos y espolvoreos para el control de la nutrición y de las condiciones fitosanitarias [113]. Inicialmente las eras no deben exhibir un relieve muy marcado (excepto en suelos arcillosos), pues durante la época lluviosa por lo general se elevan un poco por la adición de tierra proveniente de los canales a contorno. El mantenimiento periódico de estos canales es muy importante para evitar daños por desbordamiento de las aguas de escorrentía. El desnivel de los canales a contorno puede ser al 1-1.5%, con gavetas equidistantes para restar velocidad al agua que corre. El mantenimiento de los canales sirve a su vez de labor de

aporca a las plántulas en desarrollo, práctica muy deseable dentro del conjunto de labores culturales a realizar en el almacigal.

### *Siembra del almacigal*

La siembra del «manquito» se recomienda hacerla a distancias que varían según el porte de la variedad y el número de manquitos por postura (hoyo). En el Cuadro 2.2 se transcribe una guía práctica. La siembra se hace previa confección de los hoyos en forma equidistante con la ayuda de una estaca punteada de cabo largo hecha de madera redonda. Se siembran de preferencia 3–4 manquitos/hoyo, con el propósito de obtener en la plantación definitiva plantas («covas») con un número ideal de ramas ortotrópicas, para una productividad óptima a corto plazo. Otra alternativa es la siembra de 2 manquitos/hoyo, removiendo la yema terminal cuando las plantas exhiben 3 hojas verdaderas, para contar finalmente con una «planta» de 4 ejes sobre dos sistemas radicales individuales. La siembra de dos manquitos/hoyo, pero sin la obtención de 4 ejes es muy común cuando los agricultores producen plantas de vivero para la venta. En las haciendas que producen sus propios cafetos para trasplante se sugiere la siembra de 3–4 manquitos/hoyo. Al menos esta es la práctica más generalizada en Costa Rica. La siembra de una sola planta rara vez se usa, pues obliga a practicar el «agobio» después de la siembra, para obtener a partir de un solo sistema radical, una planta de tallo múltiple. El uso del tallo múltiple en realidad tuvo origen en Brasil, desde el momento en que sugirieron la práctica de sembrar varias plantas por «cova».

*Cuadro 2.2* Distancia de siembra en almacigos de café [113]

Ancho de era m	Distancia 2 bordes m	Distancia entre hileras m	Número de hileras	Porte *	Número de manquitos
1.10	0.20	0.15	6	P	1
1.20	0.20	0.20	5	P	2–3
1.25	0.20	0.15	7	P	1
1.30	0.20	0.22	5	P	3–4
1.40	0.20	0.20	6	P	2–3
1.40	0.20	0.15	8	P	1
1.20	0.20	0.20	5	G	1–2
1.30	0.20	0.22	5	G	2–3
1.40	0.20	0.20	6	G	1–2
1.40	0.20	0.24	5	G	3–4

\*Variedades: Porte grande (G): Mundo Novo, Híbrido, etc.  
Porte pequeño (P): Caturra, Catuai, etc.

La resiembra en los almacigales suele ser hecha trasplantando plantas extra que han sido previamente sembradas en las hileras borde, las cuales no difieren en edad del resto. Esta labor normalmente se hace un mes después de la siembra del almacigal.

## 2.2.2 Uso de herbicidas en almacigales

En los viveros se puede hacer uso de herbicidas preemergentes. Después de haber confeccionado las eras y procurado que la siembra se vaya a iniciar unos 8 días después, se recomienda hacer una aplicación de ácido 2,4 Diclorofenoxiacético (2,4-D) de 1.8 kg del ingrediente activo (i.a.) por 3.78 l, a razón de 3.78 litros del compuesto comercial por 190 litros de agua, cubriendo toda la superficie del suelo y utilizando boquillas 6502 u 8002. En este momento la cobertura del terreno debe ser total. Esta aplicación tiene un efecto letal sobre las malezas que inician su germinación, con lo que se evitan las primeras deshieras. Es aconsejable, asimismo, la aplicación en esta ocasión de PCNB en todo el terreno, esta vez a razón de 30 g/m<sup>2</sup> (se aplican 10 kg/190 l de agua, con regadera).

El uso del herbicida Goal 2-EC líquido, que contiene un 24.3% del compuesto 2-cloro (3-etoxy-4-nitrofenoxi)-4-(trifluorometilbenceno) o del Goal 1-G (granulado) que contiene el 1% del principio activo, se recomiendan para el control de malas hierbas en almacigales de café [113]. Dependiendo de la dosis que se use, el producto tiene un efecto residual de 4 a 6 meses. Actúa especialmente como preemergente, pero aún con una pequeña reproducción de malas hierbas también ejerce un control adecuado. Cuando se usa en la forma granulada la dosis sugerida es de 7 g/m<sup>2</sup>. Si el producto es líquido el agroquímico se emplea en solución a razón de 330 ml/190 l de agua, procurando que la aplicación sea dirigida, o sea sin tocar, en la medida de lo posible, las plantas de café.

Cuando se usa Goal, en cualquiera de sus formas, transcurrido algún tiempo pueden aparecer en las hojas ciertas deformaciones que por lo general se hacen acompañar de un color amarillo con puntos herrumbrosos. Sin embargo, se sabe ahora que estos síntomas son transitorios [113]. Cuando ocurre nueva aparición de malas hierbas puede hacerse una segunda aplicación. En el Cuadro 2.3 se transcribe una guía práctica para la aplicación de herbicidas en almacigales de café.

Cuadro 2.3 Control de malezas en almacigales de café. Aplicación de dosis/hectárea para un total de 567 litros de agua [87].

Herbicida	Antes del trasplante	Con trasplante	Después del trasplante
2.4-D sal amina de 1.78 kg/3.78 l	10.5 litros		
Goal 1-G	70 kg	70 kg	70 kg seco
Goal 2-EC	2.860 cc	2.860 cc	357- 572 cc
Lazo C.E.	5.7 litros	5.7 litros	714-1145 cc
Goal C.E. + Lazo C.E.			357+ 714 cc

### 2.2.3 Abonamiento de los viveros

Cuando los viveros se hacen directamente en el suelo, se recomienda aplicar al momento de la siembra una pequeña cantidad al fondo del hoyo de superfosfato sencillo o triple o bien fórmulas de fertilizantes comunes altas en fósforo. Se aplica la cantidad que se logra coger con tres dedos, cubriéndolo luego con tierra para que la raíz del «manquito» no quede en contacto con el fertilizante [113]. Una vez que las plantas han producido 2-3 pares de hojas verdaderas se aplica una fórmula alta en fósforo. Esta práctica es común en todos los países de América Central, con ligeras variantes. Las fórmulas más usadas son la 20-20-0, 16-20-0, 12-24-12 y 10-30-10. La dosis en que se aplican es a razón de 46 kg/10 000 plantas, para una primera aplicación (aproximadamente 90 g/m<sup>2</sup>). En la segunda se usan las mismas fórmulas, pero duplicando la dosis. La tercera aplicación se acostumbra hacerla con un fertilizante nitrogenado (úrea, nitrato de amonio, sulfato de amonio). Las aplicaciones a intervalos de 60 días, pueden ser hechas al voleo, o en banda, en las entrecalles. Sin embargo, el lavado del fertilizante se reduce mucho si se aplica en surcos confeccionados en la entrecalle, de aproximadamente 3-4 cm de profundidad, cubriendo luego con tierra para minimizar las pérdidas. Si se trata de sulfato de amonio la dosis recomendada es de 60 g/0.70 m<sup>2</sup> [86]. Una variante a esta recomendación de carácter general, que se sugiere en Guatemala, consiste en la aplicación 4 veces consecutivas de una fórmula alta en fósforo, a intervalos de 30 días, para concluir el ciclo con una última aplicación, a base de nitrógeno [13]. Tanto en El Salvador como en otros países el uso de nematocidas e insecticidas para el control del joboto (*Phyllophaga* spp.) y de los gusanos cortadores *Agrotis* spp., *Feltia* spp., *Prodenia* spp. puede ser hecho junto con los fertilizantes que se aplican al suelo. Respecto al control de los nemátodos en las plantas de vivero, el énfasis que ahora se pone en este particular, es muy marcado.

### 2.2.4 Control de enfermedades y fertilización foliar

Las plantas de vivero necesitan de cuidados especiales respecto al uso de fungicidas, además de insecticidas y abonamiento foliar. La aplicación de fungicidas debe ser hecha, durante los meses de lluvia, a intervalos de dos semanas y de tres durante la época seca. A título de ejemplo, la aplicación de fungicidas empieza con el uso de difolatán, al momento del trasplante. Una vez que aparecen las hojas cotiledonales se inicia un ciclo permanente de atomizaciones, a base de difolatán y otros fungicidas (ver acápite 4.1.2) [113]. La aplicación de fungicidas se aprovecha para suplir fertilizantes foliares con elementos mayores y menores, cada 4 semanas. Fórmulas como la 20-20-20, 16-32-16, 21-53-0 ó simplemente urea en combinación con elementos menores, según decisión técnica, deben ser suplidas regularmente. El uso de malatión para el control de chapulines (*Idiarthrum atrispinum* [Stal]) y otras plagas, es a menudo necesario a intervalos regularmente espaciados.

A continuación se indica la dosis para 190 litros de agua en que se suplen los agroquímicos mencionados en aplicaciones que hacen uso de bombas manuales de alto galonaje:

Difolatán líquido	1.25 l
Difolatán, polvo mojable	460 g
Benomil	95 g
Maneb 80%	460 g
Ferbam	460 g
Clorotalonil	350 g
Abono foliar, como indicado	1 kg
Malatión	750 ml
Urea	2 kg

A la solución acuosa se le debe añadir en cada oportunidad un adherente-humectante y algún agente dispersante. La aplicación de un suplemento de nitrógeno, a base de urea, a menudo es recomendable, por lo que se incluye su dosificación. En aplicaciones de bajo galonaje se recomienda duplicar la dosis, excepto la del adherente.

La aplicación de elementos mayores a las hojas (fertilizantes foliares) ha resultado eficiente, según investigaciones efectuadas en Brasil [59]. En un ensayo planeado expofeso se hicieron aspersiones semanales, tratamiento que se comparó con el efecto de la fertilización común al suelo. Se usaron cafetos del cultivar Mundo Novo plantados en macetas de pino. Los datos que se obtuvieron con relación a las manifestaciones del crecimiento que se usaron como parámetros de valoración, permitieron concluir, que tanto la aplicación de abono foliar al follaje como el fertilizante mineral añadido al suelo, producían plantas mejores que el tratamiento testigo. Al no encontrar diferencias estadísticas entre estos dos tratamientos, se dedujo que ambos métodos de fertilización resultaban igualmente eficientes para obtener cafetos saludables y vigorosos al momento del trasplante.

### 2.2.5 Preparación de plantas de almácigo en bolsas de polietileno

En algunos países la preparación de las plantas de vivero se hace tradicionalmente en bolsas de polietileno principalmente de color negro, de muy variadas dimensiones, según la costumbre. En Brasil a veces prefieren usar un tipo de bolsa pequeña, pues las plantas permanecen en el vivero solamente por un período de aproximadamente 180 días. Algunos caficultores prefieren plantas de 1 año de edad [26]. En América Central por lo general el trasplante se efectúa después de un año de crecimiento y la siembra en el lugar definitivo no se practica sino hasta que se considera que las plantas han alcanzado un desarrollo apropiado (cuando han producido un mínimo de 4 pares de ramas plagiotrópicas).

Cuando se usan bolsas de boca ancha, como en algunos países de Centro América, el abono se emplea en dosis de 3-4 g/bolsa. Se debe procurar que el fertilizante quede colocado cerca del borde de la bolsa, sin tocar el tallo. Al igual que cuando se abonan los viveros hechos en el suelo, el abonamiento se practica a intervalos de 60 días, iniciando el ciclo cuando las plantas muestran 2-3 pares de hojas verdaderas. Se usan las mismas fórmulas altas en fósforo que se emplean en los viveros plantados directamente en el suelo. Si se usa riego en la estación seca, durante este período pueden efectuarse 1 ó 2 abonamientos más, según se requieran, pues el agua no constituye factor limitante para el aprovechamiento del fertilizante.

En una investigación realizada en El Salvador se encontró que bolsas de  $22.8 \times 30.5$  cm y de  $22.9 \times 25.4$  cm producen mejores plantas de almácigo de un año de edad, que cuando se cultivan en bolsas de tamaño de  $20.3 \times 25.4$  cm o de  $15.2 \times 22.8$  cm [18].

En Kenya el cultivo en bolsas de  $2300 \text{ cm}^3$  han dado mejores resultados que cuando se usan de  $1100 \text{ cm}^3$  de capacidad. En estas últimas las plantas muestran un sistema radical contraído [82]. Investigaciones en este mismo sentido han sido realizadas en otros países [75, 136].

Cuando el trasplante se hace un año después de la siembra las bolsas de polietileno pueden permanecer ya sea sobre la superficie del suelo o en eras en bajo relieve hechas en el suelo mismo y recubiertas con tierra para reducir el efecto desfavorable de la evapotranspiración durante la estación seca. Este sistema reduce la urgencia de contar con riego frecuente. Cuando las bolsas permanecen sobre la superficie del suelo la aplicación de riego por aspersion es absolutamente indispensable. En países como El Salvador la producción de almácigos en bolsas de polietileno es prácticamente de uso universal, donde inclusive cuentan con instalaciones técnicamente diseñadas con reducción de un 50% de la intensidad lumínica mediante el uso de reglas de madera colocadas equidistantes a manera de un techo, con el propósito de que se cumplan los requisitos técnicos. El agua de riego requerida en la época seca la almacenan en grandes tanques, los cuales sirven de colectores de agua de lluvia durante la estación húmeda. Las haciendas bien organizadas por lo general cuentan con esta clase de infraestructura, para realizar las labores anuales de renovación de plantaciones o siembras nuevas.

#### *Preparación del suelo para llenar las bolsas de polietileno*

Con el propósito de evitar compactación del suelo dentro de la bolsa, por lo general se acostumbra mezclarlo (de preferencia que no provenga de cafetales) con un 20-25% de materia orgánica [32, 86]. El uso de pulpa de café, en descomposición, resulta muy adecuado para estos fines. Sin embargo, cuando se dispone de suelos volcánicos recientes, negros y sueltos por naturaleza, la adición de materia orgánica no es indispensable.

En Kenya también se han hecho trabajos experimentales con plantas de vivero cultivadas en bolsas de polietileno de diferentes tamaños, al tiempo que se probaban las diferencias entre seis diferentes tipos de compost [82]. Respecto a los tratamientos con compost no se encontraron diferencias significativas. No obstante, se dedujo

que el de menor costo podría ser el recomendado, el cual consistió en una mezcla de la parte superior de un suelo de buena calidad con arena gruesa o polvo de grava basáltica y estiércol de establo. La información procedente de Brasil es muy sugestiva e importante en este particular. En la preparación del suelo para llenar las bolsas ponen énfasis en la adición de estiércol de corral y de gallina, además de superfosfato simple, potasio y dolomita [26].

La proporción en que se añaden los complementos nutritivos es la siguiente: por cada 700 litros de tierra, 300 litros de estiércol de corral más 3 kg de superfosfato simple, 0.5 kg de cloruro de potasio y 2 kg de dolomita. Cuando se usa estiércol de gallina en lugar de estiércol de corral, a cada 720 litros de tierra se suman 80 litros del primero, siendo iguales las cantidades de los demás fertilizantes minerales.

### *Siembra del café en las bolsas*

La siembra de los cafetos en las bolsas puede hacerse de dos maneras: a) por trasplante de 2, 3 ó 4 manquitos/bolsa, previa hechura de un semillero en la forma ya indicada; b) mediante siembra directa de 2, 3 ó 4 semillas de café, sesenta días antes del inicio de la estación húmeda. En este último caso se requiere de aplicación de agua a intervalos periódicos para mantener húmedo el suelo de las bolsas, evitando la adición de excesos.

## **2.2.6 Mantenimiento de viveros a plena exposición solar o bajo sombra**

La preparación de las plantas de vivero puede ser hecha a pleno sol, bajo sombra temporal regulada o bajo 50% de reducción de la intensidad lumínica natural, mediante el uso de encañizados espaciados en forma equidistante.

## **2.2.7 Tratamiento para prevenir la marchitez del trasplante**

El trasplante provoca un déficit hídrico en la planta y si en ese momento la humedad del suelo es bajo o sigue un período seco, algunas plantas perecen. El porcentaje de pérdida se acentúa más en siembras nuevas, habida cuenta de que el terreno usualmente está más expuesto a la desecación por la acción del viento y evaporación. La aplicación de azúcar al 10% en atomización al follaje, es un tratamiento eficaz para evitar la marchitez [29, 54]. Las aplicaciones deben hacerse en número de 4, a intervalos de 24 horas antes del trasplante, procediendo a la arranca el día siguiente al último tratamiento. La aplicación de la siguiente fórmula ha dado resultados significativos:

Azúcar de mesa	10.0%
Sulfanilamida (bacteriostático)	0.025%
Thiodan (insecticida)	0.2%
Humectante	0.5%

Cuando las plantas de vivero se preparan para trasplante con poda de raíz, el uso de una solución de azúcar o de cualquiera otro antitranspirante, es muy aconsejable. Con frecuencia durante la época de trasplante ocurren períodos sin lluvia, lo que no favorece el trasplante de cafetos con poda de raíz. La combinación de los tratamientos poda de raíz + aspersión con solución de azúcar, ha dado resultados satisfactorios en pruebas experimentales. Además, si aún así las plantas llegasen a sufrir de marchitez, la recuperación ocurre prácticamente en forma instantánea a partir del momento en que las relaciones hídricas de las plantas mejoran.

### 2.3 Propagación vegetativa: cultivo de estacas, tejidos e injertos

La propagación vegetativa del cafeto ha sido distinguida por *Sylvain* como una de las innovaciones agrotécnicas de los últimos tiempos [135]. Destaca el impulso dado por *Snoeck* al empleo de esta técnica en Madagascar, específicamente en cuanto a la reproducción por estaca [125]. El uso de este método no se ha extendido mucho en *C. arabica*, aun cuando se dispone de la experiencia y del conocimiento de técnicas depuradas debido a su calidad de planta autógama. Los diversos aspectos que determinan el éxito del empleo de esta tecnología, como tipo de propagador, selección del medio de enraizamiento y el tipo de esqueje, son el tema central de una comunicación reciente [142]. Se sabe ahora que con este sistema se llega a obtener más de 90% de estacas enraizadas en un lapso de 12 semanas. La metodología disponible señala la factibilidad de la multiplicación de clones de *C. arabica* en gran escala. En relación a este sistema de reproducción vegetativa se cuenta con un artículo de revisión reciente, según se aplica en *C. canephora* [22].

La reproducción vegetativa mediante cultivo de tejidos, pasó de la etapa experimental que señaló la importancia práctica eventual del método, a la de aplicación a escala comercial [45, 69, 100]. El método que se investigó en un principio hacía uso de segmentos de hojas de *C. arabica* de 25 mm<sup>2</sup> [69]. *Monaco et al.*, señalaron la posibilidad del uso de esta técnica a escala comercial [100]. La información más reciente indica que la metodología originalmente empleada de multiplicación *in vitro* de microestacas ha sido superada por la de embriogénesis *in vitro*, la cual presenta un coeficiente de multiplicación mucho mayor [45]. La investigación ha sido orientada hacia la maduración de yemas y a la elongación de los brotes caudales resultantes, así como a la inducción de embriones somáticos y su ulterior desarrollo, a efecto de que finalmente lleguen a formar plantas normales. Esta técnica hace uso de fragmentos de 1 cm de largo procedentes de entrenudos de tallos ortotrópicos jóvenes de cafetos cultivados en invernadero o de hipocótilos de plantas muy jóvenes cultivados en condiciones estériles. Siguiendo la metodología propuesta por *Dublin*, los tallos producto de las yemas neoformadas en las «explantas» desarrollan raíces 8 a 10 semanas después de iniciado el cultivo, o sea luego de 3 ó 4 semanas de cultivo en el nuevo medio. Se sabe que con el uso de esta técnica no ocurren pérdidas y las nuevas plantas pueden ser trasladadas al campo 10 a 15 meses después del inicio del cultivo.

Las investigaciones han permitido concluir que los cafetos Arabusta y los Arábica aparentemente son más aptos que los Robusta para la formación *in vitro* de yemas. La técnica se manifiesta como muy promisoría.

El uso del injerto hipocotiledonar, si bien no corresponde exactamente a un método de reproducción asexual, presenta una similitud, y su empleo resulta económico e importante en determinadas circunstancias. Su uso principal ha sido en el control de enfermedades y plagas del sistema radical, a las que el patrón es resistente. A menudo éste se adapta mejor al clima que el injerto. La descripción de la primera técnica investigada fue dada a conocer por Reyna [118]. El injerto hipocotiledonar se practica ahora en Guatemala en escala comercial para el control de nemátodos. En El Salvador se ha demostrado que mediante injerto se obtienen cosechas superiores al usar distintas especies e híbridos como plantas patrón [1].

Otro método de injerto de clones lo ilustra el enchapado de una yema conservando la hoja. En este caso, las dos operaciones, injerto y preparación de la estaca, se hacen simultáneamente. El porcentaje de enraizamiento se sitúa entre 80 y 90%. La técnica ha sido usada injertando un Robusta sobre una estaca del híbrido Congusta. Este híbrido se desarrolla mejor que el Robusta en ciertos suelos.

En Kenya se ha utilizado un método de injerto directamente sobre los brotes [143]. En El Salvador se usa en el presente la técnica de reproducción por injerto de cultivares resistentes a la Roya sobre brotes de recepas del cultivar Pacas o de élites de «Bourbon» [73].

## 2.4 Siembra de plantaciones nuevas

El método de preparación del terreno para la siembra de plantaciones nuevas, varía según la pendiente y la disponibilidad de maquinaria agrícola. En las condiciones de Brasil la preparación del suelo se hace a máquina en su totalidad, cuando las haciendas cuentan con los medios tanto por la calidad ideal de topografía que prevalece en las distintas regiones cafetaleras, como por las condiciones físicas de los suelos y por la gran extensión que se cultiva. En los países de América Central, con frecuencia el uso de maquinaria no es práctico, por lo que la siembra de las plantaciones nuevas se convierte, en la mayoría de los casos, en un trabajo manual [91]. En los dos primeros casos la operación de limpieza se hace a mano y a menudo resulta técnicamente aconsejable practicar la «quema» de los desechos vegetales. Una vez hecha esta labor es muy ventajosa la aplicación de herbicidas de acción total.

Cuando la preparación del suelo no ha sido hecha a máquina, la hechura de los hoyos puede hacerse con la ayuda de taladros mecánicos. Cuando no se puede hacer la labor de esta manera, el único recurso que queda es hacerla manualmente. El tamaño de los hoyos varía según la fertilidad del suelo, de 30 a 50 cm en cuadro, por una profundidad de 30-40 cm. El tamaño más grande se recomienda para suelos pobres o en los muy arcillosos. En este caso al momento de la siembra se llenan con suelo procedente de la capa superficial contigua. Los hoyos que se hacen a máquina, son por lo general, más pequeños.

## Densidad de siembra

La densidad de siembra de una plantación nueva ha de ser consultada antes con técnicos enterados de los resultados de la investigación a largo plazo. En términos generales, la distancia de siembra depende del porte de la variedad, el clima, la fertilidad de los suelos y el sistema de poda y manejo de la plantación que se desea adoptar en un futuro. Cuando se trata de las plantaciones de Catuai, Caturra, Pacas o Villa Sarchi (porte pequeño), la experimentación a largo plazo ha demostrado que una alta densidad de siembra favorece la obtención de altas cosechas. Para estos cultivares, distancias de  $0.84 \times 1.68$  m son muy comunes [32]. Sin embargo, algunos caficultores prefieren usar una densidad de siembra menor, en favor de un mejor aprovechamiento de la luz, por lo que utilizan distancias de siembra de  $1 \times 2$  m. Altas densidades de siembra se recomiendan desde la década del 60 [92]. En los países en donde se hace uso de maquinaria se usan mayores distancias entre hileras, de 2.75–3.0 y hasta 4 m, a efecto de que la maquinaria (cultivadoras, sembradoras, abonadoras, etc.), tengan campo suficiente y no dañen en su paso las partes distales de las ramas. En estos países existe una tendencia a reducir un poco la distancia entre plantas para aumentar la densidad de siembra sin disminuir mucho la distancia entre hileras.

En Brasil el espaciamiento que se aconseja depende del tipo de manejo futuro de la plantación, una vez que entra en plena producción (Cuadro 2.4). En este país las plantaciones se manejan ya sea a «libre crecimiento» o «bajo crecimiento controlado» [26]. En el primer caso el espacio entre arbustos es mayor (menor número de plantas/hectárea), la poda es tardía, el costo de establecimiento es menor y el suelo se desgasta más. Bajo el sistema de crecimiento controlado se aconseja hacer las plantaciones con mayor densidad de siembra y la poda debe ser hecha mucho antes en comparación con el sistema a libre crecimiento. La siembra más densa está dando muy buenos resultados en Brasil.

Se tiene conocimiento que en Colombia no es raro encontrar plantaciones con 10 000 arbustos/hectárea, mediante el uso de distancias de siembra muy cortas

Cuadro 2.4 Densidad de siembra en Brasil [26]

Variedad	Espaciamiento básico	Nº de ejes/cova
Cafetales a libre crecimiento		
Mundo Novo .....	$4 \times 2.5$ m	2 a 6
	$4 \times 1$ a 2 m	2 a 4
Catuai .....	$3.5 \times 2.5$ m	2 a 6
	$3.5 \times 1$ a 2 m	2 a 4
Cafetales con crecimiento controlado		
Mundo Novo .....	$2 \times 1$ a 1.5 m	2 a 4
Catuai .....	$1.5 \times 2 \times 1$ a 1.5 m	2 a 4
	1 a $1.5 \times 1$ a 1.5 m	1 a 2

(1 × 1 m). Es obvio que las plantaciones con tan alta densidad de siembra requieren de renovación periódica de la madera de producción, mediante un sistema de rotación, como se recomienda en Colombia y en Kenya. En este último país la densidad de siembra más común es de 2.75 × 2.75 m, tanto en plantaciones grandes como pequeñas [98]. Esta siembra en cuadro favorece la fumigación. En plantaciones grandes se acostumbró sembrar a mayor densidad de siembra (1.53 × 3.05 m) lo que daba la opción de arralar después de dos cosechas. En siembras rectangulares las distancias más comunes eran 3.05 × 2.44 y 3.05 × 2.13 m (10 × 8 y 10 × 7 pies). Estas densidades permitían el cultivo y la atomización con tractor, así como la aplicación de la cobertura muerta (mulch) en la banda. En Kenya la investigación sobre espaciamento se inició desde 1959, publicándose los resultados en la década del 70 [95, 96, 97, 98]. De estas proliferas investigaciones se concluyó que en las condiciones de Kenya el espaciamento más aconsejable es de 1 × 2 m (5000 plantas/hectárea) en bloques de 10–12 m de ancho separados por avenidas para atomización de 3 m de ancho [98].

En El Salvador, las distancias de siembra varían desde 2.32 × 2.32 m (1587 plantas por hectárea) para la variedad Bourbon, hasta 7143 plantas por hectárea con la variedad Pacas (distancia de siembra de 0.84 × 1.68 m) [86].

En Costa Rica las variedades de porte alto como Mundo Novo se aconseja plantarlas a una densidad de siembra de 4570 plantas/hectárea. En los cultivares de porte pequeño, como el Caturra, la recomendación, producto de la experimentación a largo plazo, es de 6000 a 7143 plantas por hectárea en terrenos planos y dependiendo de la vertiente [66]. La mayor densidad de siembra se aconseja cuando las plantaciones se sitúan en regiones afectadas por el clima de la vertiente pacífica o en la Meseta Central. Para las variedades de porte bajo las distancias recomendadas son 1.68 m entre líneas × 0.84 m ó 1.05 m entre plantas [66]. Para las variedades de mayor crecimiento como el Mundo Novo se recomiendan distancias desde 2.0 × 1.68 m hasta 1.89 × 1.26 m. El cultivar Catuaí se recomienda sembrarlo a 1 × 2 m.

En Kenya se ha encontrado que las densidades óptimas por lo general han sido mayores para la cosecha que se produce entre dos y tres años después de la siembra en comparación con la que se obtiene en años siguientes [25]. Las cosechas durante el primer ciclo han sido analizadas por medio de relaciones matemáticas entre cosecha y densidad obtenidas en ensayos de campo. Los resultados obtenidos se consideran aún tentativos, puesto que se desconoce el comportamiento de altas densidades de siembra durante el segundo ciclo. Las curvas reportadas mediante el empleo de la ecuación sugerida por Holliday [1960] aplicada a un ensayo que se adelanta en varias localidades aparece en la Figura 2.1. La referida ecuación (se sugiere al interesado consultar el artículo original [25]) es la siguiente:

$$1/y = a + bp + cp^2, \text{ donde,}$$

y = cosecha por planta  
p = densidad de siembra

a, b y c, coeficientes cuyos valores pueden ser hallados para un conjunto dado de datos por regresión cuadrática de 1/y sobre p.

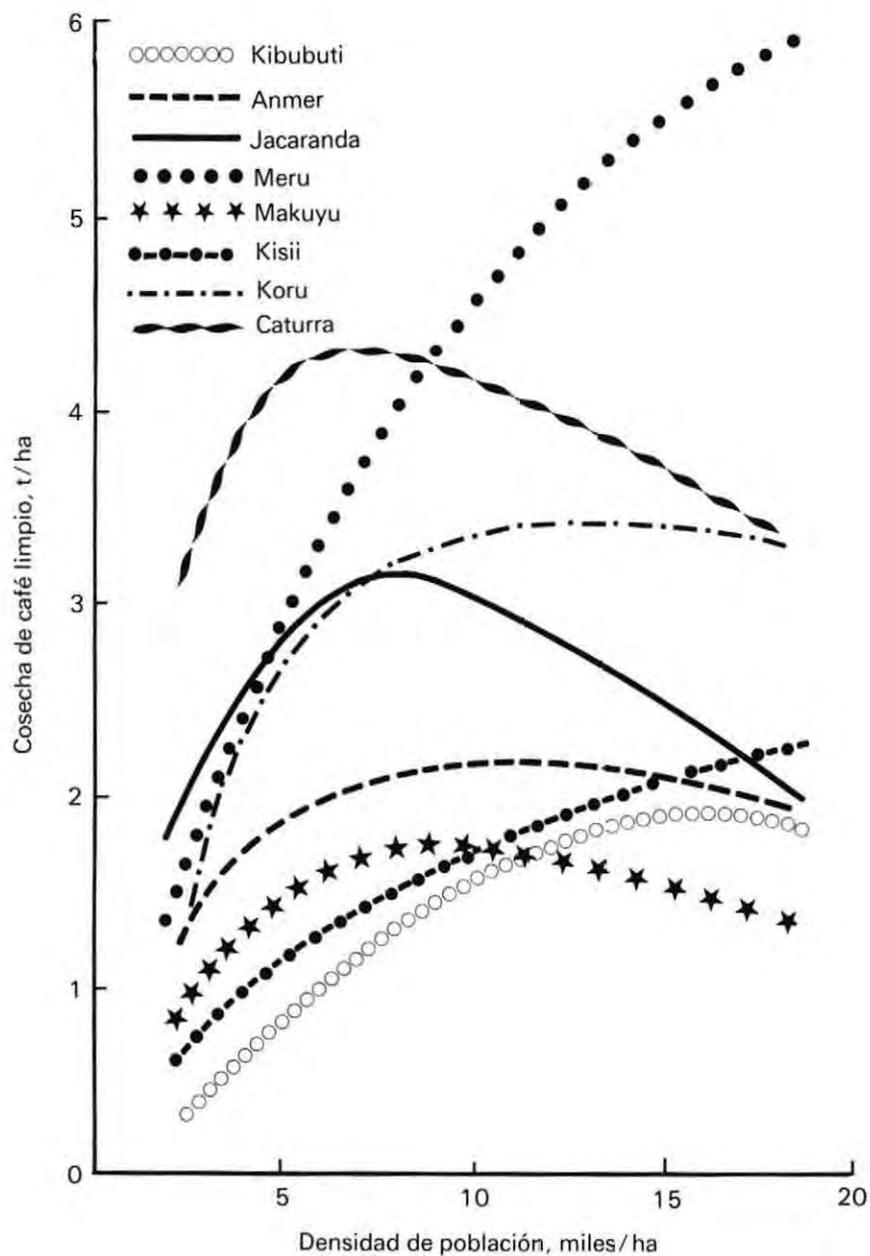


Figura 2.1 Relación cosecha/densidad de siembra [25].

Estas investigaciones tienden también al conocimiento de las tendencias del peso medio de los frutos y del porcentaje de cosecha temprana *versus* densidad de siembra. En la Figura 2.1 se aprecia la relación cosecha/densidad de siembra obtenida en un ensayo realizado en Kenya. La obtención permanente de ramas jóvenes y tejido fotosintético complementa este factor [71, 140].

### 2.4.1 Implicaciones fisiológicas en plantaciones con alta densidad de siembra

En relación al cambio de bajas a altas densidades de siembra se han señalado algunos puntos de vista de orden fisiológico, entre ellos disponibilidad de agua, el efecto de la luz y los posibles problemas nutricionales [80]. Estos trabajos, realizados en Kenya, han puesto en evidencia que el cafeto resulta adaptable a altas densidades de siembra debido al bajo requerimiento de luz que experimenta para el proceso fotosintético. En relación a la exigencia de agua, se concluyó que parece ser sólo ligeramente incrementado, puesto que la eficiencia de uso del agua de una alta densidad de siembra es mayor que en la densidad de siembra tradicional. Aparentemente el requerimiento de fertilizantes no es mayor en una alta densidad de siembra.

El efecto de un autosombreado excesivo en plantaciones con alta densidad de siembra podría ser neutralizado en parte mediante aplicación de CCC o Cycocel (2-cloroetil-trimetil-cloruro de amonio) un retardador del crecimiento. La aplicación de este compuesto se puede hacer en solución acuosa al follaje a razón de 1000 ppm (4 aplicaciones a intervalos semanales). El aumento de cosecha que se ha logrado en estos ensayos ha sido de 30–55%. El ácido N-dimetil-amino-succinámico no tuvo efecto. En estas investigaciones se encontró que la concentración de giberelinas llega a ser muy alta debido al exceso de sombreado en condiciones de alta densidad de siembra. De hecho esto reduce la iniciación de la floración y la capacidad para producir frutos. El CCC retarda la biosíntesis de las giberelinas produciendo así efectos contrarios a los que se dan en presencia de una alta concentración de esta sustancia.

### 2.4.2 Siembra de variedades de alta producción

La siembra de variedades de alta producción, constituye, junto con la alta densidad de siembra, uno de los principales factores que influyen en la productividad de las plantaciones. El trabajo de mayor calibre realizado en el campo de la genética del café *C. arabica* ha sido hecho en Brasil por *Carvalho y sus colaboradores*, sumariado recientemente [35]. Semilla de alto valor genético ha sido distribuida desde hace tiempo, desde Campinas, Brasil, a un número grande de países productores de café, donde la investigación aplicada, efectuada a *posteriori*, prueba permanentemente el comportamiento de este precioso material genético mejorado. En la Costa de Marfil, la producción del híbrido interespecífico Arabusta constituye, asimismo, un avance muy importante en la caficultura del Continente Africano [28].

En relación al uso de variedades de alta producción, puede decirse que un número de países ha seleccionado algunas de las que aún hoy recomiendan, junto con cultivares

producidos en Brasil, como Caturra, Mundo Novo y más recientemente Catuai. En Brasil se pone especial énfasis en el uso de Catuai (cultivar derivado del Mundo Novo y del Caturra), por su gran productividad, aunque susceptible al ataque de la Roya (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.). En este particular los genetistas están concentrando la mayor parte de su esfuerzo hacia la obtención de selecciones no solamente de alta productividad y precoces, sino a la vez con resistencia a la Roya. Este objetivo ha culminado hasta hoy con la obtención de los Catimores (cruces de Caturra con Híbrido de Timor), los cuales se destacaron desde un principio por su resistencia probablemente horizontal a la Roya o Herrumbre. En el presente en Brasil se está llevando a cabo un trabajo de selección muy importante con varios linajes de Catimor, con el propósito de encontrar el que mejor se adapte a las necesidades de la caficultura contemporánea: alta productividad y resistencia a la Roya. El Cavimor (Catuai × Catimor) exhibe características semejantes.

El *Instituto Salvadoreño del Café (ISIC)* ha venido desde hace mucho tiempo haciendo investigaciones en *Coffea arabica*, *C. canephora* y *C. liberica*. No obstante, la única especie cultivada es la *arabica*. Las otras se usan solamente en ensayos con injerto, en la producción de híbridos, etc. Las variedades más cultivadas en orden de importancia son: Bourbon, Pacas (variedad originaria de El Salvador como mutación de Bourbon, cuyas flores y frutos son iguales al Caturra de Brasil y al Villa Sarchi de Costa Rica). El *ISIC* en su programa de mejoramiento genético ha obtenido unas selecciones denominadas «Élites». La semilla de estas variedades, al igual que de otras, son vendidas por el *ISIC* todos los años a los caficultores. Se estima que este ha sido uno de los factores que más ha contribuido en El Salvador a elevar el promedio de producción nacional por unidad de superficie. La variedad Bourbon la recomienda para alturas de >1000 m.s.n.m., mientras que la variedad Pacas para altitudes comprendidas entre 400 y 1000 m [32].

En Kenya se recomiendan variedades como la SL 28 y SL 34. Además también usan el Caturra. Experimentalmente han sumado otras a la lista, como K. 7, Montaña Azul (Blue Mountain), Sudan, Rume, Erecta, Híbrido de Timor y Padang [96]. Se tiene conocimiento que en Colombia está muy difundido, por su amplio margen de adaptabilidad, el Caturra. Este país cuenta con un programa de mejoramiento genético desde hace muchos años.

En Costa Rica, país en donde al presente se produce una de las mayores cantidades de café por unidad de superficie, se adelantan experimentos de campo donde se someten a prueba las últimas selecciones de café para investigar su grado de adaptación. En el Cuadro 2.5 se transcriben los datos más recientes [115]. De las cifras que se consignan se deduce que la influencia del clima afecta la productividad del café. He aquí la importancia de contar con ensayos simultáneos en varios ecosistemas.

Sigue siendo valedera la aseveración que el potencial de producción del conjunto de linajes de la variedad *typica*, no es elevado, motivo por el cual se la continúa sustituyendo por otras de mayor producción [34]. Costa Rica, El Salvador y Kenya, son los países que en la década pasada, obtuvieron por su orden, el liderazgo de la más alta producción de café por unidad de superficie en el mundo [55]. Cabe añadir que el mundo cafetalero está en deuda con Brasil en lo que respecta al suministro de semilla mejorada de *C. arabica*.

Cuadro 2.5 Producción comparada de seis cultivares de café (Costa Rica), promedio de cuatro cosechas (kg/ha) [115]

Experimento N°	Cultivares					
	Catuái	Caturra	Mundo Novo	Híbrido Tico	Geisha	K.P. 423
1 .....	16 659	15 490	13 604	12 170	11 494	10 782
2 .....	13 550	11 143	8 609	7 794	8 697	7 562
3 .....	12 446	10 975	11 006	9 786	9 502	8 055
$\bar{X}$ .....	14 218	12 536	11 073	9 917	9 898	8 800
% .....	143	126	112	100	100	89

Localización .....	Altura m.s.n.m.	T°C ( $\bar{X}$ )	Precipitación mm/año	Clasificación del suelo
1. Heredia .....	1169	20.5	2240	Andept
2. Valverde Vega ....	1000	22.0	2515	Andept
3. Alajuela .....	1400	19.1	3280	Andept

En Kenya el programa de mejoramiento genético apunta hacia la obtención de linajes resistentes a la Roya y al hongo *Colletotrichum coffeanum* Noak.

## 2.5 Control de malas hierbas

El control de malas hierbas se hace mediante el empleo de cuatro métodos, a saber: manual, mecánico, químico y mediante aplicación de cobertura muerta [21, 52, 94].

### Control manual

El método manual de control de malas hierbas es similar en los distintos países. Lo único que cambia es el tipo de herramienta que se usa. Para tal fin se emplean cuchillos o machetes largos y planos, machetes de suelo, azadas, palas, etc. Este método ofrece la desventaja del alto costo, el cual a su vez se hace acompañar con alguna frecuencia de escasez de mano de obra. En los países en donde la mecanización ocupa un primer lugar, el control manual queda relegado a las tierras donde por razones de relieve del terreno la mecanización no es posible. El método se emplea con más frecuencia a nivel de minifundio.

### Control mecánico

El control mecánico se hace con cultivadoras relativamente livianas tipo «planet» o por medio de rastras de disco pequeñas [52]. En este caso la eficiencia de la opera-

ción depende del tamaño de las malas hierbas (cuando las hierbas exhiben una altura máxima de 10 cm).

El control mecánico mediante tracción animal es apropiado en plantaciones de tamaño pequeño.

El control mecánico mediante tracción motorizada se realiza con cultivadoras y equipos relativamente pesados. Un ejemplo clásico lo constituye Brasil, donde la mayoría de las haciendas cafetaleras ocupan grandes extensiones y el relieve del terreno es apto para este tipo de labores. El empleo de este método requiere de una distancia de siembra adecuada entre las hileras. Suelos con pendientes mayores de 15-20% no son aptos para mecanización tractorizada [81]. El método presenta la ventaja del volumen de cobertura diaria por unidad de trabajo. Sin embargo, debe ser reconocido que el equipo es costoso y que en las grandes haciendas se requiere del mantenimiento de un taller mecánico. Es particularmente indicado en cafetales nivelados y con un buen espaciamiento entre las hileras. El control mecánico mediante tracción motorizada ofrece el inconveniente de que altera la estructura del suelo y produce con el tiempo un alto grado de compactación. En cuanto a los implementos que se emplean con tracción mecánica, se hace uso desde un tipo de cultivadoras idénticas a las que se utilizan para tracción animal, aunque de mayor tamaño, hasta equipos más complejos para labores más especializadas. Una revisión exhaustiva de este tema ha sido discutida en Brasil, país donde el cultivo mecanizado ha alcanzado el mayor grado de desarrollo [52]. Cuando los suelos se compactan en virtud del paso permanente de maquinaria pesada se requiere favorecer la aeración, lo que se consigue mediante el paso periódico de un subsuelador en la cercanía del sistema radical de los cafetos.

#### *Control mediante cobertura muerta*

El uso de cobertura muerta limita el crecimiento de las malas hierbas, además, mejora las relaciones hídricas, controla la erosión y es una fuente importante de suministro permanente de nutrimentos [21]. Su uso se limita a los países en donde el empleo de cobertura muerta se recomienda como una práctica cultural deseable, para favorecer especialmente un mejor aprovechamiento del agua disponible. Su empleo tiene limitaciones por la mano de obra requerida (Capítulo 3).

#### *Control químico*

El control químico de las malas hierbas hace uso de compuestos sintéticos con poder destructivo para los vegetales. La utilización de herbicidas puede tener lugar como aplicación sola o en combinación con otras prácticas culturales. A pesar de las bondades que se derivan de la aplicación de este método, su empleo presenta algunas desventajas [52]: a) se requiere de mano de obra especializada; b) cuando se usan mal pueden causar daño a los cafetos y al medio ambiente; c) se debe tener algún conocimiento sobre las plantas invasoras.

## 2.5.1 Uso de herbicidas

Por su modo de acción, los herbicidas se agrupan de tal suerte que puedan distinguirse unos de otros: preemergentes, posemergentes, de contacto y sistémicos [114]. Algunos compuestos tienen la cualidad de poner de manifiesto un efecto de selectividad en su modo de acción, vale decir, la propiedad de ejercer su acción fitotóxica sobre un determinado grupo de plantas, sin afectar a las otras especies a las que no se les quiere causar daño. A los productos que exhiben esta propiedad se les denomina herbicidas selectivos, existiendo, además, los denominados selectivos específicos, cuyo modo de acción permite que se usen únicamente en uno o varios cultivos a los cuales no causan daño alguno. El grupo de herbicidas no selectivos, no tienen discriminación alguna sobre las plantas con las cuales entran en contacto.

### *Mezclas de herbicidas*

Las mezclas de herbicidas por lo general tienen la virtud de aumentar el número de especies sobre las cuales se desea ejercer control. Algunas mezclas exhiben un efecto sinérgico, vale decir, que la acción letal de uno de los componentes de la mezcla aumenta su efectividad cuando está en presencia de otro y viceversa. Lo que se persigue con las mezclas es aumentar su efecto letal, tratando de evitar, claro está, antagonismos indeseables. Por lo general las mezclas se hacen, salvo excepciones, en el momento en que se van a aplicar, pues algunas pierden su efectividad transcurrido algún tiempo.

La aplicación de herbicidas solos o en mezcla requiere de coadyuvantes (adherente-humectantes).

### *Modo de empleo de los herbicidas*

La aplicación de herbicidas se hace con equipos en concordancia con la topografía, el tamaño de la plantación y la disponibilidad de maquinaria y de mano de obra.

Un equipo muy común es el manual de espalda, que consiste en una bomba que mantiene presión constante y que hace uso de una boquilla de abanico por lo general N° 11 002, 8002 ó 6502. Con este tipo de boquillas se aplica un volumen de aproximadamente 15 litros en un tiempo de 20 minutos. Estas bombas por lo general trabajan a 40 libras de presión. La investigación se dirige hacia el uso de equipos de bajo volumen.

Existen otros equipos de mayor capacidad de trabajo que se acoplan directamente al tomafuerza de un tractor. El equipo completo consta de mangueras, una bomba y pistolas regadoras. La presión de trabajo es de aproximadamente 60 libras.

### *Epoca de aplicación*

La aplicación de herbicidas preemergentes se hace cuando las malas hierbas aún no han germinado. El control más efectivo y económico se logra con la aplicación de herbicidas cuando las hierbas están tiernas, ya sea que se trate de la aplicación de

herbicidas sistémicos o de contacto, evitando asperjar el follaje de las ramas del cafeto más cercanas al suelo. En este particular lo más dañino al cultivo son los herbicidas sistémicos, pues la planta los absorbe por la hoja y los traslada en su interior, vía floema. El herbicida 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético), de uso tan común por ser selectivo para el control de malezas de hoja ancha, cae dentro de esta categoría.

### 2.5.2 Fórmulas básicas para el control de malas hierbas

La investigación en materia de herbicidas, sugiere el uso de las fórmulas básicas siguientes [87]:

#### a) Fórmula de acción total

<i>Herbicida</i>	<i>Dosis cc/190 litros de agua</i>
Gramoxone (Paraquat)	500 a 700
2,4-D (de 1.84 kg/3.78 litros)	670 a 1000
Coadyuvante	150

#### b) Fórmula selectiva para el control de gramíneas

<i>Herbicida</i>	<i>Dosis/190 litros de agua</i>
Dalapón 85%	2.3 kg
Coadyuvante	150 cc

En lugar de Dalapón puede usarse TCA (ácido tricloroacético) a razón de 4.6 kg/190 litros de agua, o una mezcla de ambos según se detalla a continuación.

#### c) Mezcla de Dalapón y TCA para el control de gramíneas

<i>Herbicidas</i>	<i>Dosis/190 litros de agua</i>
Dalapón 85%	2 kg
TCA	1 kg
Coadyuvante	150 cc

#### d) Fórmulas a base de Round-up (glifosato), de acción total

<i>Herbicida</i>	<i>Dosis</i>
1. Round-up	700-1000 cc*/190 litros de agua
2. Round-up	400-500 cc/190 litros de agua
Dalapón 85%	1.84 kg

\*Estas dosis se pueden mezclar con 1.84 kg de sulfato de amonio, para un mejor efecto

Medio litro de Round-up/40 l es suficiente para cubrir 0.7 ha cuando se aplica con boquilla de bajo volumen

La investigación efectuada en Brasil en relación al uso de herbicidas en plantaciones de café, se transcribe en los Cuadros 2.6 y 2.7.

Cuadro 2.6 Herbicidas para cafetales [52]

Nombre técnico	Nombre comercial	Dosis kg o l/ha	Control
De preemergencia			
Pendimetalín	Herbadox	1.5-3	Hojas angostas
Oryzalin	Surflán	1.3-2	Hojas angostas
Napropamid	Devrinol	4-6	Hojas angostas
Metoalaclor	Dual	2.5-3.5	Hojas angostas
Alaclor	Lazo	4-6	Hojas angostas
Trifluralin	Triflán	0.8-2.4	Hojas angostas
	Herbiflán		
	Marcap		
Metribuzin	Lexone	0.3-0.7	Hojas angostas
	Sencor		
Oxifluorfen	Goal	2-3	Acción total
Diurón	Karmex	2-4	Acción total
	Diurón		
Fluometurón	Cotorán	2-4	Acción total
Simazina	Gesatop 80	1.3-2.5	Acción total
	Hebazin 80		
Ametrina	Gesapax 80	1.2-3.8	Acción total
	Hebipax 50		
De posemergencia			
2,4-D Sal amina*	2,4-D	1.5-3.5	Acción total
MCPA	Agroxone	1.5-3	Acción total
Paraquat	Gramoxone	1.5-3	Hojas angostas
Diquat	Reglone	1.5-3	Hojas anchas
MSMA	Daconate	4-5	Hojas angostas
Glifosato	Round-up	2-4	Hojas angostas
Dalapón	Basfapón	5-10	Hojas angostas
	Secafix		

\* A usarse también como herbicida de preemergencia

El uso de mezclas de herbicidas ha sido probado en la mayoría de los países caficultores. La mezcla de Gramoxone (Paraquat) con Diurón (Karmex), al inicio de la estación lluviosa, ha sido encontrada como muy promisoría en Costa Rica, Brasil e inclusive en Kenya [94]. Sin embargo, el uso del Diurón debe restringirse preferiblemente a una sola aplicación por año, debido a su largo efecto residual. Se estima que la aplicación de esta mezcla, combinada con el control subsiguiente a base de Gramoxone, da resultados muy satisfactorios en la mayoría de las condiciones que prevalecen en las plantaciones de café.

El uso de Round-up, según información proveniente de Kenya, ejerce un control total de las malas hierbas, tanto de gramíneas como de especies de hoja ancha. No obstante, la aplicación «no dirigida» se ha encontrado que causa daño a los nuevos brotes del café [36]. La investigación con productos nuevos tiene lugar en la mayoría de los países productores de café, como programa de rutina. La gama de compuestos herbicidas que hoy recomiendan usar ha sido sumariada recientemente [77].

Cuadro 2.7 Algunas mezclas de herbicidas empleadas en cafetales [52]

Nombre técnico	Dosis kg o l/ha	Control
De preemergencia		
2,4-D + Atrazina	2+1.5	Hojas anchas
2,4-D + Simazina	2+1.5	Acción total
2,4-D + Alaclor	2+2	Acción total
Simazina + Alaclor	1.7+1.5	Acción total
Atrazina + Alaclor	1.7+1.5	
Diurón + Alaclor	1.7+1.5	
De posemgerencia		
2,4-D + Glifosato	1+1.5	Acción total
2,4-D + Diurón	2+1.5	Acción total
2,4-D + Dalapón	2+3	Acción total
2,4-D + Ametrina	2+1.5	Acción total
Ametrina + Simazina	1.7+1.5	Acción total
Paraquat + Diurón	1+1.5	Acción total
MSMA + Diurón	4+1	Acción total
Paraquat + Diurón	2+1	Acción total
Paraquat + Diquat	1+1	Acción total

### 2.5.3 Aspectos económicos

Al presente no existen patrones que sirvan de guía en relación a la «economía de la aplicación de herbicidas» en comparación con otros métodos de control. El costo del control químico varía mucho, dependiendo del suelo, las condiciones climáticas y el tipo de malas hierbas que predominan en cada localidad [99].

En algunos lugares, en donde la distribución de las lluvias no sigue un patrón de estaciones marcadas y la presencia de gramíneas es alta, el control químico por lo general resulta costoso. Donde el control químico no es económico y en los lugares en donde la erosión es problema en ausencia de cobertura muerta, es preferible dejar que las hierbas crezcan un poco durante la estación húmeda y practicar un control esporádico. La erradicación de las especies más dañinas e invasoras puede tener lugar a la salida de las lluvias. Se debe poner énfasis en el hecho de que el control químico de malas hierbas se debe aconsejar cuando no exhiben un tamaño mayor de 10–15 cm, pues el costo de aplicación aumenta a medida que su porte es mayor. El efecto de permitir que las plantaciones permanezcan en la estación húmeda con alta competencia de malas hierbas, es contraproducente, aun cuando sus efectos a menudo pasen desapercibidos para el caficultor. En tales condiciones los cafetos muestran déficit hídrico durante los periodos sin lluvia. Además, pueden experimentar deficiencia de nutrimentos [21]. Los frutos alcanzan finalmente un menor tamaño. Lo anterior significa que el dinero que el caficultor invirtió en fertilizantes minerales u orgánicos, en buena parte no lo está aprovechando el cultivo, pues los nutrimentos adicionados al suelo alimentan simultáneamente a las especies vegetales indeseables. Se concluye que desde el punto de vista económico, el control de las malas hierbas debe ser hecho desde el inicio de la estación húmeda.

## 2.5.4 Papel de los herbicidas en el cultivo intensivo

Existe consenso que una de las formas de incrementar la productividad del café es mediante la siembra a menores distancias, lo que aumenta considerablemente el número de cafetos por hectárea que tradicionalmente se sembraba [93]. En algunos países, como Kenya, por muchos años se recomendó el uso de tractores, aunque relativamente pequeños en algunos casos, para realizar las labores culturales requeridas. Con el uso, cada vez mayor de equipos de espalda motorizados, la atomización resulta muy eficiente, por lo que las distancias de siembra pueden ser menores que en el pasado. En Kenya en la década del 70 ya se afirma que la distancia de siembra debe ser disminuida en las plantaciones de café, quizá hasta alcanzar densidades de 8970 arbustos/hectárea [93].

Una ventaja se suma al usar herbicidas en lugar de cultivadoras mecánicas, habida cuenta de que las raíces del café desarrollan totalmente en la parte superior del suelo, pues no son destruidas por las labores culturales. Lo anterior permite un máximo de absorción de nutrimentos de los fertilizantes que se aplican y afectan los primeros 2.5–5.0 cm de la parte superior del suelo, donde precisamente se dan las mejores condiciones de aeración para la absorción y traslación de nutrimentos.

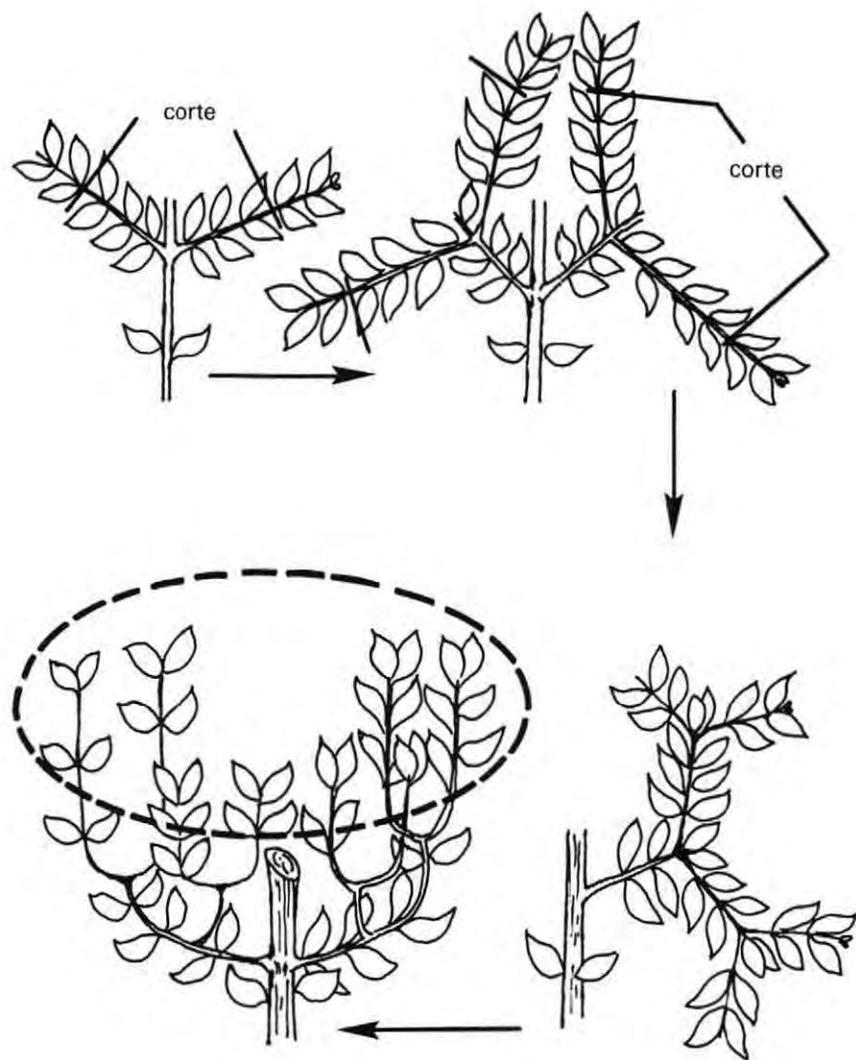
En Kenya consideran que es imperativo que la aplicación de cobertura muerta sea integrada a la aplicación de herbicidas, bajo un sistema que no haga uso de cultivo mecánico. De esta manera la erosión se reduce a un mínimo. La cobertura muerta vendría a restringir el desarrollo de las malezas con lo cual el costo de aplicación del herbicida queda reducido a un mínimo. Además, al no existir labores culturales mecánicas, la cobertura muerta persistiría por más tiempo lo cual a su vez reduce el costo de esta práctica cultural, tan generalizada en otros países. Cabe agregar que una alta densidad de siembra, *per se*, reduce el costo del control químico de malas hierbas a partir del tercer año, debido a la competencia por luz que se genera.

## 2.6 Formación y poda de los arbustos

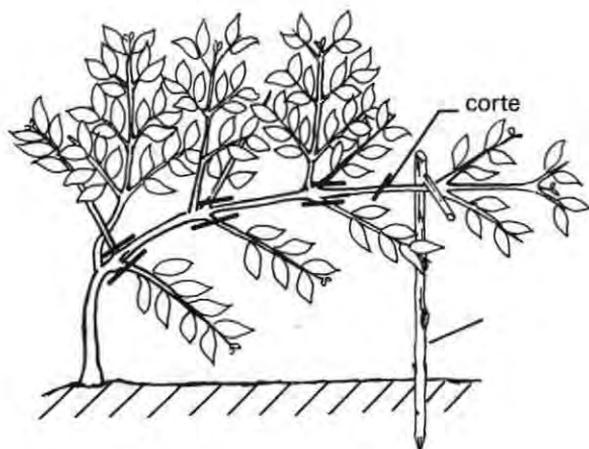
Los arbustos o las «unidades de producción» deben ser preparados desde temprana edad, a igual que cuando adultos, para producir más y para reducir su altura, con lo que se facilitan las operaciones de cosecha. La supresión de la dominancia apical y la alteración del equilibrio hormonal en el eje ortotrópico permiten alcanzar estos objetivos. En las Figuras 2.2–2.4 se ilustran algunos métodos.

Las razones que han sido señaladas por las cuales se debe podar el café, son las siguientes [53, 116]:

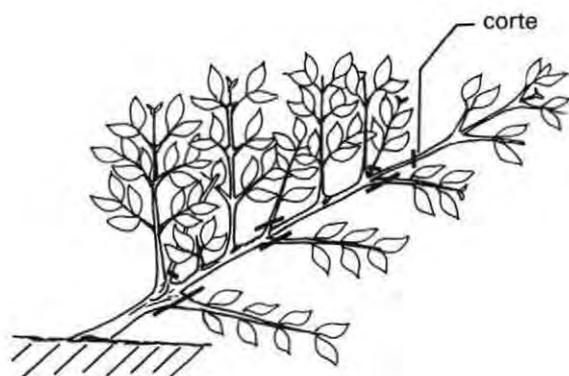
1. Mantenimiento de una adecuada relación cosecha/follaje
2. Regulación del nivel de producción
3. Ayuda en el control fitosanitario
4. Apertura de los arbustos a la luz y al aire
5. Evitar muerte descendente (die-back) en ramas primarias y raíces
6. Facilitar la recolección de la cosecha



*Figura 2.2* Representación esquemática de la poda de ramas plagiotrópicas conducente a la formación de la «crinolina» del café.

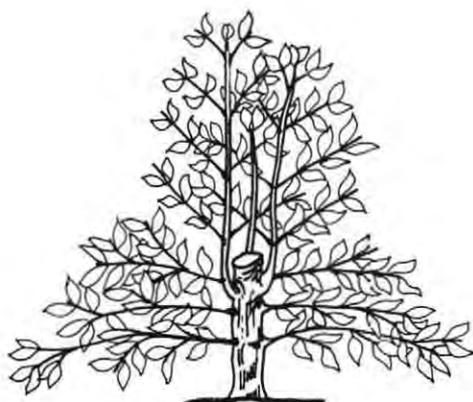


a) Agobio

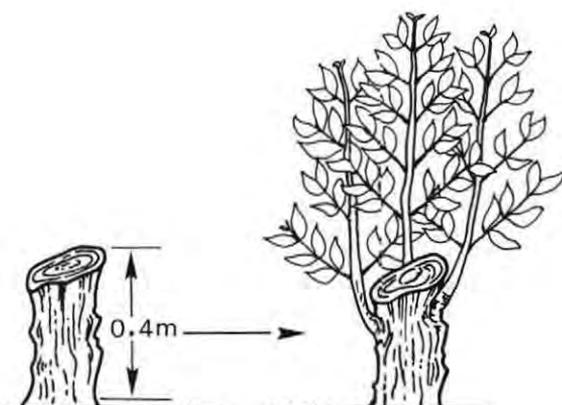


b) Siembra en posición inclinada

*Figura 2.3* Obtención de plantas de tallo múltiple después de la siembra a partir de arbustos de un solo eje (selección de brotes); a) Agobio; b) Siembra en posición inclinada.



a) Mediante poda por calle o bajo sistema de poda por parche



b) Recepa total. Nótese la ausencia de ramas plagiotrópicas en la base del tronco

*Figura 2.4* Formación de arbustos adultos por poda de rejuvenecimiento; a) Mediante poda por calle o bajo sistema de poda por parche. Cuando las «unidades de producción» son de tallo múltiple, también se debe seleccionar un número adecuado de brotes.

En relación a sistemas de poda se han propuesto varios conocidos bajo distintos nombres: agobio o poda de Guatemala, poda colombiana, poda hawaiana, poda de Costa Rica, poda brasileña, poda de Kenya, etc. Algunas modalidades que se han sugerido en algunas de éstas caen en la categoría denominada poda de formación, mientras que otras se agrupan dentro de la categoría de poda de producción [47, 109]. La poda debe ser efectuada como paso siguiente a la recolección de la cosecha.

### 2.6.1 Poda en Brasil

En Brasil se practican varios tipos de poda. En cafetales que están empezando a cerrar se recomienda bajar la altura del arbusto mediante descope. También se practica el llamado «esqueletamiento». En cafetales que muestran un estado muy avanzado de entrelazamiento del dosel se recomienda la recepa, o sea un sistema de poda conducente a la formación de una nueva planta a partir de una adulta agotada [52].

Al tipo de poda denominado descope, también se le denomina «poda alta», precisamente porque se practica a una altura, ya sea de 1.50 m o de 1.70 m. Esta poda se recomienda aplicarla en toda la plantación, cuando se tiene la certeza de que la cosecha del año siguiente va a ser muy baja, razón por la cual se practica inmediatamente después de la recolección. El corte se efectúa con serrucho. Cuando el descope se hace a una altura de 1.70 m se eliminan todos los brotes cuyo crecimiento se estimula en las yemas que salen del corte. Cuando la poda alta se practica a 1.50 m de altura se dejan los nuevos brotes a libre crecimiento por 3 ó más años. Posteriormente se practica una nueva poda a la misma altura. En cuanto a la aplicación de fertilizantes, recomiendan suplir la misma dosis/arbusto en cafetales tanto podados como no podados. A menudo se refuerza un poco el nitrógeno para obtener una mejor recuperación del cafetal.

El método de poda denominado «esqueletamiento» se practica en todas las hileras. La poda consiste en cortar todas las ramas plagiotrópicas a una distancia de 10 a 15 cm del tronco principal, practicando al mismo tiempo la llamada poda alta (descope) en la rama de crecimiento ortotrópico. La planta así podada se obliga a producir en cada una de las ramas plagiotrópicas, dos o más ramas productoras secundarias, con lo cual la plantación se restablece en cuanto a producción de nueva madera productiva.

Al tipo de poda denominado «recepa» se le llama también poda baja o poda de recuperación. Por lo general se practica a 0.40 m de altura sobre el suelo. Esta modalidad la recomiendan en especial para cafetales excesivamente cerrados, que ya perdieron el dosel («saia») o en los casos en que la plantación ha sido seriamente afectada por heladas severas. Este tipo de poda se recomienda ponerlo en práctica después de años de alta producción y que por lo tanto el año siguiente la cosecha va a ser baja. La recepa puede ser parcial o total, dependiendo de las condiciones que exhibe la plantación. Cuando la recepa es parcial, por ejemplo si se corta el 50% de la plantación, las calles que quedan deben ser recepadas de 3 a 5 años después.

En cuanto a la puesta en práctica de estos tipos de poda sugeridos en Brasil, existen algunas alternativas: por ejemplo, cuando la poda de recepa se practica en hileras alternas se puede combinar la recepa con la poda alta o «descope», esto es, se recepa una línea o hilera y se practica poda alta en la siguiente. Esto evita que los nuevos brotes crezcan con poca intensidad lumínica. Cuando la recepa se hace en solamente la tercera parte de la plantación las hileras que quedan deben ser podadas cada 2 ó 3 años. Como en cualquiera otro tipo de poda, el corte debe ser inclinado para evitar el daño del agua.

El objetivo de la recepa es producir nuevos brotes, los cuales se seleccionan finalmente y se dejan entre 6 y 7 por «cova». Para conseguir esto deben practicarse varias deshijas. La selección se aconseja practicarla cuando los brotes alcanzan unos 30 cm de altura.

En Brasil se considera que en las hileras no podadas el abonamiento debe ser el mismo que el de un cafetal en producción. En las hileras podadas el abonamiento va a depender del estado general de la brotación. Si está brotando muy bien, no se fertiliza durante el primer año. Si no brota bien, se recomienda usar solamente abonamiento nitrogenado en dosis no superior a un tercio del que se recomienda para el café en producción. La fertilización debe iniciarse cuando los nuevos brotes alcanzan aproximadamente unos 30 cm de altura. El segundo año el abonamiento se incrementa a  $\frac{2}{3}$  de la cantidad y, a partir del tercer año, la dosis es la normal.

Cuando los cafetos alcanzan mucha altura, una práctica aconsejable es cortar con la uña la yema terminal de la planta, una vez que esta alcanza la altura deseada. Los brotes que salen se cortan de nuevo con lo que se consigue parar definitivamente el crecimiento ortotrópico de los ejes. La orientación de la plantación con respecto a los puntos cardinales ha sido también objeto de estudio, tanto en plantas recepadas como descopadas [84].

## 2.6.2 Poda en Costa Rica

En la etapa de formación de los arbustos, el agobio de la planta pequeña ha perdido adictos en Costa Rica, habida cuenta de que la siembra de 2, 3 ó 4 plantas por hoyo ha sustituido con ventaja al agobio que anteriormente se practicaba cuando se acostumbraba sembrar solamente una planta. El agobio consiste en inclinar el arbusto hasta formar un ángulo con el suelo de aproximadamente  $45^\circ$ , el cual se mantiene en posición mediante un gancho de madera o «garabato» enclavado en el suelo [47, 64, 91, 109]. La distribución desigual del contenido de auxina o la alteración del equilibrio auxina/citoquinina que se provoca de esta manera a lo largo del tallo inclinado, estimula la formación y activación de yemas caulares. Como resultado, se obtiene una planta de tallo múltiple. Este método se recomienda usarlo únicamente cuando al momento del trasplante se cuenta solamente con plantas de un solo eje. Cuando se dispone de plantas de vivero de dos años de edad, la siembra inclinada surte el mismo efecto que el agobio el cual puede ser practicado inclusive inmediatamente después del trasplante. Al momento de seleccionar los brotes y eliminar los supernumerarios es conveniente cortar la parte terminal inclinada del eje ortotrópico primario.

En Costa Rica se han realizado un número de investigaciones con sistemas de poda que han incluido, poda total por planta, poda por parches, poda por rama, poda sistemática por calle (B.F. de Hawai) y poda sistemática por lote [43, 130]. De estos experimentos a largo plazo se ha concluido que la poda por planta produce el más alto rendimiento, aumentando la producción en un 8% sobre las podas sistemáticas por calle en ciclos de 3, 4 ó 5 años. Sin embargo, la poda total por calle, *per se*, ofrece muchas ventajas y puede subrayarse que hasta supera la eficiencia mayor que manifiesta la poda por planta, especialmente cuando se logra adaptar bien el ciclo de poda al ecosistema.

El sistema de poda denominado en Costa Rica de «tres años alternos», consiste en la combinación de dos diferentes alturas de recepa. En realidad viene a ser una conjunción entre la poda B.F. de Hawai a ciclo de tres años – pero alternos –, con el sistema colombiano modificado por la altura del descope, que adquiere las características de una recepa, pero sin remover las ramas plagiotrópicas que conforman la «crinolina». En este sistema de poda las alturas de recepa son de 0.50 y 1.0 m. He aquí un ejemplo: en un bloque compuesto por tres hileras, la primera se recepa a 0.50 m el primer año, mientras que la primera de bloque siguiente se recepa a 1.0 m de altura. Los siguientes dos años se recepan, por su orden, y a la misma altura, las segundas y las terceras hileras. Al concluir el primer ciclo de tres años se inicia un segundo, esta vez invirtiendo la altura de recepa. El bloque que fue originalmente podado a 0.50 m de altura, se recepa a 1.0 m y el que originalmente se había recepado a 1.0 m se corta a 0.50 m. Los dos años siguientes se continúa recepando las hileras contiguas, al igual que en el primer ciclo, continuando en forma alterna, en ciclos de tres años. El número de brotes se selecciona a 3 ó 4/unidad de producción de 2, 3 ó 4 plantas/hoyo. Ensayos experimentales con esta modalidad de poda datan de época reciente en Costa Rica, en donde varias haciendas han adoptado este sistema, dados los excelentes resultados que se obtienen [129].

Se mencionó que en Costa Rica la poda por planta o individual, es la que produce, la más alta producción. Puede describirse de la manera siguiente: una vez que las plantas cuentan con un tronco compuesto por 3, 4 ó más ramas verticales que han iniciado su período reproductor, la obtención de nuevos brotes puede conseguirse mediante «poda individual» (vale decir, por planta), renovando en cada arbusto entre un 20 y un 25% de sus ramas ortotrópicas agotadas por la alta producción. Cuando desarrollan los nuevos brotes se seleccionan los mejores.

La poda del cafeto conocida en Costa Rica como «Rock and Roll» (descope en otros países, «decote» en Brasil, etc.), fue ideada en este país, como un sistema de transición con respecto a la poda total o recepa en la cual se trata de aprovechar al máximo las ramas secundarias y terciarias de la «crinolina».

La denominada «poda por parche», una de las modalidades más productivas, consiste en la recepa total de varias plantas que en conjunto conforman lotes pequeños.

### 2.6.3 Poda en Colombia

La poda de formación caracterizada por el método colombiano difiere en mucho de algunos de los sistemas propuestos en otros países, pues la modalidad consiste en

dejar los arbustos a libre crecimiento durante los primeros tres años hasta que alcanzan una altura aproximada de 1.70 m. Seguidamente se decapitan a 1.50 m. Bajo este sistema de manejo las plantas exhiben un solo eje. Las ramas plagiotrópicas que se desarrollan en gran cantidad son renovadas periódicamente por medio de poda. A esta modalidad de poda se le han señalado algunos defectos de orden práctico [47]. No obstante, en Colombia han propuesto y practican algunas modificaciones [46]. Algunos de los detalles han sido aprovechados en otros países. En Colombia la recepa se practica por lotes, siguiendo un sistema de rotación cíclico, a cumplirse en un número predeterminado de años (sistema de poda por lote).

#### 2.6.4 Poda por calle Beaumont-Fukunaga, B.F. de Hawai

El sistema de renovación de la madera de producción por hileras o calles consiste en adoptar ciclos de poda a 3, 4 ó 5 años, esto es, se practica poda total o recepa de una calle por año [20]. A esta modalidad se la conoce con el nombre de poda por calle o B.F. de Hawai. Las plantas se recepan a una altura de 0.45 a 0.60 m. El sistema es especialmente indicado para el manejo de plantaciones con alta densidad de siembra. En el sistema denominado B.F. 1, 3, 2, 4 (poda sistemática a ciclo de 4 años), en la práctica se cuenta con una primera hilera de cafetos de un año de edad, una segunda de tres años, una tercera de dos años y finalmente una cuarta de cuatro años de edad. La poda a cinco años sigue el orden 1, 3, 5, 2, 4. Otros métodos que se pusieron en práctica en Hawai, como el denominado de «vertical múltiple» o sistema de poda «Kona» y el «topping» se usan también en determinadas circunstancias [60, 61, 90].

Aun cuando Hawai dejó de ser productor de café debido al alto costo de producción su investigación básica continúa siendo clásica y pionera.

#### 2.6.5 Poda en Kenya

En Kenya ponen énfasis en la importancia de no dejar que produzcan las plantas nuevas de 1-2 años de edad, pues señalan que la producción de café en plantas muy jóvenes conduce a la aparición de muerte descendente (die-back) en los ejes primarios, y que se produce aún mayor daño por la muerte de las raíces.

Después del tercer año, una vez concluida la cosecha, se decide respecto a la altura y número de ramas primarias que se considera que se deben dejar para la cosecha siguiente. Una buena guía en esta etapa es la velocidad de crecimiento del arbusto. En localidades de  $> 1676$  m.s.n.m. (donde ocurre crecimiento lento), se recomienda dejar una copa de una altura de 1.70 m. En altitudes intermedias, entre 1530 y 1680 m.s.n.m., se puede dejar a una altura de 1.50 m. Finalmente, en regiones bajas y calientes, localizadas a  $< 1530$  m.s.n.m., donde el crecimiento es rápido, se puede dejar una copa de 1.30 m de alto. La siguiente labor es abrir los arbustos, mediante la remoción de todo crecimiento secundario indeseable. Esta operación produce

arbustos donde la luz penetra, existe buena aeración y se favorece al mismo tiempo el control fitosanitario. Después de que se remueven las ramas secundarias se aconseja reducir el número de éstas. Se sugiere dejar un número de cuatro, en condiciones de altura. A media y baja altura se recomienda dejar un número de seis con un buen espaciamiento entre los mismos. En cuanto a sistemas de poda, en Kenya se practican varios: a) sistema de tallo múltiple; b) sistema de un solo tallo; c) sistema de tallo múltiple descopado. En la práctica de estos métodos se han hecho anotaciones respecto a las ventajas y desventajas de cada uno [116]. También han introducido algunas variantes cuando el café se cultiva en alta densidad de siembra. La producción de tallo múltiple tiene lugar en el vivero efectuando un corte a 0.45 m de altura. La poda de plantas descopadas de tallo múltiple, ha sido objeto de comentario especial con el propósito de que los caficultores la practiquen correctamente [23]. Otras acotaciones sobre poda del café en Kenya fueron hechas desde los inicios de la década del 70 [53]. En la Figura 2.5 se presenta gráficamente el sistema de poda en plantas de un solo eje.

Los tipos de poda más importantes que se han mencionado han sido probados en otros países (como en México) con la inclusión en los ensayos del sistema de poda local [136].

## 2.6.6 Recepta en café Robusta

En café Robusta (*C. canephora*) también se impone la renovación de la madera mediante recepta y los tipos de poda que se usan, por ejemplo en Camerún, son análogos a los que se practican en *C. arabica* [19].

La disminución de la cosecha después de la recepta ocurre en menor grado que en *C. arabica*.

## 2.6.7 Prácticas coadyuvantes

Se han realizado algunos estudios que han puesto en evidencia la importancia de la realización de algunas prácticas que ayudan al buen éxito de la poda respecto a la obtención de brotaciones abundantes y sanas [131].

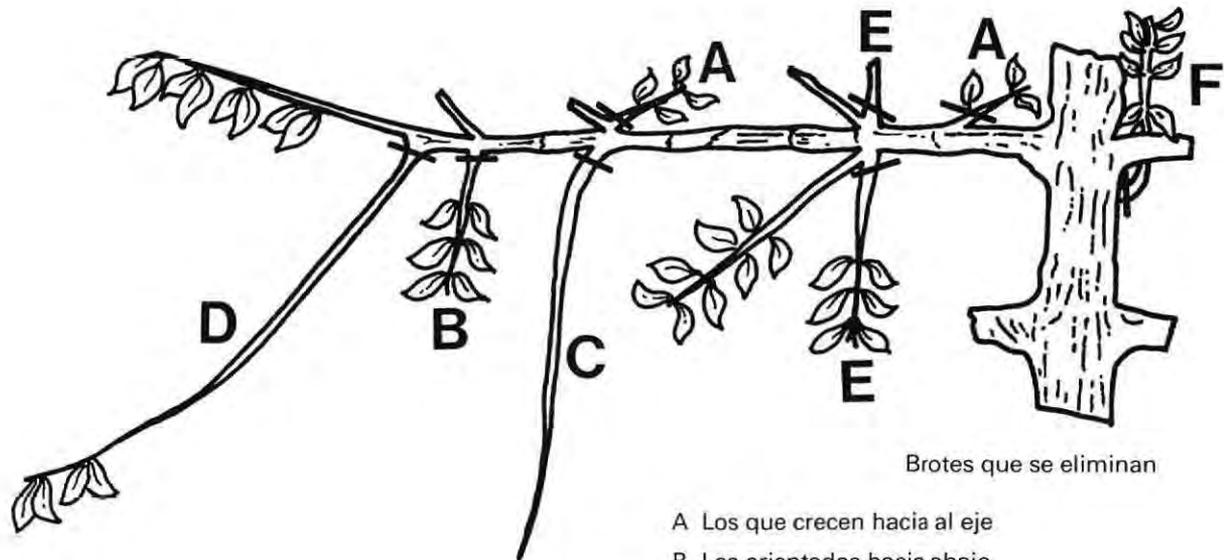
El uso de protectores del corte, como pasta bordelesa y cicatrizante hormonal, han resultado efectivos para el control de incidencia del hongo *Ceratocystis fimbriata*, agente causal de la Llagu Macana. Para los efectos, se han probado los ingredientes siguientes:

### Pasta bordelesa:

1 volumen de sulfato de cobre  
pulverizado  
6 volúmenes de cal viva  
4 volúmenes de agua

### Cicatrizante hormonal:

Aldrin = 0.10%  
Oxícloruro de cobre al 35% = 1%  
Ácido  $\alpha$ -naftalenacético = 80 ppm  
Adherentes e impermeabilizantes = 98.9%



Brotos que se eliminan

- A Los que crecen hacia al eje
- B Los orientados hacia abajo
- C Los quebrados y muertos
- D Partes terminales agotadas, orientadas hacia abajo
- E Brotos que crecen en ángulo recto
- F Chupones

73 *Figura 2.5 Sistema de poda en plantas de un solo eje, según se practica en Kenya [23].*

## 2.6.8 Renovación de plantaciones viejas

En párrafos anteriores se mencionó que el cafeto cuando alcanza 15 a 20 años de edad empieza a declinar su producción. No obstante, en la mayoría de los países existen plantaciones de mucho mayor edad y sus dueños no se preocupan por iniciar programas sistemáticos de renovación de la plantación entera. Las plantas enfermas, con lesiones en el tronco, caducas o muy agotadas, deben ser objeto de renovación, en la mayoría de los casos, por plantas de variedades más productivas. La renovación de cafetales viejos puede ser hecha por simple eliminación de los arbustos en peores condiciones físicas al tiempo que se aumenta la densidad de siembra. Este método, que puede conducir al término de 4 ó 5 años a un aumento en la productividad de la plantación, tiene el inconveniente que al interplantar arbustos pequeños bajo la competencia por luz de arbustos viejos, el crecimiento de los primeros resulta lento y no es raro que algunas y no pocas plantas, nunca lleguen a alcanzar el vigor de su potencial genético.

La sustitución de las plantas mediante arranca total de sectores completos, es la práctica que debe aconsejarse, dada la rapidez con que se restaura la plantación original. Es recomendable roturar todo el terreno, lo que mejora las condiciones físicas del suelo para el cultivo de las plantas jóvenes. Al adoptar este sistema de renovación, la práctica indica que tal labor ha de ser realizada bajo un sistema de rotación por sectores, renovando solamente una parte del total de la plantación para que la producción por año no baje mucho. El método es eficaz y constituye la única manera de elevar al máximo la producción en plantaciones viejas. Esta labor debe practicarse periódicamente, con el propósito de contar siempre con plantaciones de un máximo potencial de producción con una densidad de siembra óptima. La arranca de las plantas viejas puede ser hecha con la ayuda de maquinaria especializada, como se efectúa en la Costa de Marfil [126]. El sistema de cultivo en franjas sin sombra (en número de 1 a 3 hileras/franja) que ha sido propuesto, aconseja la renovación del plantío ubicando la nueva siembra en el espacio libre comprendido entre las franjas [42].

## 2.6.9 Agobio de ramas ortotrópicas o de la planta entera

Las ramas productoras adultas pueden ser agobiadas individualmente para obtener nuevos crecimientos ortotrópicos. Este método puede hacerse extensivo al agobio de plantas enteras adultas y agotadas [74]. La práctica consiste en inclinar la planta formando un ángulo conveniente con el suelo ocupando el espacio de la «entre-calle». Esto da lugar al estímulo de nuevas ramas caulares. Para efectuar esta operación se requiere aflojar el suelo alrededor de la planta dando preferencia al costado hacia donde se va a inclinar la planta. Seguidamente se tira el arbusto y se lleva a la posición debida. La práctica requiere de la eliminación de las ramas de la base del tronco que interfieren en las prácticas culturales y en el desarrollo de los nuevos brotes. Una vez que se desarrollan éstos se seleccionan por vigor, en número de 4 a 6, y se elimina la parte terminal de la planta madre, uno o dos años más tarde.

## 2.7 Conservación de suelos

No cabe duda que la erosión reduce la fertilidad de los suelos. Si bien una caficultura con una alta densidad de siembra constituye, por sí, una excelente protección contra la erosión del suelo, las prácticas de conservación no deben relegarse a un segundo orden.

En el cultivo del café ha sido demostrado que las mayores pérdidas de suelo ocurren en las plantaciones al sol sin prácticas de conservación y con deshierbas manuales efectuadas con azadón [138]. El uso de prácticas tan simples como el mantenimiento de coberturas vegetales es aconsejable para evitar la pérdida del suelo por erosión. Es valioso, asimismo, que el uso de sombra en los cafetales, por sí solo no constituye una defensa de mucho valor. En este caso el establecimiento de coberturas vegetales sirve de impedimento a la pérdida de la materia orgánica que cae al suelo (hojarasca) procedente de los árboles de sombra.

En Brasil se estudiaron recientemente los índices de pérdidas por erosión según ocurren en el período de formación de las plantaciones, hasta que alcanzan los primeros tres años de edad [101]. De estos estudios se concluyó que durante este período los cafetos ofrecen una protección, contra la erosión, de un 40%, y que diferentes sistemas de manejo del cultivo tienen una eficiencia que varía entre 40 y 90%. En las condiciones de campo en que fueron realizados estos experimentos se observó que las pérdidas de suelo en cafetales nuevos llega a cifras relativamente altas. En otra investigación se observó, que el uso de barreras vegetativas es tan eficiente como el contorno [68]. En Brasil el cultivo del café es obligado por ley que sea hecho poniendo en práctica los métodos de conservación de suelos requeridos. Esta situación compulsiva debería hacerse extensiva a todos los países.

En cafetales ya establecidos pueden ponerse en práctica diversos métodos de conservación de suelos: Siembra de barreras vegetales, construcción de canales o acequias a contorno, cultivo de leguminosas en franjas, etc. En plantaciones nuevas, la siembra debe ser hecha a contorno en combinación con diversos tipos de terrazas. Un tratado completo sobre conservación de suelos está dado en la referencia [133].

## 2.8 Protección contra el viento

En las zonas afectadas por vientos fuertes es necesario plantar ciertas especies en hileras, como «manzana rosa» (*Eugenia jambos* L.), «colpachi» (*Croton glabellus*) o cualquiera otra especie de hábito de crecimiento similar, como la *Grevillea robusta*, las *Casuarinas* spp. o especies de bambú de fácil reproducción como la «guadua» (*Bambusa guadua*) de Colombia, con el objeto de formar una cortina vegetal de rompevientos. Se estima que una cortina bien ubicada protege un área en proporción de 8 a 10 veces su altura [91]. Corrientemente las variedades de café de porte bajo son más resistentes [47]. En Brasil prestan especial atención a la ocurrencia de vientos. En plantaciones jóvenes se usan rompevientos temporales plantando millo o maíz en las entrehileras. Para rompevientos permanentes se emplea la grevilea [81].

## 2.9 Sombra

El cultivo del café a plena exposición solar o bajo sombra ha sido tema de revisión por varios autores [41, 106, 134, 144]. Lo disímil de la ecología de las regiones cafetaleras del mundo indudablemente sugiere que el cultivo de esta rubiácea no ha de ser idéntico en todas partes y los resultados experimentales que se obtienen a menudo no concuerdan entre sí o son diametralmente opuestos. No obstante, los miembros del género *Coffea* muestran un amplio margen de adaptabilidad y si en adición el manejo de las plantaciones se hace racionalmente, las cosechas son por lo general remunerativas aún bajo modalidades de cultivo diferentes, siempre y cuando la intensidad de los demás factores que afectan la producción no estén presentes en un mínimo desfavorable. Esta hipótesis resulta cierta si se toma en cuenta la existencia de plantaciones comerciales en lugares con regímenes de lluvia de 3000 y más milímetros/año, donde prácticamente no existe estación seca, con una distribución más o menos uniforme durante todos los meses, así como de zonas en donde la lluvia es de menos de 1500 milímetros, influidos por períodos secos marcados, por más de cinco meses. Dentro de este ámbito de condiciones extremas, el control de malas hierbas, la época de recolección de los frutos, los requerimientos de sombra, etc., varían según la localidad.

El cultivo bajo sombra es común en los países de América de habla hispana. El cultivo de solana se encuentra como práctica única en Hawái, en Brasil (salvo excepciones), en Kenia y en otros países. No es raro encontrar, en regiones en donde tradicionalmente se ha cultivado el café bajo sombra, pequeñas parcelas produciendo cosechas excelentes a plena exposición solar.

La distancia a que se siembran los árboles de sombra, varía según la especie. Una distancia común cuando se siembran leguminosas, es de 8 x 8 m, en cuadro. El raleo de la copa se recomienda hacerlo dos veces al año: antes de la primera floración (estación seca) y en el mes anterior al reinicio del segundo período de lluvias fuertes. Idealmente la sombra debe permitir, cuando más densa, el paso del 60% de la intensidad lumínica.

### 2.9.1 Cultivo de solana y de umbría

En relación con el cultivo a pleno sol o bajo sombra se cuenta con algunas experiencias importantes, realizadas en varios países. Algunos investigadores han estudiado ambos efectos mediante instalaciones artificiales que garantizan porcentajes de iluminación exactos. Cabe citar los resultados obtenidos en Colombia, en cuyo caso, se obtuvieron datos de distintos grados de iluminación con encañizados [85]. El ensayo, hecho en almácigos de *Coffea arabica*, permitió concluir que el sombreado ligero (40%) influía favorablemente en los cafetos, en tanto que la sombra excesiva (75%) causaba una disminución del crecimiento. Sin embargo, se notó que un exceso de iluminación tiene una influencia menos desfavorable que un exceso de sombra. Los resultados obtenidos en esta investigación se transcriben en el Cuadro 2.8.

Cuadro 2.8 Influencia de la sombra en el desarrollo de plantas jóvenes de *C. arabica* [85]

	Sombra		
	0	40%	75%
1. Influencia en el follaje:			
a) Superficie total de las hojas (a razón de 9 hojas por cafeto), en cm <sup>2</sup> .....	641	801	172
b) Número total de hojas a 6½ meses <sup>2</sup> .....	3813	4093	1453
2. Crecimiento del tallo <sup>2</sup> : Desarrollo total de los tallos (ccr)	2900	3459	1705
3. Número de ramas «primarias» <sup>2</sup>			
a) Al cabo de 5½ meses .....	71	60	0
b) Al cabo de 6½ meses .....	301	320	0
4. Desarrollo radicular <sup>1</sup> . Peso de las raíces (g) .....	29.14	44.72	7.59

<sup>1</sup> = Suma de seis plantas

<sup>2</sup> = Suma de 36 arbustos

Las investigaciones realizadas en Kenya, en relación con el efecto del sol y de la sombra en el cultivo de *C. arabica*, condujeron a concluir que los internodios eran más alargados bajo sombra (aproximadamente 22% más largos) y que el número promedio de hojas se reducía en un 31.4%, con respecto a los arbustos que crecían al sol, no obstante ser de mayor tamaño [144]. Los cafetos bajo este tratamiento produjeron frutos de los que 18 a 20 cerezas hacían 28.9 g (frutos de peso mayor), en tanto que en las plantas al sol las cerezas eran notablemente más pequeñas, requiriéndose de 20 a 25. El área foliar total, por rama, resultó 20% mayor a la sombra que al sol.

El cultivo de café bajo sombra ha resultado desfavorable en el Estado de São Paulo, Brasil, por la obtención de cosechas reducidas en cafetos adultos y por el aumento de la incidencia de la Broca [62]. En uno de estos ensayos la producción de las parcelas a la sombra fue siempre menor (cerca de un 17%) en comparación con la que alcanzaron las expuestas a pleno sol. En otros ensayos se estudió, asimismo, el efecto de la variedad, de la sombra y del riego, factores de producción importantes en la cultura moderna del café [44]. Un resumen del resultado de estos ensayos aparece en el Cuadro 2.9. En esta investigación la sombra estaba dada por árboles de «Paneira» (*Chorisia speciosa*). El efecto más importante que se destacó en este ensayo y en otros efectuados en Campinas, Brasil [53], fue el de la sombra, pues el cultivo al sol produjo un 60% más que el de umbría. Con el objeto de obtener una información integral se han hecho estudios de la morfología y distribución del sistema radical del café y se han determinado los coeficientes de marchitez de varios suelos experimentales [57]. En relación con esta investigación, en un conjunto de 26 muestras del Estado de São Paulo, se encontró que los coeficientes de marchitez variaban entre 3.5 y 30.3%. En el Cuadro 2.10 se transcriben los datos relativos al contenido de agua del suelo, según se afecta por la competencia interespecífica [56].

*Cuadro 2.9.* Efecto de la sombra y del riego en la producción de cafetos Bourbon y Caturra. Transcripción parcial [44]

Efecto	Rendimientos, (kg de cerezas secas/hectárea)					
	1951	1952	1953	1954	1955	Promedio
<b>Variedad</b>						
Bourbon .....	2074	1773	6163	1611	5240	3372
Caturra .....	2085	1818	6494	1084	4191	3134
<b>Sombra</b>						
A pleno sol .....	2598	2264	7773	1760	5240	3927
Sombreado .....	1592	1307	4925	935	4191	2590
<b>Irrigación</b>						
Con irrigación .....	2250	1724	6601	500	4088	3033
Sin irrigación .....	1609	1876	6056	2195	5343	3416

*Cuadro 2.10* Porcentaje de agua en el suelo en parcelas con sombra de eucalipto y al sol (Estación Experimental Agrícola de Campinas, Brasil) [58]

Profundidad en metros	Porcentaje de agua en el suelo	
	Con sombra	Al sol
Superficie .....	11.8	8.2
0.5 .....	15.1	16.1
1.0 .....	15.5	16.2
1.5 .....	14.8	16.1
2.0 .....	13.8	16.0

Investigaciones sobre relaciones hídricas han tenido lugar, asimismo, en América Central, en donde la mayoría de los cafetales están ubicados en áreas cuya estación seca es muy prolongada. El estudio de los factores climáticos, de los métodos de cultivo y de los árboles de sombra, condujeron a concluir que ninguno de estos factores explicaban la conducta del café en esta región [57]. El efecto del microclima provocado por el cultivo al sol o a la sombra fue estudiado en detalle en otras investigaciones efectuadas en El Salvador [132]. Estos estudios tuvieron lugar en cafetos de tres años de edad y permitieron concluir que el microclima que provoca la sombra, en general disminuye la temperatura promedio del aire manteniéndola más alta durante la noche y menor durante el día, lo que causa un aumento de la humedad relativa. Se encontró, asimismo, que la sombra natural disminuye la temperatura del suelo, hasta una profundidad de 30 cm. En relación con la humedad del suelo, hasta una profundidad de 40 cm se observó que se conserva más alta bajo sombra, durante los meses secos. No obstante, en el lote experimental se encontró que tanto en el cultivo al sol como bajo sombra la humedad del suelo desciende a niveles muy cercanos

al coeficiente de marchitez permanente al final de la época seca. En relación con las observaciones fenotípicas que se hicieron, las comparaciones que aparecen en el Cuadro 2.11 se refieren a un arreglo de los datos originales [132]. Entre las más importantes cabe destacar el hecho de que la cosecha efectiva resultó mayor a plena exposición, y que el cultivo de solana exhibió características más apropiadas para sostener una cosecha abundante.

Cuadro 2.11 Fenología del café en condiciones de solana y de umbría [132]

Parámetro	Solana	Umbría
<b>Floración</b>		
Época .....	=	
Número de flores que abren .....	>	
Ennegrecimiento y caída de flores antes de abrirse .....	>	
<b>Fructificación</b>		
Maduración .....	Temprana	Más tardía
Cosecha .....	>	
Porcentaje cerezas manchadas .....	>	
<b>Mediciones somáticas</b>		
Altura .....		>
Longitud ramas primarias .....		>
Número de hojas/rama primaria .....		>
Diámetro del tronco .....	>	
Número de horquetas .....	>	
Nudos/rama primaria .....	>	
Yemas florales .....	>	
Ramas secundarias .....	>	
Número de hojas en ramas secundarias .....	>	
Peso sistema radical .....	>	
<b>Aspecto</b>		
General .....		Mejor
Pérdida del follaje .....	Más rápida	
Recuperación al inicio de las lluvias .....	Más rápida	

Simbología: = No hay diferencia  
> Mayor que

La experiencia obtenida en Costa Rica a largo plazo (seis cosechas), mostró un efecto altamente significativo en favor del cultivo al sol, equivalente a un aumento de 296,5 kg de café oro por hectárea y por año, o sea un 35% mayor que la producción que alcanzaron las parcelas bajo sombra [111]. No obstante, tal aumento no justificó recomendar la eliminación de la sombra en la región por el alto porcentaje de fruto que maduraba anormalmente, ya que ocurrió mucha abscisión a causa de la incidencia de la Chasparria (*Cercospora coffeicola* Berk. et Cooke). Lo anterior se tradujo en un grano de baja calidad, al punto que en la mayoría de los casos los beneficiadores recibían el café como si fuese verde. El rendimiento que se obtuvo al beneficiar este café resultó menor con respecto al precedente de las parcelas bajo

sombra (kg de café beneficiado/unidad de volumen o peso de café en cereza). Tres factores convergen en pro de un cambio de actitud respecto a la siembra del cafeto bajo sombra regulada o en condiciones de plena exposición solar: a) uso acentuado de cultivares de porte bajo, los cuales exhiben mejores relaciones hídricas que los de porte alto; b) alta densidad de siembra, lo que produce una autoumbria en la plantación; c) uso intensivo de fertilizantes, lo que mejora las relaciones hídricas y los arbustos exhiben, en consecuencia, no solamente una mayor resistencia a la pérdida de agua por transpiración, sino que están mejor capacitados para absorber mayores cantidades de agua del suelo. Se sabe hoy que mediante aplicaciones preventivas de fungicidas, con el uso de fertilizantes en dosis adecuadas y bajo condiciones ambientales favorables al mantenimiento de relaciones hídricas normales para el cultivo del café, la eliminación de la sombra permanente es factible [32]. En suelos pesados, de baja fertilidad integral y en regiones de firmamento muy abierto y baja humedad relativa, el uso de sombra regulada que intercepte el 40% de la intensidad lumínica, es más aconsejable que el cultivo a plena exposición solar [112].

## 2.9.2 Interacción sombra-cobertura muerta

Las modalidades de cultivo al sol y a la sombra se han estudiado en combinación con tratamientos de cobertura. Los resultados que ilustran esta interacción proceden de Uganda, lugar en donde se ha estudiado el efecto combinado de varios tipos de sombra, del cultivo al sol y de la cobertura muerta sobre la producción [144]. La producción total, obtenida en un experimento de esta clase durante cinco períodos, se transcribe en el Cuadro 2.12.

De esta información se deduce que existe una correlación positiva entre el uso de sombra y de cobertura muerta. Después de observar por varios años el resultado de experimentos, se concluyó que las cosechas más bajas se obtenían en cafetos bajo sombra de crotón y las más altas al abrigo de sombra de cordia. Estos resultados ponen énfasis en la importancia de estudiar a nivel regional las especies más adecuadas. La selección de los árboles de sombra debe ser hecha en función de dos características importantes que deben exhibir las especies que se destinan al cultivo del cafeto bajo sombra: a) hábito de crecimiento de la especie; b) capacidad de fijación de nitrógeno por procesos simbióticos.

Cuadro 2.12 Interacción sombra-cobertura muerta en la producción de café [144]

Tratamiento al suelo	Tipo de sombra	Producción lbs/parcela
Cobertura .....	Banano	20
Cobertura .....	Ficus	72
Cobertura .....	Pleno sol	38
Sin cobertura .....	Banano	15
Sin cobertura .....	Ficus	51
Sin cobertura .....	Pleno sol	31

### 2.9.3 Sombra y nutrición

Cuando el cafeto crece a plena exposición solar usa las reservas rápidamente y los frutos a menudo no desarrollan bien por insuficiencia de minerales. Además, con frecuencia ocurre muerte descendente [144]. La especie *C. arabica* parece ser particularmente exigente en nutrimentos cuando se cultiva al sol. Este comportamiento incide en la longevidad de los arbustos, pues las plantaciones al sol por lo general deben ser renovadas en un menor plazo en comparación con aquellas bajo sombra. Si el suelo es naturalmente fértil el cultivo al sol mostrará siempre ventaja en cuanto a cosecha, en comparación con el cultivo a la sombra. Se deduce que es obvio que si se añaden los nutrimentos a las plantaciones en cantidades apropiadas, a la vez que se propicia un manejo cuidadoso, los cafetos bajo sol producirán una cosecha más abundante. Este postulado parece representar el consenso de los investigadores contemporáneos y corrobora lo enunciado en la década del 50 [2]. Existen diferencias intervarietales [33].

Los estudios sobre la interacción sombra-nutrición han contemplado también las variaciones estacionales de nutrimentos disponibles en el suelo bajo diferentes especies de árboles de sombra [67]. Al respecto se cuenta con datos de campo procedentes de ensayos en los que se han usado los siguientes árboles:

*Albizia chinensis* (Osb.) Merr.; *Artocarpus integra* Forst.; *Bischofia javanica* Blume; *Erythrina lithosperma* Miq. non Blume; *Grevillea robusta* A. Cunn.; *Ficus glomerata* Willd.

El contenido de nutrimentos en las plantas de café es diferente según se trate del cultivo al sol o a la sombra. Por ejemplo, en la Costa de Marfil se encontró que las hojas de cafetos sombreados eran más ricas en nitrógeno (20%) y en  $P_2O_5$  (15%) y que contenían menos potasa (15%) [41]. El uso de sombra favorece el mantenimiento de la fertilidad del suelo por varios motivos. En primer lugar el ambiente que produce disminuye la temperatura del suelo, lo que reduce las pérdidas de nitrógeno que se registran a temperaturas altas como consecuencia de la descomposición rápida del humus [41]. Por otra parte, disminuye la intensidad del lavado de nutrimentos del suelo. Cabe añadir que los árboles de sombra tienen una acción fertilizante directa e indirecta. El efecto directo se ilustra por la adición prácticamente continua de materia orgánica (descomposición de las hojas caídas). Un ejemplo de la acción fertilizante indirecta está dado por el aporte de nitrógeno con que contribuyen las leguminosas [41].

En síntesis, cuando el cafeto se cultiva al sol demanda un plan de fertilización intensivo. Se debe llamar la atención que en Hawai, donde el cafeto se cultivó por años a pleno sol, los caficultores aplicaban altas dosis de fertilizantes con ganancias netas considerables. A título de información y con el objeto de añadir algo sobre el clima local, en el firmamento hawaiano ocurre normalmente una barrera de nubes que produce un microclima especial, pues rompe los rayos más fuertes del sol durante las horas del medio día [144].

El resultado de la investigación en Costa Rica acusó un efecto estadísticamente significativo en la interacción calcio  $\times$  sol *versus* sombra, lo que indica que el efecto de este elemento es diferente según se trate de plantas cultivadas a pleno sol o bajo

sombra [111]. En el presente caso la cosecha fue superior en el cultivo de solana, con un aumento de 165 kg de café oro por hectárea.

De la transcripción bajo el presente acápite se deduce que aún falta mucho por estudiar en relación a la nutrición del cafeto bajo condiciones de cultivo de solana y de umbría, no solamente desde el punto de vista nutricional, sino también en relación a todos los factores convergentes que entran en juego al tratar de intensificar la producción del café. El uso de radioisótopos es imperativo en esta clase de estudios [70, 76].

El conocimiento del reciclaje de nutrimentos que tiene lugar, tanto en condiciones de solana como de umbría, constituye un imperativo de la caficultura del presente, al igual que de la magnitud del nitrógeno atmosférico capaz de ser fijado por las especies de sombra que mejor se adaptan a cada localidad. Sylvain [135] opina que la sombra constituye una especie de seguro para evitar pérdidas.

#### 2.9.4 Sombra permanente y temporal

La discusión anterior ha sido centrada alrededor del efecto de la sombra permanente (alta). El problema de cuáles árboles son los más apropiados para sombra ha sido objeto de estudio por varios investigadores. Se han seleccionado árboles con sistemas radicales cuya zona de absorción no causa competencia indeseable con la absorción del cafeto. Los investigadores han concentrado su atención en las leguminosas de los géneros *Inga*, *Acacia*, *Albizia*, *Leucena* y *Erythrina* que, además de cumplir su cometido en la reducción de la intensidad luminica, añaden nitrógeno al suelo por sus relaciones simbióticas con varias bacterias [144]. Estudios importantes en este sentido han sido efectuados recientemente [122]. Algunos caficultores dan preferencia a las *Ingas* por las características del porte del árbol, pues responden a la poda y las ramas proporcionan un manto de sombra extendido. En muchos países se prefieren los géneros *Inga* y *Erythrina*. En cuanto a los géneros y especies de mayor difusión en el mundo, la monografía de Coste [41] incluye una información muy amplia al respecto. Miembros de otras familias botánicas, como Borraginacea (*Cordia*), Euforbiacea (*Ficus*), Proteacea (*Grevillea*), Bignoniacea (*Jacaranda*) y otras, son de uso restringido [41].

Las características que exhiben los distintos géneros, vistos como árboles de sombra, son muy variadas. Como ejemplo puede mencionarse que algunas especies se defolian durante la estación seca (*Erythrin*as), mientras que otras no (*Ingas*).

Los árboles usados para sombra deben ser de preferencia de la familia leguminosae, de crecimiento rápido, fuste mediano y ramas extendidas. El sistema radical no debe competir con los cafetos por agua y minerales, y el follaje debe permitir una adecuada filtración de los rayos del sol.

La sombra baja (provisional, temporal) es a menudo útil para el establecimiento en un tiempo menor de una plantación nueva. En la etapa de desarrollo, una vez que se trasplanta al lugar definitivo, es muy corriente cultivar plantas de crecimiento rápido entre los cafetos con el objeto de reducir la luminosidad y proteger al suelo.

Las especies más difundidas para estos fines también son leguminosas [41]; se citan las siguientes:

*Cajanus indicus* Mill.; *Leucaena glauca* Benth.; *Crotalaria anagyroides* H.B.K.; *Crotalaria alata* Buch-Ham.; *Crotalaria juncea* L.; *Sesbania punctata* D.C.; *Tephrosia candida* C.C., *T. Vogellii* Hook, y otras más.

En algunos países se usa sombra temporal de musáceas y en Centro América se emplea ahora una solanácea denominada «cuernavaca».

Cuando las plantaciones nuevas son fertilizadas adecuadamente y se fumigan con regularidad después del trasplante, la sombra temporal es dispensable.

De acuerdo con la literatura, entre los caficultores en Tanganyika, el cultivo del caféto (*C. arabica*) y el banano en cultivo mixto, es una práctica común [120]. Se sabe, asimismo, que en algunas partes del país, el banano es un cultivo primario y se planta como cultivo de subsistencia. En este caso el café se halla interplantado con el objeto de obtener una ganancia adicional. Al aumentar la población de plantas de banano se reduce la cosecha de café [120]. El platanero y el banano absorben 20 veces más elementos nutritivos que el caféto [41]. Esta razón es suficiente para que tales especies sean declaradas indeseables y proscritas en condiciones ordinarias de cultivo.

Como quiera que la evidencia experimental que emana de Brasil [57, 58], es muy concluyente respecto a la correlación que existe entre el contenido de humedad disponible en el suelo y el aspecto vegetativo del caféto, su contribución al esclarecimiento del problema resulta en extremo importante para la caficultura mundial. El efecto de la sombra es de por sí complejo y la magnitud de la influencia varía según se trate de sombra baja (temporal) o alta (permanente), la densidad de siembra (del caféto y de los árboles de sombra) y el grado de competencia por nutrientes y agua [39]. Por lo variado de las situaciones a veces se han reportado resultados experimentales discrepantes [63].

### 2.9.5 El cultivo de solana y la calidad del café en la taza

El cultivo del caféto al sol ha sido probado en repetidas ocasiones que no tiene efectos nocivos en la calidad, según ha sido demostrado por los degustadores [144]. Sin embargo, cuando se aplica nitrógeno en dosis altas, el producto elaborado revela una calidad ligeramente más baja [144].

Desde hace mucho tiempo (1923) se dijo que no debía tomarse en serio la afirmación de que era necesario que el cultivo del caféto se hiciese bajo sombra para producir café de buena calidad [40]. En relación con el presente tema, los resultados de las investigaciones tienden a demostrar que el producto cosechado en una plantación sombreada, es de calidad igual, si no superior, a la de los cafés procedentes de plantaciones a pleno sol [41]. No obstante, en algunos casos se han encontrado diferencias en la bebida, de cafés procedentes de lotes sombreados y a plena exposición [62]. Los resultados han demostrado que la calidad en la bebida está determinada, principalmente, por la influencia del tipo de cosecha que se practica en las haciendas y por el procesamiento del café después de ésta. En Colombia se ha encontrado que

en la calidad del café influyen varios factores: la composición química del grano bajo control genético, influida por factores ambientales y culturales; el beneficiado y conservación del grano. La torrefacción del grano y la preparación posterior de la bebida, son factores que también modifican la composición química original [27]. Otra contribución al progreso de este interesante campo proviene de Etiopía [24]. Es imperativo aclarar que por tradición el café de altura ha sido considerado siempre como de mejor calidad, hecho avalado por el mayor precio que alcanza en el mercado mundial.

La calidad de la bebida del café por muchos años se ha determinado con base en pruebas de degustación. No obstante, en la década pasada se ha puesto mucho énfasis en estudios de correlación entre la calidad del café en la taza y la actividad de la enzima polifenol oxidasa y, por extensión, con otros metabolitos presentes en el grano [5-12, 14, 88, 102, 123, 139].

Los autores coinciden en que existe una relación inversa entre la actividad de la polifenol oxidasa (P.F.O.) y la acidez, al tiempo que una relación directa con el cuerpo de la bebida [10]. A mayor actividad de P.F.O. es mayor el cuerpo de la bebida y menor la acidez.

Otras conclusiones interesantes tienen que ver con el tiempo de fermentación por la vía húmeda. Aparentemente si dura más de 24 horas, se perjudica la calidad de la bebida, lo que se traduce en una menor actividad de la enzima P.F.O. [123].

Variaciones en la calidad del café han sido observadas al producirse atrasos entre el momento en que ocurre la recolección y el tiempo de despulpado; cuando el grano se almacena por mucho tiempo; cuando se determina en diferentes especies de café y al variar la temperatura de secamiento [139]. Tanto en Colombia como en Guatemala existe el criterio de que la calidad en *C. arabica* se afecta principalmente por el sistema del proceso de beneficiado [89, 139]. Una revisión de algunos de los factores que influyen en la calidad del licor del café en Etiopía ha sido presentada recientemente, donde la investigación ha señalado un proceso de fermentación en dos etapas [24]. La primera (degradación del mucilago) se sugiere sea efectuada bajo agua, seguida de una segunda, en la que los granos, ya limpios se remojan bajo agua durante más de 24 horas.

Las investigaciones hechas por Amorín y sus colaboradores en Brasil, han contribuido de manera invaluable al esclarecimiento de las características organolépticas del grano de café en relación a la calidad de la bebida [5, 7-12, 88]. En estas investigaciones se ha estudiado el contenido de carbonilos totales e hidroperóxidos respecto a su posible alteración en función del período del almacenamiento [11]. De los resultados obtenidos se deduce que la actividad de la P.F.O. disminuye a medida que aumenta el período de almacenamiento y que existe una buena correlación entre la prueba de la degustación y la actividad de la P.F.O. [102]. Con las enzimas peroxidasa y catalasa no se ha encontrado relación definida.

Se han estudiado, asimismo, algunos aspectos físicos característicos de cafés de calidades diferentes, según se pueden apreciar con el concurso del microscopio electrónico y con el óptico común [12]. Aparentemente los cafés de calidades inferiores poseen paredes celulares más finas así como menor densidad.

De los estudios sobre calidad de la bebida en relación con los carbohidratos (azúca-

res reductores, polisacáridos) se concluyó que estos pueden contribuir en el sabor de la bebida, pero sin modificar la calidad de la misma [6]. Se ha encontrado, además, que el contenido total de ácido clorogénico resulta ser menor en los mejores cafés [7]. Sin embargo, se estima que esta correlación no es consistente. Una hipótesis sobre el efecto detrimental que sufre la calidad de la bebida por el almacenamiento, método de cosecha y procesado, ha sido enunciada recientemente [8]. Se señala que el acumulamiento de quinonas que se combinan con las proteínas puede influir desfavorablemente. La composición química del grano de café ha sido también estudiada mediante análisis de regresión lineal múltiple [10].

En estas investigaciones se tomaron en cuenta los contenidos totales de carbohidratos libres, azúcares reductores, nitrógeno total, algunas proteínas solubles, ácido clorogénico total, fenoles solubles e hidrolizables y el comportamiento electroforético de las proteínas. Se concluyó que el 69,43% de la variación de la calidad de la bebida depende de los compuestos analizados. Los que más afectan la calidad de la bebida son los ácidos clorogénicos totales (negativamente) y los fenoles solubles en agua (positivamente). En otra investigación que tomó en cuenta solamente proteínas, se encontró que las correspondientes a los cafés de mejor calidad se dirigen al polo positivo (en pruebas electroforéticas), debido probablemente a que en la extracción ocurre una alta oxidación de los ácidos clorogénicos, por la P.F.O., aumentando su ligamen la carga negativa [9].

Los espectros de absorción de luz de los ácidos clorogénicos en cafés de alta y baja calidad han sido estudiados en espectrofotómetros analíticos en el ámbito ultravioleta y visible [88]. Los espectros resultan diferentes, probablemente debido a una mayor actividad enzimática que tiene lugar en los cafés de mejor calidad.

## 2.10 Riego

Muchas regiones caficultoras del mundo están sujetas a períodos de sequía severos. Cuando las estaciones son bien definidas el cafeto está listo para florecer aproximadamente 60 días después de la recolección de la cosecha. A partir de este momento podría contarse con una floración normal, si se estimula. La aplicación de riego durante la época seca asegura un máximo de cosecha. Se ha mencionado que el riego debe aspirar al mantenimiento de un régimen de agua tal que las épocas críticas no constituyan un factor adverso para la obtención de una floración regular y una época de cosecha bien definida. Estos regímenes sólo pueden ser establecidos mediante una continua estimación de la evapotranspiración [108]. La irrigación y la aplicación de cobertura vegetal muerta favorecen las relaciones hídricas entre el suelo y la planta [62].

En relación con el provecho que se deriva del riego, conviene mencionar que los aumentos en producción varían desde 30 hasta un 175% y más [83, 117].

En relación con el hábito de producción bienal que exhibe el cafeto, la información con que se cuenta indica que el riego tiende a disminuir tal comportamiento [83, 117].

El riego debe aconsejarlo el técnico cuando se manifiestan las evidencias siguientes:

- Ocurrencia de períodos alternos de marchitamiento y turgencia
- Muerte descendente: por déficit hídrico o por deficiencia estacional de nutrimentos
- Amarillamiento y abscisión de las hojas
- Alteraciones en la relación parte aérea/raíz, que aumenta cuando el porcentaje de agua en el suelo es mayor.

Para el diagnóstico de la falta de agua en las plantas existen métodos fisiológicos [3]. Además, los estudios realizados en África Oriental respecto a la humedad del suelo y las relaciones entre la evaporación y el clima, han conducido a perfeccionar un método práctico para la estimación de las necesidades de irrigación del café [107].

En la India ponen énfasis en la importancia local de aplicar riego durante los meses secos para que la floración ocurra en buena época [16]. Se derivó una fórmula para definir la cantidad de agua requerida y a la vez conocer la cantidad necesaria para llevar hasta capacidad de campo la humedad del suelo.

La fórmula es la siguiente:

$$d = \frac{P_w \times A_s \times D}{100}, \text{ donde:}$$

d = profundidad en centímetros de irrigación requerida

P<sub>w</sub> = déficit que debe ser satisfecho, expresado en porcentaje de humedad

A<sub>s</sub> = gravedad específica aparente del suelo

D = profundidad en centímetros de la zona del sistema radical a ser elevada con agua

El efecto dañino de la presencia estacional de excesos de agua en el suelo, sugiere la conveniencia de construir buenos sistemas de drenaje.

### 2.10.1 Sistemas de riego para cafetales

El conjunto de prácticas de riego se puede subdividir en dos sistemas [124]: a) riego por gravedad y b) riego por aspersión.

#### *Riego por la superficie*

Esta alternativa consiste en suplir el agua al plantío por medio de acequias de diferentes dimensiones. Una vez que el agua desemboca en el plantío se distribuye por las entrecalles, evitando el suministro en exceso y desbordamientos. Este sistema de infiltración, se puede usar en terrenos de poca pendiente en donde la siembra ha sido hecha a contorno, con un desnivel técnicamente planeado. Para un riego uniforme y eficiente se recomienda dividir las entrecalles en tramos de 25-50 metros de largo.

En general los sistemas de riego por gravedad presentan los siguientes inconvenientes: a) favorecen la erosión; b) requieren mayor cantidad de agua; c) el agua no se distribuye uniformemente.

El sistema de riego por aspersión se ha difundido mucho en la caficultura moderna, pues permite un suministro controlado de agua. El equipo es por lo general portátil y durante la época de riego el personal de las haciendas trabaja dos o tres turnos de 8 horas para regar dos o tres secciones (lotes de igual dimensión) cada 24 horas. Claro está, el número de horas de riego depende del suplemento de agua necesario y de la capacidad de descarga de los rociadores. Por lo general se necesita suplir un máximo de aproximadamente 125 mm de agua aplicados en un período de 8 horas, dependiendo de la naturaleza del terreno. La experiencia del autor [30], fue que un riego uniforme, provisto mediante torres de aspersión de 2.5 m de altura, igualmente espaciadas en el terreno, que suministraron 75 milímetros de agua en un lapso aproximado de 5 horas, fue suficiente, no solo para vencer el déficit hídrico, el letargo de las yemas florales y producir la floración en un período inductivo de doce días, sino que mantuvo la plantación experimental sin déficit hídrico visual durante el resto de la estación seca (Meseta Central de Costa Rica).

Por señalar objetivos comunes, el efecto del riego y de la cobertura muerta han sido objeto de investigación simultánea [121].

## 2.11 Floración

En condiciones naturales la floración del cafeto tiene lugar cuando ocurren cambios en algunos de los factores climáticos. Las investigaciones pusieron en evidencia que la temperatura afecta la floración del cafeto y que la planta responde a temperaturas alternas de 23 °C y 17 °C del día y de la noche, respectivamente [17]. Dado que la puesta en marcha del período reproductor es de carácter hormonal, la iniciación floral es independiente del equilibrio nutricional, excepción hecha de una alta relación carbón/ nitrógeno que puede favorecer la etapa inicial.

*Alvim* ha sugerido que el cafeto puede ser sensible a un hidroperiodismo, o sea, que el mecanismo de floración responde en esta planta a un efecto de transición que obviamente experimenta en condiciones naturales al permanecer expuesta a períodos secos y húmedos [4].

Los investigadores explican la latencia de las yemas florales en el cafeto como consecuencia de un acumulamiento de ácido giberélico (GA) y de ácido abscísico (ABA), como efecto del período seco. Que la ocurrencia de lluvia, o la aplicación de riego, que por lo general causan caídas súbitas de la temperatura ambiente, también ocasionan un súbito incremento del potencial hídrico de las yemas. Como consecuencia se favorece una liberación de ácido giberélico libre (activo). En la reanudación del crecimiento que se induce, aparentemente intervienen citoquininas procedentes del sistema radical, y se produce la apertura de las flores [17] (Figura 2.6). La latencia de las yemas concluiría debido a la reducción en la concentración de ABA y persistiría como resultado de un suministro inadecuado de agua [4].

A continuación se inserta una representación esquemática de *Barros, Maestri* y

Coons [17], respecto a la secuencia de eventos que tienen lugar en las yemas florales, antes de su apertura (ántesis):

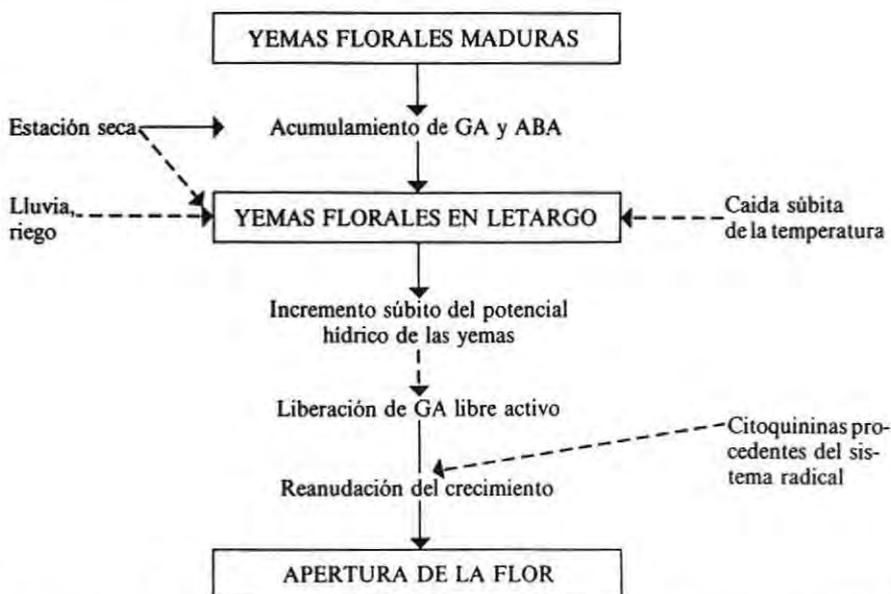


Figura 2.6 Hipótesis sobre la secuencia de eventos relacionados con el letargo y reanudación del crecimiento de las yemas florales del caféto [17]

Las observaciones del autor en relación a la inducción de la floración de cafetos adultos cultivados en invernadero en solución nutritiva, señalan que las plantas florecen profusamente dos veces durante la estación seca, pero en condiciones en que los arbustos no sufren de déficit hídrico alguno. La primera floración es más intensa que la segunda, situación que normalmente ocurre en condiciones de campo. Cambios de temperatura y humedad relativa, que no fueron objeto de medición, pues tan solo se estudiaba la absorción neta de nutrimentos durante un ciclo anual, fueron, en el presente caso, probablemente los factores que tuvieron mayor influencia en la activación de las yemas florales. Durante el período de floración la absorción neta de nutrimentos disminuyó considerablemente, mientras que la concentración de  $N-NO_3$  se enriquecía en el medio nutritivo [31].

## 2.12 Inducción de la maduración de frutos

Debido al alto costo de la recolección de la cosecha, en virtud de la ocurrencia de un número variable de períodos de maduración, por lo general espaciados a intervalos

de tres semanas cuando los frutos se colectan al estado de «cereza», en la práctica se considera que sería muy conveniente provocar artificialmente una reducción del «gran período de cosecha» [37, 105].

Con el propósito mencionado se ha venido usando el EtreI o Etefón [ácido 2-Cloroetil fosfónico (CEPA)]. Este compuesto genera etileno y es una sustancia reguladora del crecimiento.

Los estudios más recientes indican que la aplicación de CEPA debe ser hecha 26–28 semanas después de la floración principal, luego de que los frutos han pasado el «estado lechoso suave», o sea cuando contienen semillas duras que resisten el corte de una cuchilla afilada [104]. Debe darse preferencia a la aplicación de la solución a todos los frutos, sin que necesariamente se cubra todo el follaje, la que debe empezar por el lote que aparece como más próximo a madurar. El efecto por lo general se nota 10 días después de la aplicación, y la maduración de los frutos que la solución cubrió ocurre entre 14 y 21 días. Se observa que los que solamente recibieron tratamiento parcial requieren de un período de 30 días.

La mejor dosis que se ha encontrado es de 1400 ppm (2.9 ml/litro de agua del compuesto que contiene 48% del ingrediente activo). La época de aplicación más temprana es cuando los frutos han alcanzado alrededor de un 75% de su condición de «adultos» (7–8 semanas antes del período de recolección previsto en el lote o plantación). La aplicación en esta época eleva la maduración en un 40% y la abscisión de frutos es mínima.

El uso incorrecto de CEPA puede causar sobrefermentación en los granos de café inmaduros. No obstante, cuando se usan máquinas electrónicas para la selección del café pergamino durante el beneficiado, estos granos se eliminan. Su uso no necesariamente reduce el número de veces que se debe pasar recolectando la cosecha. Se admite que la caída de hojas que se induce, que por lo general se observa 7 días después de la aplicación, no representa una pérdida mayor en comparación con la que normalmente ocurre cuando la cosecha se recoge de la manera usual.

La regulación del período de cosecha mediante aplicación de ácido giberélico (GA) no ha resultado fructífera, pero se ha encontrado que su aplicación favorece la cosecha del año siguiente [105]. En vista de estas contradicciones, su uso aún no se recomienda [103].

La literatura sobre el uso de CEPA en café es muy abundante. Algunas de las investigaciones que precedieron a las que aquí se presentan fueron compiladas por *Sylvain* [135]. Este autor señala que el límite de tolerancia del producto activo en el café para consumo es de 0.1 ppm.

De acuerdo con las conclusiones a que han llegado en la Costa de Marfil, en clones de Robusta, el éxito de la agrupación de la cosecha es completo únicamente si se aplica en arbustos cuyos frutos se encuentran en la última fase de su estado sazón [104]. Su aplicación no deja efecto residual. Se produce un enrojecimiento del pericarpio, sin que paralelamente ocurra el desarrollo y maduración del endocarpio. Se concluye que el uso de EtreI puede ser recomendado con el propósito de lograr flexibilidad en la cosecha (Figura 2.7). La producción de café de baja calidad aparentemente se puede evitar a la luz del conocimiento de hoy [104].

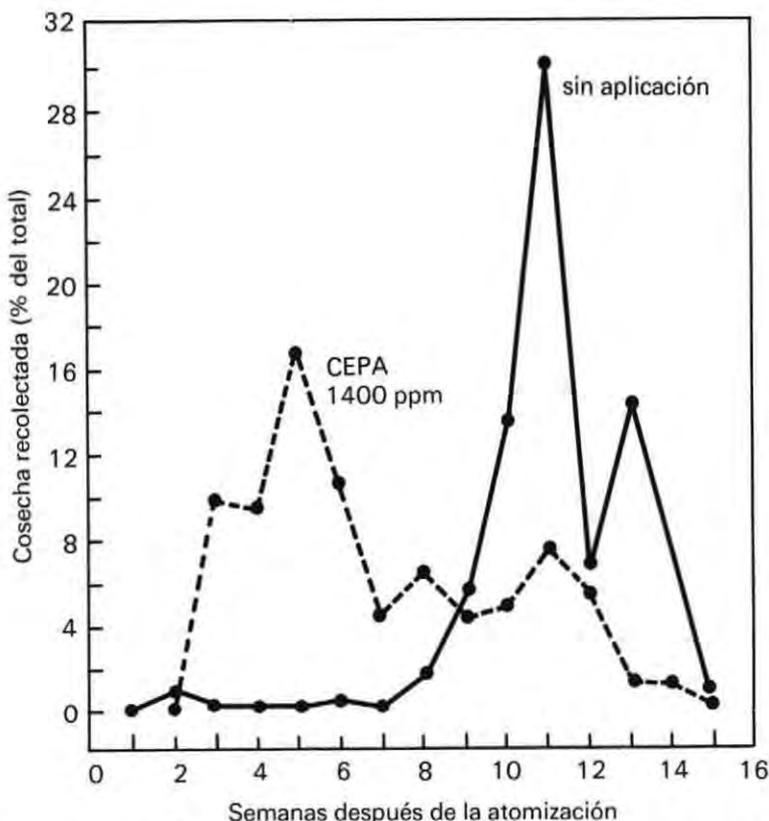


Figura 2.7 Efecto de CEPA a 1400 ppm aplicado ocho semanas antes de la maduración natural de la cosecha [105].

## 2.13 Recolección de la cosecha

La recolección mecánica de la cosecha de café es un aspecto que ha llamado la atención en algunos países, habida cuenta del alto costo que a menudo representa esta operación.

La información reciente emanada de la Costa de Marfil, presenta los resultados que han obtenido en este importante aspecto de la caficultura, mediante el uso de batidores livianos (latigadores) que funcionan mediante aire comprimido, manufacturados por una firma italiana para la recolección de aceitunas y grosellas. El batidor golpea los glomérulos de dos o tres ramas simultáneamente y se desprenden los frutos maduros. Luego se recogen sobre toldos junto con algún porcentaje de café verde que simultáneamente cae. Estos ensayos, que han sido hechos en cafetos de tres años y medio de edad y de tallo múltiple, señalan que se economiza una jornada de mano de obra de cada dos.

En investigaciones efectuadas en Hawái, Puerto Rico y Brasil, se han usado dos tipos de máquinas: vibradores portátiles y aparatos de considerable tamaño montados sobre ruedas [135]. Las menores se adaptan mejor a las necesidades de los pequeños productores. Investigaciones en este mismo sentido han tenido lugar en México [72].

Las grandes máquinas rodantes las usan experimentalmente en Brasil [119]. El peso es de 6-7 toneladas y permiten recolectar el café de plantas de hasta 2.70 m de altura. La máquina transita a velocidad uniforme y cada hilera de cafetos pasa por debajo. Se tiene conocimiento de que puede hacer el trabajo de 100 a 300 hombres recolectando a mano.

En Puerto Rico, donde el costo de la mano de obra es muy elevado desarrollaron un sistema de recolección que se fundamenta en el uso de redes de material plástico, las cuales se colocan entre las hileras tratando de cubrir todo el terreno [141]. El método es aplicable a cafetales con variedades de porte alto.

## 2.14 Producción de la caficultura en algunos países

Las diferencias en cuanto a ecología y sistemas de cultivo que se practican, hacen que la producción y productividad del café por unidad de superficie no sea semejante entre los distintos países. Las producciones que se obtienen en Costa Rica, El Salvador y Kenya son las más altas del mundo. En la literatura se informa acerca de la producción que alcanzaron los países caficultores más importantes durante el quinquenio que concluyó en 1980 (Cuadro 2.13). La producción por país ha cambiado mucho con respecto a la que se obtenía en la década del 50, al igual que los sistemas de cultivo [78, 79].

Cuadro 2.13 Area cultivada de café y promedio de producción en algunos países caficultores representativos, durante el quinquenio 1975-1980 [55]

País	Area en miles de hectáreas			Promedio de producción (kg/ha)
	Plantada	En cosecha	% en producción	
Brasil .....	2703	2112	78.1	518*
Costa de Marfil** ..	1258	1146	91.1	234
Colombia .....	1115	1056	94.7	585
México .....	363	330	90.9	681
India*** .....	185	177	95.8	624
El Salvador .....	159	145	91.2	1149
Kenya .....	91	86	94.5	948
Costa Rica .....	81	74	91.4	1209

\* Producción afectada por heladas

\*\* 100% café Robusta

\*\*\* Aprox. 60% Arábica y 40% Robusta. En los demás países se cultiva exclusivamente *C. arabica*.

## 2.15 Referencias

1. *Aguilera, V. H.*: Injertación en café. In: Manual Técnico del Café en El Salvador. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, pp 95-107, 1976
2. *Alvim, P. de T.*: Advances in coffee production technology. Recent advances in our knowledge of coffee trees. I. Physiology. Coffee and Tea Industries and the Flavor Field (New York) 81, 17-25 (1958)
3. *Alvim, P. de T.*: Métodos fisiológicos para o diagnóstico da falta de água em plantas superiores. Resúmenes, I Simposio Latinoamericano de Fisiología Vegetal. Centro de Pesquisas do Cacau. Itabuna, Brasil, 1965
4. *Alvim, P. de T.*: Factors affecting flowering of coffee J. Coffee Res. 7, 15-25 (1977)
5. *Amorin, H. V. de y Silva, D. M.* Da relação de actividade da polifenol-oxidase do grão de *Coffea arabica* L. com a qualidade da bebida. Boletim Técnico Científico N° 31, 16 p. (1968)
6. *Amorin, H. V. et al.*: Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage. I. Carbohydrates. Turrialba 24, 214-216 (1974)
7. *Amorin, H. V.*: Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage. II. Phenolic compounds, Turrialba 24, 217-221 (1974)
8. *Amorin, H. V. et al.*: Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage III. Soluble proteins. Turrialba 24, 304-308 (1974)
9. *Amorin, H. V.*: Química del café brasileño y la calidad de la bebida. IV. Electroforesis de las proteínas en agar - gel y su interacción con ácidos clorogénicos. Turrialba 25, 18-24 (1975)
10. *Amorin, H. V.*: Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage. Multiple linear regression analysis. Turrialba 25, 25-28 (1975)
11. *Amorin, H. V.*: Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage. VII. Total carbonils, activity of polyphenol oxidase, and hydroperoxidases. Turrialba 26, 193-195 (1976)
12. *Amorin, H. V., Smucker, R. y Pfister, R.*: Some physical aspects of Brazilian green coffee beans and the quality of the beverage. Turrialba 26, 24-27 (1976)
13. *Anacafé*: Programa de fertilización en el cultivo del café (Guatemala) Boletín Técnico N° 2, 7 p. s.f.
14. *Arcila, J. y Valencia, G.*: Relación entre la actividad de la polifenol oxidasa (P.F.O.) y las pruebas de catación como medidas de la calidad de la bebida del café. Cenicafé 26, 55-71 (1975)
15. *Arcila, J.*: Influencia de la temperatura de secado en la germinación de las semillas de café. Cenicafé 27, 89-91 (1976)
16. *Awatramani, N. A.*: Sprinkler irrigation for coffee I. Studies on rainfall pattern and soil moisture. J. Coffee Res. 3 (1), 3-13 (1973)
17. *Barros, R. S., Maestri, M. and Coons, M. P.*: The physiology of flowering in coffee: A review. J. Coffee Res. 8, 29-73 (1978)
18. *Basagoitia, C. R.*: Efecto del tamaño de la bolsa en el desarrollo de cafetos cultivares «Bourbon» y «Pacas» en vivero. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. Resúmenes de Investigaciones en café, pp. 71-72, 1979-80
19. *Bawharmont, P.*: Expérimentation sur le renouvellement de l'appareil végétatif du caféier par recépage des anciennes tiges II. Le caféier Robusta. Cafe, Cacao, Thé XXI (2), 99-110 (1977)
20. *Beaumont, J. H., Lange, A. H. y Fukunaga, E. T.*: Initial growth and yield response of coffee trees to a new system of pruning. Proc. Am. Soc. Hort. Sci., 67, 270-278 (1956)
21. Better coffee farming. Weed control in coffee. Kenya Coffee 44 (522-523), 19-21 (1979)
22. *Boudrand, J. N.*: Le bouturage du caféier Canephora a Madagascar. Café Cacao, Thé XVIII, 31-48 (1979)
23. *Blom-Bjormer, S.*: Pruning of capped multiple stem coffee. Kenya Coffee 43, 273-276 (1978)

24. *Brownbridge, J. M.*: A review of some of the factors which influence the liquor quality of Ethiopian coffees. *Turrialba* 22, 136-143 (1972)
25. *Browning, G. and Fisher, N. M.*: High density coffee: yield results for the first cycle from systematic plant spacing designs. *Kenya Coffee* 41, 209-217 (1976)
26. *Café. Do plantio a colheita.* Química Industrial Brasileira S.A. Quimbrasil, 85 p., 1980
27. *Calle, V. M.*: Reacciones cualitativas en la determinación del aroma del café. *Cenicafé* 14, 187-194 (1963)
28. *Capot, J.*: Un nouveau caféier hybride de Côte d'Ivoire. *Café, Cacao, Thé XIX* (1), 3-4 (1975)
29. *Carvajal, J. F. y Pereira, J. F.*: Atomizaciones con azúcar evitan la marchitez cuando se trasplanta el café. Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola (Costa Rica). Informe poligrafiado 59-3, 6 p., 1959
30. *Carvajal, J. F. y Machicado, M.*: El metabolismo del nitrógeno en las hojas del café durante la floración. *Fitotecnica Latinoamericana* 1 (2), 59-70 (1974)
31. *Carvajal, J. F. Acevedo, A. y López, C. A.*: Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. *Turrialba* 19 (1), 13-20 (1969)
32. *Carvajal, J. F.*: Manejo das plantações de café na América Central. In: *Nutrição e Aducação do Cafeeiro*. Ed. T. Yamada. Instituto da Potassa (EUA) - Instituto Internacional da Potassa (Suíça). (Brasil) pp. 195-210, 1981
33. *Carvalho, A. et al.*: Melhoramento de cafeeiro. XXI. Comportamento regional de variedades, linhagens e progênies de café ao sol e a sombra. *O Agrônomo (Brasil)* 14 (11-12), 21-23 (1962)
34. *Carvalho, A. y Mónaco, L. C.*: III. Botánica e melhoramento. In: *Cultura e Aducação do Cafeeiro*. 2a Edição. Instituto Brasileiro de Potassa. São Paulo, Brasil, 277 p., 1965
35. *Carvalho, A.*: Pesquisas sobre o melhoramento de cafeeiro. In: *Nutrição e Aducação do cafeeiro*. Ed. T. Yamada. Instituto da Potassa & Fosfato (EUA) Instituto Internacional da Potassa (Suíça). (Brasil), 1981
36. *Chawdhry, M. A.*: Weed control in Kenya coffee with glyphosate. *Kenya Coffee* 40, 275-280 (1975)
37. *Claude, B.*: L'éthéphon en caféiculture. Son utilisation pour le groupement de la maturité. *Café, Cacao, Thé XX*, 232-237 (1976)
38. *Cerrado. Uso e Manejo: V Simposio Sobre o Cerrado.* Embrapa-CPAC CNPq. Editerra, 1979
39. *Coffee Research and Experimental Station: Lyamungu, Moshi.* Tanganyika, Department of Agriculture. Sixteenth Annual Report (1949). Pamphlet N° 54, 62 p. (1951) Twenty-first Annual Report (1949). Pamphlet N° 61, 40 p. (1955)
40. *Cook, O. F.*: Efecto de la sombra en la calidad del café. *Revista de Agricultura de Puerto Rico* 11 (6), 7-10 (1923)
41. *Coste, R.*: Les caféiers et les cafés dans le monde. I. Les Caféiers. Paris, Editions Larose. «L'ombrage» t. 1 pp. 125-142, 1955
42. *Cowgill, W. H.*: El sistema de cultivo de café en «setos al sol». *Revista del Café (Puerto Rico)* 18 (4), 6-9 (1963)
43. *Departamento de Investigaciones en Café: Treinta años al servicio de la caficultura costarricense.* Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección de Investigaciones Agrícolas. 28 p., 1980
44. *Departamento de produção vegetal.* Secretaria de Agricultura, Indústria, Comércio e Trabalho. Estado de Minas Gerais, Brasil: *Boletim de Agricultura IV* (11-12), 182 p. (1955)
45. *Dublin, P.*: Induction de bourgeons néoformés et embryogenèse somatique. Deux vies de multiplication végétative *in vitro* des caféiers cultivés. *Café, Cacao, Thé XXIV* (2), 121-130 (1980)
46. *Federación nacional de cafeteros.* Manual del cafetero colombiano. 2a edición, Bogotá. Editorial Agra Ltda., 1958
47. *Fernández, C. E.*: Prácticas usadas en el cultivo del café. Turrialba. Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Materiales de Enseñanza de Café y Cacao (N° 25) 55 p. (1963)

48. *Fernández, C. E.*: Clima y suelos propios al cultivo del café, propagación del árbol y establecimiento de la plantación. Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Materiales de Enseñanza de Café y Cacao (Nº 24) 34 p. (1963)
49. *Fernández, C. E.*: Preparación y hechura de viveros de café. *Revista Cafetalera* (Guatemala) 45, 19-20 (1964)
50. *Fernández, C. E.*: Uso de semilla seleccionada. *Revista Cafetalera* (Guatemala) 48, 20-21 (1965)
51. *Fernández, C. E.*: Preparación y almacenaje de semillas de café. *Chacra* (Peru) 18 (98), 28 (1966)
52. *Fernandes, D. R.*: Manejo do cafeeiro no Brasil. In: *Nutrição e Adubação do cafeeiro*. Instituto da Potassa & Fosfato (EUA) - Instituto Internacional da Potassa (Suíça). (Brasil), 1981
53. *Fernie, L. M.*: Pruning and intensification. *Kenya Coffee* 35, 49-51 (1970)
54. *Francis, R.*: Estudio de algunos factores que afectan el trasplante de los cítricos. Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. Tesis 34 p., 1965
55. Foreign Agriculture: Circular FCOF-4-79, Washington, D.C. (USA)
56. *Franco, C. M.*: O problema do sombreamento dos cafezais em São Paulo. *Ceres* 8 (43), 37-51 (1948)
57. *Franco, C. M.*: A água do solo e o sombreamento dos cafezais na América Central. *Brangantia* 11 (4-6), 99-119 (1951)
58. *Franco, C. M.*: A água do solo e sombreamento dos cafezais em São Paulo. *Superintendência dos Serviços do Café, São Paulo, Brasil. Boletim* 27 (299), 10-19 (1952)
59. *Godoy, O. P. y Godoy, C. Jr.*: Influência da adubação no desenvolvimento de mudas de café. *Revista de Agricultura* (Brasil) 40 (3), 125-129 (1965)
60. *Goto, Y. B. y Fukunaga, E. T.*: Coffee. Care of the young orchard. University of Hawaii. Extension Circular 358 (1956)
61. *Goto, Y. B. y Fukunaga, E. T.*: Coffee. Care of the mature orchard. University of Hawaii. Extension Circular 358 (1956)
62. *Graner, E. A. y Godoy, C. Jr.*: Sombreamento dos cafezais. I. Resultados de tres ciclos bienais (1953/1958) obtidos na Escola «Luiz de Queiroz». Piracicaba. *Anais*, 16, 139-165 (1959)
63. *Guiscafré Arrillaga, J.*: Resultados en el cultivo del cafeto al sol y a la sombra. *Revista del Café* (Puerto Rico) 15 (6), 33, 35, 45 (1960)
64. *Gutiérrez, G.*: El agobio en el café. Ministerio de Agricultura e Industrias. Costa Rica. Boletín Informativo Nº 15, 8 p. s.f.
65. *Gutiérrez, G.*: Manual de recomendaciones para cultivar café. 3a edición. Oficina del Café-Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica), 1978
66. *Gutiérrez, G., Pérez, J. y Campos, C. F.*: Relación entre la distancia de siembra y la fertilización del cafeto. *Anales IIº Congreso Agronómico Nacional*. (Costa Rica) Vol. 1, 3 (1975)
67. *Haarer, A. E.*: *Modern Coffee Production*, 2d. rev. ed. London. Leonard Hill, 495 p., 1962
68. *Hashizume, H. y Matiello, J. B.*: Notas sobre novas práticas vegetativas de controle da erosão em cafezais, em regiões amorradas. In: *Resumos 8º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Campos de Jordão, (Brasil) pp.* 367 (1980)
69. *Herman, E. B. y Hass, G. J.*: Clonal propagation of *Coffea arabica* L. from callus culture. *Hort. Science* 10, 588-589 (1975)
70. *Huxley, P. A. y Cannell, G. R.*: Some physiological factors to be considered in intensification. *Kenya Coffee* 35, 176-179 (1970)
71. *Huxley, P. A.*: Arabica coffee in Kenya: a need for new production systems. *Kenya Coffee* 41, 58-63 (1976)
72. *Instituto Mexicano del Café*: Tecnología cafetalera mexicana. 25 años de investigación y experimentación. (México). 194 p., 1974
73. *Instituto Salvadoreño de Investigaciones del café*: Resúmenes de investigaciones en Café 1979-1980

74. Jiménez, E.: Rehabilitación de plantaciones por medio de la poda y la resiembra. IV<sup>o</sup> Curso Internacional sobre Técnica de la Producción del Café. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. (mimeografiado), 1959
75. Jiménez, E.: Use of polyethylene bags for coffee nursery plants. *Coffee* (Turrialba, Costa Rica) 5, 5-8 (1963)
76. Kabaara, A. M.: Nutritional implications of intensification of coffee production. *Kenya Coffee* 35, 354-355 (1970)
77. Kamau, I. N.: Chemical weed control in Kenya coffee. *Kenya Coffee* 44, 27-31 (1979)
78. Krug, C. A.: World coffee survey (Draft of a future FAO agricultural study). Food and Agricultural Organization of the United Nations (Roma) 292 p., 1959
79. Krug, C. A.: A cafeicultura no mundo. In: *Cultura e Adubação do Cafeeiro*. 2a Edição. Instituto Brasileiro de Potassa. São Paulo, Brasil. 277 p., 1965
80. Kumar, D.: Investigation into some physiological aspects of high density planting of coffee. *Kenya Coffee* 43, 263-272 (1978)
81. Küpper, A.: Fatores climáticos e edáficos na cultura cafeeira. In: *Nutrição e Adubação do Cafeeiro*. Ed. T. Yamada. Instituto da Potassa & Fosfato (EUA) - Instituto Internacional da Potassa (Suíça). Piracicaba, S.P. Brasil, 1981
82. Laak O. P. de, J., Waweru, J. M. y Van der Vossen, H. A. M.: The effect of pot size and type of compost on growth of coffee seedlings in polybag nurseries. *Kenya Coffee* 42, 161-167 (1977)
83. Lazzarini, W.: Ensaio preliminar de irrigação de café. Superintendência dos Serviços do Café. *Boletim* 27, 408-416 (1952)
84. Lino do Nascimento, F. J.: Molhamento foliar em cafezal recepado e decotado. *Turrialba* 30, 93-98 (1980)
85. Machado, A.: Influencia del sombrero, el suelo y las prácticas de cultivo en el desarrollo del café en sus primeros meses de vida propia. Experimento preliminar. *Agricultura Tropical* (Colombia). Suplemento Agronómico N° 3, pp. 3-52 (1946)
86. *Manual del cultivo del café en El Salvador*: Instituto salvadoreño de investigaciones del Café, 1976
87. Mata, H.: Control de Malezas. In: Departamento de Investigaciones en Café. Treinta años al servicio de la cafeicultura costarricense. Ministerio de Agricultura y Ganadería. pp. 16-22, 1980
88. Melo, M., y Amorin, H. V.: Química del café verde brasileño y la calidad de la bebida. VI. Análisis espectral y ultravioleta y contenido de ácidos clorogénicos en extractos tónicos solubles de T.C.A. *Turrialba* 25, 243-248 (1975)
89. Menchú, E. J. F.: La determinación de la calidad del café. Asociación Nacional del Café. (Guatemala) *Boletín* N° 8. 51 p. (1966)
90. Mendoza, S. P., Jr.: Coffee fertilization and pruning practices in Kona. *Coffee and Cacao Journal* 6 (10), 228-229, 246, (1963)
91. *Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica*: Manual de Recomendaciones. Café. 44 p., 1967
92. *Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica*: Departamento de Café. Informe Anual de Labores 1967. 64 p. (1968)
93. Mitchell, H. W.: The role of herbicides in intensification systems. *Kenya Coffee* 35, 357-358 (1970)
94. Mitchell, H. W.: Weed control methods over a four year period in Kenya. *Kenya Coffee* 39, 50-59 (1974)
95. Mitchell, H. W.: Research on close-spacing systems for intensive coffee production in Kenya. Part. I. *Kenya Coffee* 41, 124-136 (1976)
96. Mitchell, H. W.: Research on close spacing systems for intensive coffee production in Kenya. Part. II. *Kenya Coffee* 41, 168-174 (1976)
97. Mitchell, H. W.: Research on close spacing systems for intensive coffee production in Kenya. Part. III. *Kenya Coffee* 41, 241-244 (1976)
98. Mitchell, H. W.: Research on close spacing systems for intensive coffee production in Kenya. Part. IV. *Kenya Coffee* 41, 281-293 (1976)

99. Mitchell, H. W.: Better coffee farming. Notes on chemical weed control in coffee, Kenya Coffee 43, 35-37 (1978)
100. Monaco, L. C. et al.: Applications of tissue culture in the improvement of coffee. In: Reiner, J. y Bajaj, Y. P. S., eds.: Applied and fundamental aspects of plant cell, tissue and organ culture. New York, Springer Verlag, pp. 109-129, 1977
101. Mondardo, A., et al.: Técnicas conservacionistas para a cultura do cafeeiro do Norte do Paraná em função de índices de perdas por erosão. In: Resumos 8º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, Campos de Jordão, (Brasil) pp. 62, 1980
102. Oliveira de, J. C. et al.: Actividade enzimática da polifenoloxidase, peroxidase e catalase em grãos de *Coffea arabica* L. e relações com a qualidade da bebida. Turrialba 27, 75-82 (1977)
103. Opile, W. R.: Effect of gibberellic acid on yield of arabica coffee in Kenya. Kenya Coffee 42, 395-403 (1977)
104. Opile, W. R.: Influence of fruit stage on the use of (2-chloroethyl) phosphonic acid (CEPA) in Kenya. Kenya Coffee 43, 301-309 (1978)
105. Opile, W. R.: Hormonal relations in fruits growth and development of *Coffea arabica* L. Kenya Coffee 44, 13-21 (1979)
106. Ostendorf, F. W.: The coffee shade problem; a review article. Tropical Abstracts 17 (9), 577-581 (1962)
107. Pereira, H. C.: The seasonal assessment of water needs in the irrigation of coffee. Coffee Board of Kenya. Monthly Bulletin 22 (256), 94-96 (1957)
108. Pereira, H. C.: Studies on the effect of mulch and irrigation on root and stem development in *Coffea arabica* L. II. A five year water budget of a coffee irrigation experiment. Turrialba 13 (4), 227-230 (1963)
109. Pérez, V. M. e Hilje, I.: Guía práctica del cultivo del café. Cuarta Parte. La Poda del Cafeto. Compañía Costarricense del Café, S.A., (Costa Rica) 40 p., 1981
110. Pérez, V. M., et al.: Estudio preliminar sobre poda de raíces en almácigo de café. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica. Boletín Técnico N° 42, 14 p. (1963)
111. Pérez, V. M. et al.: Nutrición del café en Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín Técnico N° 43, 35 p. (1963)
112. Pérez, V. M. y Pelecano, J. A.: Guía Agrícola cultivo del café. Compañía Costarricense de Café S.A. Circular Técnica N° 68, 45 p. s.f.
113. Pérez, V. M. y Pelecano, J. A.: Guía práctica del cultivo del café. Primera parte. Preparación de semilleros y mantenimiento de almacigales. Compañía Costarricense del Café S.A. Circular Técnica N° 67, 36 p. (1978)
114. Pérez, V. M. y Pelecano, J. A.: Guía agrícola cultivo del café. Control de Malas Hierbas. Compañía Costarricense del Café S.A. Circular Técnica N° 75, 52 p. (1980)
115. Programa cooperativo Oficina del Café-MAG. (Costa Rica): Informe anual de labores (1981)
116. Pruning. Technical Circular N° 30. Kenya Coffee 44, 8-12 (1979)
117. Rayner, R. W.: Reports on the growth recording trial at the Scott-Laboratories of Agriculture. Kabete, Dept. of Agric. Kenya. Annual Reports 1945-1954 (1955)
118. Reyna, E. H.: Técnica del injerto hipocotiledonar del café para el control de nemátodos. Café (Perú) 7 (1), 5-11 (1968)
119. Rigitano, A.: Colheita mecânica, um método eficiente de aproveitamento. A Granja 324, 37-44 (1975)
120. Robinson, J. B. D.: The influence of interplanted bananas on Arabica coffee yields. In: Tanganyika Coffee Research Station. Research Report 1961. Lyamungu, Tanganyika Coffee Board (1962)
121. Robinson, J. B. D. y Mitchell, H. W.: Studies on the effect of mulch and irrigation on root and stem development in *Coffea arabica* L. III. The effects of mulch and irrigation on yield. Turrialba (Costa Rica) 14 (1), 24-28 (1964)
122. Roskoski, J.: Importancia de la fijación de nitrógeno en la economía del cafetal In: Memorias Iº Simposio-Estudios Ecológicos en el Agroecosistema cafetalero. Xalapa, Veracruz (México) (1980)

123. *Sanint, O. y Valencia, G.*: Actividad enzimática en el grano de café en relación con la calidad de la bebida I. Duración de la fermentación. *Cenicafé 21*, 59–71 (1970)
124. Sistemas de riego para cafetales. Boletín Informativo. Fondo Nacional del Café y del Cacao (Venezuela) N° 5, 4–5 (1961)
125. *Snoeck, J.*: La rénovation de la caféiculture malgache a partir de clones sélectionnés. *Café, Cacao, Thé XII*, 223–235 (1968)
126. *Snoeck, J.*: Mécanisation de l'arrachage de caféiers et de cacaoyers. *Café, Cacao, Thé XVII* (2), 137–141 (1973)
127. *Snoeck, J., Bernard-Coffre, P. y Pechereau, M.*: La récolte mécanique du café a l'aide d'un fouetteur. *Café, Cacao, Thé XX* (4), 297–300 (1976)
128. *Snoeck, J.*: Essais de groupement de la récolte des fruits du caféier *Canephora* a l'aide de l'éthéphon. *Café, Cacao, Thé XXI* (3), 163–178 (1977)
129. *Soto, B.*: Departamento de Investigaciones en Café. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Costa Rica. Comunicación personal.
130. *Soto, B.*: Modalidades de cultivo. In: Departamento de Investigaciones en Café. Treinta años al servicio de la caficultura costarricense. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica) pp. 10–15 (1980)
131. *Strauch, E. y Mestre, A.*: Influencia de algunas prácticas sobre la brotación en la renovación por «recepta» o «soqueo» del cafeto. *Cenicafé 23*, 63–72 (1972)
132. *Suárez de Castro, F. et al.*: Efecto del sombrero en los primeros años de vida de un cafetal. *Café 3* (10), (Turrialba) 81–102 (1961)
133. *Suárez de Castro, F.*: Conservación de suelos. Tercera edición. Editorial IICA (Costa Rica), 1980
134. *Sylvain, P.G.*: El problema de la sombra del café. Un resumen de 16 artículos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Turrialba 23 p. s.f.
135. *Sylvain, P. G.*: Innovaciones agrotécnicas en caficultura. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas – OEA. Zona Norte (Costa Rica). Publicación miscelánea N° 202, 34 p. (1979)
136. Tecnología cafetalera mexicana. 30 años de investigación y experimentación. Instituto Mexicano del Café (México) 291 p., 1979
137. *Uribe, R.*: Coffee nurseries in polyethylene bags. *Revista cafetalera de Colombia 14*, 301–303 (1958)
138. *Uribe, A.*: Erosión y conservación de suelos en café y otros cultivos. *Cenicafé 22*, 1–17 (1971)
139. *Valencia, G.*: Actividad enzimática en el grano de café en relación con la calidad de la bebida de café. *Cenicafé 23*, 3–18 (1972)
140. *Valencia, G.*: Relación entre el índice de área foliar y la productividad del cafeto. *Cenicafé 24*, 79–89 (1973)
141. *Vicente-Chandler, J., Abruña, F. y Silva, S.*: Aspectos económicos del cultivo intensivo del café recolectado con mallas durante cuatro años en una plantación comercial. Estación Experimental Agrícola, Recinto de Mayagüez. Universidad de Puerto Rico. Publicación 95, 19 p. (1975)
142. *Vossen van der, J. A. M. y Laak, OP de, J.*: Large scale rooting of softwood cuttings of *Coffea arabica* in Kenya. I. Type of propagator, choice of rooting medium and type of cuttings. *Kenya Coffee 41*, 385–389 (1976)
143. *Vossen Van der, J. A. M., Laak, OP de, J. y Wawerum J. M.*: Defining optimum conditions and techniques for successful topworking by cleft grafting of *Coffea arabica* L. in Kenya. *Kenya Coffee 42*, 207–218 (1977)
144. *Wellman, F. L.* Coffee: botany, cultivation and utilization. London. Leonard Hill. Problems of sun, shade and rotation, pp. 327–351, 1961



## 3. Cobertura del suelo

La cobertura del suelo comprende dos modalidades que, si bien de características disímiles, los resultados que se obtienen son convergentes: a) cobertura muerta; b) cobertura viva.

### 3.1 Cobertura muerta

Por definición, cualquier material razonablemente bueno para cubrir el suelo puede emplearse como cobertura. Se afirma que puede hacerse en cualquier época del año. No obstante, en la práctica depende de la predisposición económica del agricultor y de otros factores, por ejemplo disponibilidad de mano de obra. Se ha sugerido que la mejor época parece ser el final de la estación lluviosa [20].

Las dificultades que se presentan en la obtención de los residuos vegetales (siembra, mantenimiento y costo del transporte de los materiales, etc.) a menudo limitan el uso de esta práctica a plantaciones pequeñas o bajo sistemas de cultivo intensivo, en donde se cuenta con un programa de explotación planificado. Por lo general la cantidad de materiales de que se dispone es insuficiente.

El empleo de cobertura se ha extendido en Kenya [5, 30]. En Angola se ha encontrado que la cobertura de paja no podría ser usada, pues la caficultura tiene un carácter extensivo [29]. Las razones que limitan su uso en Angola son la falta de brazos y la escasez de residuos vegetales.

A pesar de los factores desfavorables de orden práctico, que sin lugar a dudas existen en todas partes, el resultado de la investigación favorece el uso de la cobertura, y las ventajas que se derivan superan las desventajas (peligro de fuego, escarcha y heladas). Entre los efectos positivos que justifican su empleo, se citan el mejoramiento de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, el mantenimiento de una mayor cantidad de agua, control de la erosión, etc., condiciones que permiten un mejor desarrollo radicular lo que acelera el crecimiento [7, 13, 26]. La respuesta positiva, según se valora por el aumento de la cosecha, radica en el mejoramiento del ambiente en que se desarrollan las raíces [13, 26]. Se ha puesto énfasis en la utilidad de una cobertura orgánica en cafetales en producción en ausencia de riego, pues cuando el perfil se mantiene continuamente a capacidad de campo la aplicación de cobertura puede tener poco efecto [19, 24]. No obstante, se ha observado interacción positiva entre cobertura e irrigación [25]. La temperatura del suelo se mantiene más baja si se protege con una cobertura. Las raíces se mantienen turgentes y se observa proliferación de raicillas absorbentes [7]. En Brasil, en suelos francos, arenosos finos, se encontró en uno de estos ensayos que la temperatura del suelo disminuía en los primeros 5 cm, de 51 °C a 31 °C [13].

Los residuos que proporcionan las gramináceas son los de mayor uso para la obtención de una capa orgánica. No obstante, se cuenta con resultados interesantes obtenidos con otros materiales de características diversas, desde hojas de musáceas o

desechos de sisal, o de coco, hasta coberturas de materiales plásticos, como láminas de polietileno y subproductos de petróleo [2, 12, 16, 19, 20]; la pulpa de café también ha sido usada [1]. A título de ejemplo, en el Cuadro 3.1 se insertan los resultados obtenidos en un experimento en el que se probó a largo plazo el efecto de distintos tipos de cobertura. Los estudios realizados indican que la aplicación en franjas alternas es muy eficiente [29]. Esta modalidad se ha encontrado en algunos casos tan efectiva como la cobertura completa [12]. La cobertura hecha de basura de banano parece ser más beneficiosa que la paja de gramíneas [24].

La literatura sobre el presente tema compendia los resultados experimentales que se han obtenido en relación con el uso de cobertura e irrigación en algunas regiones de África del Este [5]. Se cuenta con una revisión de la literatura especializada en relación al efecto sobre las propiedades del suelo [9].

*Cuadro 3.1.* Promedio de cosechas anuales de café obtenidas en parcelas bajo sombra tratadas con diferentes clases de cobertura orgánica\* (cwt/acre de café limpio) [24]

Tratamiento (cobertura)	Período					
	Efecto directo		Efecto residual			
	1942/51		1952/54		1952/59	
Testigo .....	7.41	100	9.98	100	10.93	100
Desechos de banano .....	8.74	118	11.85	118	12.99	119
Zacate elefante .....	8.39	113	10.93	109	12.16	111
Zacate guinea .....	8.45	114	11.02	111	12.59	115
Compost .....	8.10	109	11.67	117	12.73	116
Media .....	8.22	111	11.09	111	12.28	112
D.M.S. ....	1.05	14	0.85	8.5	N.S.	
C.V.% .....	9.9		5.6		12.7	

\* En este experimento se usaron 80 lb del material orgánico secado al aire/árbol, cubriendo toda la superficie del suelo. Esta aplicación se hizo cada año después del periodo de lluvias largas, y la de compost, a razón de 2 latas de 4 galones por cada arbusto, antes de este periodo.

### 3.1.1 Residuos vegetales útiles para cobertura

La longevidad del material que se usa determina la vida efectiva de la cobertura [30]. La persistencia de éste debe tomarse como elemento de juicio importante, pues de ella depende la cantidad de residuos vegetales para obtener una cobertura económica. En el Cuadro 3.2 se compilan los datos de un estudio sobre persistencia de la cubierta vegetal. En todos los casos, el espesor de la capa de los residuos vegetales que se usó fue de 10 cm. Nótese que se incluye el contenido de potasio de los desechos, dato importante, pues a medida que ocurre la descomposición la relación potasio/magnesio aumenta en el suelo, lo que dificulta la obtención de magnesio por parte del café [30]. Los materiales que se escogen para cobertura deben contener cantidades bajas de calcio y potasio, según investigaciones realizadas por distintos autores [20, 30]. En el Cuadro 3.3 se transcribe la composición química de algunos materiales de cobertura comunes.

Cuadro 3.2. Cualidades que exhiben algunas especies y variedades de zacates para cobertura muerta [30]

Nombre botánico			Persistencia como cobertura* 0 a 4 = malo a bueno	Potasio			Toneladas de materia seca/ acre, en dos cortes/año	
Género	Especie	Variedad		% en base seca	% de germinación	Facilidad de manejo mecánico	Suelo Rojo	Suelo Vlei
<i>Cymbopogon</i>	<i>afronardus</i>	—	4	1	15	Bueno	7	1
<i>Cymbopogon</i>	<i>validus</i>	—	4	1	15	Bueno	5	—
<i>Echinochloa</i>	<i>pyramidalis</i>	—	3	—	—	Bueno	—	5
<i>Echinochloa</i>	Sp.	(Ex S.A.L.)	3	—	—	Bueno	—	6
<i>Echinochloa</i>	Sp.	(Ex Makuyu)	3	—	—	Bueno	—	7
<i>Hyparrhenia</i>	<i>cymbaria</i>	—	3	1	15	Bueno	5	—
<i>Hyparrhenia</i>	<i>rufa</i>	—	3	1	15	Bueno	3	—
<i>Hyparrhenia</i>	<i>ruprechtii</i>	—	3	1	15	Bueno	2	—
<i>Hyparrhenia</i>	Sp.	(Ex S.A.L. 11-4)	3	1	20	Bueno	8	1
<i>Hyparrhenia</i>	Sp.	(Ex S.A.L. 11-5)	3	1	25	Bueno	5	—
<i>Panicum</i>	<i>coloratum</i>	(Sensu-latum)	2	1	—	Bueno	9	4
<i>Panicum</i>	<i>coloratum</i>	(Makarikariense)	2	—	—	Pobre	—	3
<i>Panicum</i>	<i>maximum</i>	—	2	—	25	Bueno	—	2
<i>Panicum</i>	<i>maximum</i>	(Mackinnon Rd.)	2	2	—	Regular	9	5
<i>Panicum</i>	<i>maximum</i>	(Sigor, Suk)	2	—	25	Bueno	—	3
<i>Panicum</i>	<i>maximum</i>	(Trichoglume)	2	—	10	Bueno	—	2
<i>Pennisetum</i>	<i>haarensis</i>	—	3	—	—	Bueno	—	5
<i>Pennisetum</i>	<i>polystachon</i>	—	3	—	—	Bueno	—	1
<i>Pennisetum</i>	<i>purpureum</i>	(Local)	2	4	—	Malo	14	—
<i>Pennisetum</i>	<i>purpureum</i>	(Cameroon)	1	3	—	Malo	13	8
<i>Pennisetum</i>	<i>purpureum</i>	(Gold Coast)	1	—	—	Malo	—	5
<i>Pennisetum</i>	<i>purpureum</i>	(Uganda S4)	2	3	—	Regular	11	4

\* Tabla de valoración arbitraria:

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| 1. Cobertura efectiva durante 7 meses | 3. Cobertura efectiva durante 9 meses  |
| 2. Cobertura efectiva durante 8 meses | 4. Cobertura efectiva durante 10 meses |

Algunos ensayos efectuados con materiales diversos (láminas de plástico, hojas de banano, de coco, etc.) han permitido concluir que las parcelas mantenidas con cubierta de hojas de banano producen tres veces más café que las testigo [16].

En Brasil consideran como adecuada la adición de 100–120 toneladas/hectárea de materiales vegetales apropiados ricos en nutrimentos [8].

A pesar de las ventajas que representa el uso de cobertura muerta, en Brasil señalan en el presente un número de desventajas, a saber:

- Aumentan el peligro de las heladas en las regiones expuestas
- El peligro de incendio de la materia seca constituye un riesgo importante
- Su costo es elevado en virtud del transporte del material
- En el proceso de descomposición se consume nitrógeno, lo que hace necesario aplicar un suplemento
- Promueve la incidencia del mirador de la hoja del café.

En Brasil usan las propias malezas como cobertura muerta, aplicando sobre las mismas un herbicida de contacto o sistémico o bien son cortadas con maquinaria. Como

Cuadro 3.3. Composición química de algunos materiales que se usan para cobertura (% en base seca)

Clase de material	N	P	K	Ca	Mg	S	Referencia
Pulpa de café .....	1.56	0.16	2.43	0.45	0.07	0.11	<i>Carvajal [6]</i>
Pulpa de café .....	1.74	0.10	5.26	0.48	0.11	0.13	<i>Mehlich [14]</i>
Zacate* de guinea .....	1.04	0.06	1.77	0.82	0.20	—	<i>Medcalf [13]</i>
Zacate jaragua .....	0.98	0.06	1.33	0.84	0.26	—	
Zacate «molasses» .....	0.29	0.20	0.36	0.56	0.10	—	
Compost de corral .....	0.08	0.04	0.31	0.15	0.11	—	
Desechos de sisal verdes .....	0.90	0.14	1.30	5.30	0.72	0.07	<i>Mehlich [14]</i>
Desechos de sisal recientes .....	1.04	0.11	0.29	4.00	0.22	0.09	
Desechos de sisal viejos .....	2.14	0.24	0.34	5.70	0.13	0.17	
Hoja de sisal N° 12 .....	0.65	0.29	2.00	4.47	0.77	0.02	
Hoja de sisal N° 22 .....	0.72	0.31	3.40	4.36	0.79	0.05	
Zacate elefante de un suelo promedio .....	0.33	0.10	2.64	0.29	0.15	0.07	
Zacate elefante de un suelo fértil .....	0.60	0.11	3.90	0.33	0.16	0.18	
Zacate elefante de un suelo pobre .....	0.30	0.10	1.62	0.29	0.13	0.04	
Residuos de maíz .....	0.72	0.09	1.24	0.32	0.18	0.08	
Piña, parte aérea .....	0.30	0.05	0.30	0.42	0.11	0.07	
Cáscara de arroz .....	0.20	0.13	2.32	0.39	0.19	0.09	
Cáscara de café .....	0.14	0.02	0.01	0.04	0.05	0.02	
Desperdicios de sisal .....	1.37	0.24	—	4.50	—	—	<i>Northmore [18]</i>

\* Modismo centroamericano para «pasto»

alternativa se sugiere la siembra de una leguminosa como cultivo intercalado, el cual se corta posteriormente.

Los desechos producto de la regulación periódica de la sombra suplen material de cobertura.

### 3.1.2 Efecto de la cobertura en las características del suelo y en la nutrición del café

Las investigaciones en relación con la influencia de la cobertura sobre las propiedades del suelo han sido muy concluyentes, pues dicha práctica mejora considerablemente las características físicas que favorecen la capacidad de retención de agua y la aeración del suelo.

La cobertura formada por basura de banano aumenta significativamente el tenor de la materia orgánica en el suelo, nitrógeno, potasio, calcio y pH [5]. En el Cuadro 3.4 aparecen los resultados obtenidos en uno de estos experimentos [31]. Por la aplicación de residuos de banano, a la que se refieren los datos que se insertan, a razón de 25 t/ha (18 kg/arbusto, espaciados  $2.70 \times 2.70$  m) que representa la adición de 289 kg de nitrógeno y 318 kg de potasio por hectárea, los cambios en la composición química mencionados no deben causar sorpresa. El contenido total de nutrimentos en kg/ha de una cobertura usual de zacate elefante, equivalente a 11.2 t/ha de materia seca, ha sido estimado por *Robinson* en: N = 109, P = 19, K = 1197, Ca = 18 y Mg = 29. Este aporte al suelo, que presupone un cultivo adicional de zacates en un terreno rico en nutrimentos vecino al cafetal, sujeto a una descomposición completa eventualmente llega a ser disponible para los cafetos [10].

El mejoramiento de las características físicas y químicas del suelo tiene influencia en el acumulamiento de nutrimentos en el café [7, 13, 26, 31]. Los resultados obtenidos en Tanganyika indican que las fluctuaciones del contenido de potasio, calcio y magnesio en las hojas resultan menos marcadas en las parcelas tratadas que en las testigo [31]. La información procedente de Brasil indica que las coberturas orgánicas causan diferencias hasta de un 60% en el contenido de fósforo en las hojas del café [13]. En cuanto a potasio, las diferencias observadas no han sido muy grandes, aunque siempre mayores que en las parcelas testigo. Los niveles de nitrógeno fueron más bajos en los lotes con cobertura. En otra investigación se encontró un menor contenido de nitratos en comparación con el que se observó en parcelas limpias de hierba [12]. En cuanto a elementos menores, esta práctica cultural aparentemente causa una disminución del contenido de manganeso en la planta, efecto que puede ser beneficioso. Como resultado de la cobertura muerta, la disminución del contenido de nitrógeno y potasio en la hoja asociada con la maduración de la cosecha, ocurre en menor grado [5].

El valor fertilizante de la capa de cobertura orgánica es conspicuo. Sin embargo, sus efectos en la composición química del suelo y de las hojas del café varía con el tipo de suelo, las condiciones ambientales y la naturaleza del material que se usa como cobertura. Para una discusión completa del presente tema se sugiere consultar un artículo de revisión [5].

Cuadro 3.4. Efecto de la aplicación de diferentes tipos de cobertura por doce años consecutivos en algunas propiedades de un suelo franco arcilloso de Kilimanjaro\* [31]

Tratamientos	C %	N %	pH	Calcio de inter- cambio mge %	Potasio de inter- cambio mge %	Agregados estables en agua			Espacio de poro total %
						1,0 mm	0,5 mm	100 mallas	
Exp. 1 (Cafetos al sol)									
Testigo	3.05	0.296	6.68	15.07	2.23	7.0	22.8	56.8	63.6
Hojas de banano:									
40 lb/arbusto .....	1.17	0.057	0.57	5.09	2.32	5.5	9.3	3.2	1.6
80 lb/arbusto .....	1.56	0.103	0.56	9.37	2.29	6.1	13.0	6.3	2.7
40 + 40 lb/arbusto .....	1.73	0.115	0.52	8.93	2.47	6.0	10.3	7.0	4.2
Nivel de significación estadística .....	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.05	0.05	0.01
Exp. 2 (Cafetos bajo sombra)									
Testigo .....	3.98	0.420	6.53	19.51	2.73				
80 lb/arbusto de hojas de banano .....	0.81	0.078	0.19	5.11	0.73				
80 lb/arbusto de zacate elefante .....	0.48	0.016	-	-	1.29				
80 lb/arbusto de zacate guinea .....	0.66	-	-	-	0.72				
4 galones/arbusto de compost .....	-	0.040	-	-	-				
Nivel de significación estadística	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05				

\* Con excepción de las cifras correspondientes a los testigos, el resto representan aumentos

### **3.1.3 Cobertura orgánica versus aplicación de estiércol o fertilización inorgánica**

Al igual que se ha observado con la aplicación de fertilizantes nitrogenados a cafetos que han recibido estiércol, que aquéllos anulan el efecto de éste [10], la cobertura de zacate (pasto) elimina la respuesta de la cosecha a la aplicación de estiércol [10, 21]. El empajamiento del suelo y el abono orgánico enterrado, constituye una modalidad de tratamiento que rinde la producción más elevada [29]. Compost o estiércol de bovino deben ser considerados como un tratamiento útil como alternativa con el de cobertura y/o fertilizante nitrogenado [24]. El resultado obtenido por un grupo de investigadores indica que no hay interacción negativa entre una fuente de nitrógeno amoniacal y cobertura [10]. Sin embargo, cuando todo o la mitad del nitrógeno se suple en forma de nitratos, no se ha observado respuesta a los tratamientos de cobertura.

Los resultados de un investigador señalan que en ausencia de cobertura orgánica una sola aplicación de sulfato de amonio es más eficiente que una sola de úrea [23]. Con un cubrimiento parcial del suelo, las dos fuentes mencionadas han sido más efectivas cuando se aplican al suelo desnudo, en contraste con la aplicación sobre el suelo con cobertura alrededor de los arbustos. Cuando la cubierta es total la aplicación subdividida ha resultado más eficiente [22, 23].

### **3.1.4 Aplicación de cobertura muerta como método indirecto de fertilización**

La empresa privada ha experimentado en Kenya el abonamiento de los pastizales a base de nitrógeno, el cual, al ser aplicado a los cafetales como cobertura muerta, teóricamente alimentaría a los cafetales [11]. Consideran que idealmente todos los macronutrientes deberían ser aplicados al material de cobertura, si ello fuera necesario y no a los cafetos.

En principio, el beneficio que se deriva de tal modalidad de abonamiento, resultó beneficiosa. Pero a juicio de los científicos de Kenya, este método de fertilización indirecta no favorece su recomendación por razones técnicas. Invocan la ventaja que significa la producción simultánea de material vegetal de maíz para cobertura como mejor alternativa [15].

La experiencia ha demostrado que, para cobertura muerta, las gramíneas responden muy bien a los fertilizantes [11, 17]. Los resultados han puesto énfasis en el hecho de que no solamente nitrógeno debe ser añadido, sino que también se ha puesto en evidencia la respuesta a fósforo. El potasio debe ser añadido, acotan, solamente en suelos deficientes en este elemento. Lo mismo puede decirse respecto al calcio.

Se considera valioso que la adición de cobertura muerta debe ser acompañada con la aplicación de un suplemento de nitrógeno al suelo, para facilitar la mineralización de la materia orgánica.

## Importancia de la composición química de la cobertura

La cobertura vegetal entra en descomposición una vez en contacto con el suelo y el contenido de minerales que la componen puede ser responsable de desequilibrios en éste, a saber:

La relación potasio/magnesio se afecta desfavorablemente cuando el contenido de potasio de la cubierta orgánica es muy alto (ver Cuadros 3.2 y 3.3). En este caso se provoca en las plantas una deficiencia de magnesio [1, 19].

El uso continuado de algunos residuos orgánicos, como desperdicios de sisal, material que se usa en Kenya, modifica la reacción del suelo debido a su alto contenido de calcio (Cuadro 3.3) [20]. Un efecto obvio de la aplicación de materiales de este tipo es la inducción de una deficiencia de hierro [18]. La aplicación de cobertura de residuos de sisal del orden de > 125 toneladas por hectárea, con un contenido de calcio de cerca de 4.5% subió el pH de la capa superior del suelo de 4.8 a 6.5, después de 2.5 años.

## 3.2 Cobertura viva

La investigación realizada en el Camerún, señala que la utilización de una planta de cobertura constituye un sistema de cultivo rentable [3]. En Colombia se investigó recientemente la adaptación y fijación simbiótica de nitrógeno atmosférico por algunas leguminosas tropicales [28]. Se probaron 37 leguminosas con miras a un futuro establecimiento en las entrecalles de las plantaciones de café. Se seleccionaron 10 por su adaptación, capacidad de fijación de nitrógeno y características agronómicas. En esta investigación se observaron marcas de fijación de nitrógeno de 1000, 763 y 920 mg de N/planta, en *Stizolobium deeringianum*, *Dolichos lablab* y *Cajanus cajan*, respectivamente, con la mediación de algunos inóculos. Un hecho importante lo constituye el haber sido observada una buena fijación en plantas no inoculadas, lo que indica la existencia de cepas nativas de *Rhizobium*. En *Crotalaria spectabilis* se encontró una fijación promedio de 3310 mg de N/planta. En Brasil sugieren la siembra de una leguminosa como cultivo intercalado, el cual se corta posteriormente para que surta el efecto de una cobertura muerta [7].

El promedio/hectárea de café de mercadeo en el Camerún es de 300 kg [3]. Con la ayuda de un adecuado cultivo de cobertura se sabe ahora que el referido promedio puede ser elevado en un 50% (en el Camerún se cultivan cerca de 200 000 hectáreas de café Robusta). La investigación de comentario consistió en ensayos con plantas de cobertura en plantaciones adultas y con cafetos jóvenes, incluyendo pruebas en las que se combinaron el empleo de fertilizantes nitrogenados y plantas de cobertura. Las plantas de cobertura han sido: *Pueraria*, *Mimosa*, *Stylosanthes*, *Flemingia* y *Tithonia*. Un hecho interesante que cabe mencionar es que cafetos jóvenes con cobertura de *Flemingia* produjeron más temprano. En el Este del Camerún *Flemingia* y *Mimosa* han aumentado los rendimientos en plantaciones adultas, de 60 a 200%, dependiendo del año.

La utilización de plantas de cobertura trepadoras en café Robusta no es extrapolable al Arábica [4].

### 3.3 Cobertura muerta *versus* plantas de cobertura

El uso de cobertura en el suelo responde en el presente a la necesidad de solucionar dos problemas prácticos: a) la exigencia de preservar el agua del suelo; b) la búsqueda de sistemas de producción que contribuyan a suplir nitrógeno.

Como secuela de ambas modalidades de cobertura, las características físico-químicas del suelo resultan favorecidas en grado relativo. Por un lado, la adición de cobertura muerta contribuye a elevar el tenor de materia orgánica y de nutrimentos en el suelo, lo que en el fondo tiene el significado de una fertilización, si bien tal no es el beneficio primario que se persigue, ni el suelo se enriquece de manera equilibrada. Por el contrario, a menudo la composición química del material que se usa causa trastornos en la absorción de algunos nutrimentos y se altera el pH. Por otro lado, la siembra de una cobertura viva de leguminosas, como cultivo intercalado, además de suplir nitrógeno al cultivo (objeto primario), evita la competencia de las malezas por los nutrimentos en el suelo. Ambos sistemas mejoran las condiciones físicas de los suelos.

Dado que la materia orgánica para cobertura muerta a menudo es difícil de conseguir a bajo costo, el uso de plantas de cobertura podría servir como alternativa. No obstante, esta modalidad de hecho se adapta mejor a regiones en donde el déficit hídrico de la plantación no llega a ser un factor limitante de la productividad.

Si se admite el criterio que especies arborescentes son fuentes reales de cobertura muerta (mulch), esta modalidad debe ser estudiada con más detalle en investigaciones de campo. En el presente están siendo considerados cultivos no tradicionales, que producen retornos económicos, como ciertas especies maderables.

### 3.4 Cultivos intercalados

Los cultivos intercalados que se acostumbra sembrar en algunos países, por ejemplo arroz, frijol, maní, soya, millo, girasol, etc., pueden ser considerados como un sistema que, mientras persiste, constituye una cobertura viva de duración limitada.

Esta modalidad de cultivo es recomendable durante los primeros tres años de vida del cafetal [8]. En los países en donde se acostumbra sembrar el café a distancia de  $1 \times 2$  m, o menores, esta alternativa es poco probable y podría limitarse a 1 ó 2 años. En términos generales su uso puede ser recomendado siempre y cuando se planten especies que no compitan por luz, agua y nutrimentos. Plantaciones de café adultas, sometidas a recepa total, también están en condiciones para la siembra de algún cultivo intercalado temporáneo.

Los cultivos de porte alto, como maíz, pueden, a su vez, servir de rompevientos.

### 3.5 Referencias

1. *Awatramani, N. A. y Gopalkrishnan, R.*: Mulching in coffee. I. Preliminary report on the mulching trials at Central Coffee Research Institute. *Indian Coffee* 29(8), 12-17 (1965)
2. *Blore, T. W. D.*: Petroleum mulch trials on young Kenya coffee. *Kenya Coffee* 29 (348), 511-514 (1964)
3. *Bouharmont, P.*: L'utilisation des plantes de couverture dans la culture du caféier Robusta au Cameroun. *Café, Cacao, Thé XXII* (2), 113-138 (1978)
4. *Bouharmont, P.*: L'utilisation des plantes de couverture et du pailage dans la culture du caféier Arabica au Cameroun. *Café, Cacao, Thé XXIII* (2), 75-102 (1979)
5. *Bull, R. A.*: Effects of mulching and irrigation in some East African coffee soils. A review. *Turrialba* 13, 22-27 (1963)
6. *Carvajal, J. F.*: Nutrición mineral del café. Requerimientos de la cosecha. Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería STICA. Boletín Técnico N° 9, 16 p. (1959)
7. *Castro, Bierrenbach, J.*: Vantagens da cobertura morta para o cafeeiro. Superintendência dos Serviços do Café, São Paulo, Brasil, Boletim 35 (403), 16-19 (1960)
8. *Fernandes, D. R.*: Manejo do cafeeiro no Brasil. In: *Nutrição e Adubação do Cafeeiro*. Ed. T. Yamada. Instituto da Potassa & Fosfato (EUA) - Instituto Internacional da Potassa (Suíça), (Brasil), 1981
9. *Jacks, G. V., Brind, W. D. y Smith, R.*: Mulching. Tech. Communication No. 49 of the Commonwealth Bureau of Soil Science. Farnham Royal, Bucks, England, 1955
10. *Jones, P. A., Robinson, J. B. D. y Wallis, J. A. N.*: Fertilizers, manure and mulch in Kenya coffee growing. *Empire Journal of Experimental Agriculture* 28 (112), 335-352 (1960)
11. *Jones, P. A. y Robinson, J. B. D.*: Response of mature Napier grass to fertilizers and cattle manure in Kenya. *E. Afr. Agric. J.* 30, 276-285 (1965)
12. *Martin, W. S.*: Mulching with grass and plantain trash and its effect on crop and soil conditions. *E. Afr. Agric. J.* 1 (2), 140-144 (1935)
13. *Medcalf, J. C.*: Preliminary study on mulching young coffee in Brazil. Bulletin No. 12, IBEC Research Institute. New York. 47 p. (1956)
14. *Mehlich, A.*: Mineral nutrient content of organic manures and mulching materials with particular reference to calcium, magnesium and potassium. *Kenya Coffee* 30, 157-161 (1965)
15. *Mehlich, A.*: Production of maize for grain and mulching materials. *Kenya Coffee* 31, 105-109 (1966)
16. *Mendoza, S. P. Jr. y Tuazon, A. B.*: The effect of different mulching materials on the growth and yield of Arabica coffee. *Coffee and Cacao Journal (Philippines)* 3 (11), 275, 284, 292 (1961)
17. *Mitchell, H. W.*: Grasses for mulching coffee. *Kenya Coffee* 33, 327-333 (1968)
18. *Northmore, J. M.*: Sisal waste-mulch. *Tanganyika Coffee News* 4 (10), 254-257 (1964)
19. *Pereira, H. C.*: Studies on the effect of mulch and irrigation on root and stem development in *Coffea arabica* L. II. A five year water-budget of a coffee irrigation experiment. *Turrialba* 13 (4), 227-230 (1963)
20. *Rao, H. H.*: Mulching in coffee. *Indian Coffee* 28 (8), 180-182 (1964)
21. *Robinson, J. B. D. y Wallis, J. A. N.*: Recommendations for the application of cattle manure to coffee. *Kenya Coffee* 24 (288), 488-489 (1959)
22. *Robinson, J. B. D.*: Nitrogen studies in a coffee soil. II. The influence of mulch on natural and fertilizer levels of nitrate and ammonia in the top soil. *J. of Agric. Sci.* 56 (1), 49-59 (1961)
23. *Robinson, J. B. D.*: Nitrogen studies in a coffee soil. III. The comparative efficiency of ammonium sulphate and urea fertilizers in the presence and absence of an organic mulch measured in terms of crop yield. *J. of Agric. Sci.* 56 (1), 61-64 (1961)
24. *Robinson, J. B. D. y Mitchell, H. W.*: The response of *Coffea arabica* L. to mulch, compost and nitrogen fertilizer in Tanganyika. *Turrialba* 14 (1), 5-14 (1964)

25. *Robinson, J. B. D. y Mitchell, H. W.*: Studies on the effect of mulch and irrigation on root and stem development in *Coffea arabica* L. III. The effect of mulch and irrigation on yield. *Turrialba 14* (1), 24-28 (1964)
26. *Robinson, J. B. D. y Hosegood, P. H.*: Effects of organic mulch on fertility of a latosolic coffee soil in Kenya. *Exp. Agric. 1* (1), 67-80 (1965)
27. *Rune, P. J.*: Farming your grasslands for mulch production. *Kenya Coffee 37*, 262-265 (1972)
28. *Suarez-Vásquez, S.*: Estudio de adaptación y fijación simbiótica de nitrógeno en algunas leguminosas tropicales. *Cenicafé 26*, 27-37 (1975)
29. *Vaz, J. T.*: Resultados preliminares de dois ensaios em curso na estação regional do Amboim. *Revista do Café Português 8* (30), 89-95 (1961)
30. *Wallis, J. A. N.*: Note on grasses for mulching coffee. *Kenya Coffee 25* (297), 366-367 (1960)
31. *Warden, J. C.*: The action and value of organic mulches on the yield and nutrition of the coffee tree. Research Report for 1960. Coffee Research Station, Lyamungu, Tanganyika, pp. 25-33, 1961



## 4. Enfermedades y plagas

La importancia económica de las enfermedades y las plagas, que salvo contadas excepciones son de distribución universal, varía de acuerdo a la ecología propia de cada región. Cuando ocurren alteraciones que originan un desequilibrio en el control biológico natural y se favorece la incidencia de determinada plaga o enfermedad, las pérdidas que a menudo se registran alcanzan magnitudes insospechables. Constituyen un factor muy importante en la producción, al punto que su grado de ataque puede ser usado como criterio para definir zonas marginales. Por lo general se manifiestan cuando existen condiciones ecológicas adversas y se intensifican cuando el suelo no es fértil o las prácticas culturales son inadecuadas [39]. Las enfermedades que afectan al cafeto pueden ser de naturaleza fungosa, bacterial o virosa.

El número de especies de insectos que atacan al cafeto es muy considerable, afortunadamente sólo unas pocas se consideran económicamente importantes [4]. Al igual que ocurre con la incidencia de enfermedades, el hábitculo propicio para su propagación varía con las condiciones climáticas, razón por la cual las plagas más importantes en una determinada localidad no son las mismas en otras.

### 4.1 Enfermedades fungosas\*

#### 4.1.1 Antracnosis

(*Colletotrichum coffeanum* Noack; *Colletotrichum acutatum*; *Colletotrichum gloeosporioides* [Penz.] Sacc.)

##### Síntomas:

En las hojas los síntomas aparecen a manera de manchas de color pardo amarillento hasta pardo oscuro, por el haz y por el envés. Las manchas pueden mostrar un dibujo concéntrico y algunas aparecen desteñidas en el centro, adoptando un color blanco grisáceo [28]. El ataque aparece por lo general en los bordes. Las lesiones alcanzan hasta 3 cm de diámetro. En los frutos también se pueden presentar pequeñas manchas de color negro que pueden abarcar el fruto entero. Cuando el ataque es tardío se pudre solamente el mesocarpio.

Las tres especies de *Colletotrichum* invaden diferentes partes de la planta de café en África Central y del Este [21]. Causan la enfermedad conocida como «Coffee Berry Disease» (CBD) (Foto 1). En Kenia conceden mayor importancia a esta enfermedad que a la Roya.

\* El autor agradece al Ing. Agr. Carlos Alberto Soto Salazar, del Departamento de Fitopatología del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, las ilustraciones que se insertan y la revisión y crítica de este tema.

madera aparece desnuda y finalmente las ramas mueren. A menudo las llagas abarcan toda la corteza. El ataque de esta enfermedad es estacional y deja de ser importante durante la época seca.

En un 90% de los casos su asiento inicial lo constituyen los verticilos de los frutos donde se ve un micelio ralo que los envuelve (semejante a una telaraña). Posteriormente se nota la necrosis y muerte de su parte basal y la formación de «motitas» de micelio sobre su superficie. De aquí se extiende al resto de la rama (Foto 4).

### Control

La enfermedad Rosada se controla con tres aplicaciones, a intervalos de 30 días, de arseniato de plomo, a razón de 750 g/190 l de agua. La mezcla debe contener, en adición, 750 g de oxisulfato de zinc y un adherente. El tratamiento debe empezar al inicio de la estación lluviosa. Los cobres neutrales aplicados durante la estación lluviosa constituyen un tratamiento preventivo aconsejable.

La aplicación de fungicidas para el control simultáneo de Chasparria y Enfermedad Rosada ha demostrado efectos sinérgicos [53].

### 4.1.5 Herrumbre o Roya

(*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.; especie menos común: *Hemileia coffeicola* Mari-blanc et Roger)

#### Síntomas:

Enfermedad fungosa caracterizada por pústulas de color amarillo claro en el envés de las hojas, de unos 2 mm de diámetro, que se extienden y oscurecen lentamente [28]. Las manchas al inicio aparecen transparentes por el haz de la hoja, semejantes a manchas de aceite. Las hojas jóvenes son las que primero muestran los síntomas. Las manchas más viejas se tornan de color amarillo-anaranjado en el envés, pues se recubren con una capa de polvo color anaranjado constituida por las uredosporas del hongo (Foto 5). Las manchas pueden agrandarse con el tiempo hasta alcanzar un diámetro de 15 mm y coalescer hasta cubrir toda la hoja, exhibiendo finalmente un color pardo hasta negro. La abscisión de las hojas en gran cantidad produce la casi total defoliación de la planta.

El herrumbre es probablemente la dolencia más destructiva del café. Apareció por primera vez en Ceilán en 1869 y actualmente se encuentra distribuida casi en todo Africa y las regiones tropicales de Asia y Oceanía. En Brasil se descubrió un brote de herrumbre a principios de 1970. Pese a la erradicación de las plantaciones afectadas y un estricto cumplimiento de medidas cuarentenarias, toda la caficultura está afectada en el presente por esta enfermedad, cuyas consecuencias, positivas y negativas, han sido comentadas recientemente [29]. En 1976 la enfermedad apareció en Nicaragua. Hasta fines de 1981, únicamente Costa Rica, Colombia, Venezuela y las Antillas se encuentran libres de la enfermedad. La germinación de las uredosporas es muy sensible a las condiciones de temperatura, luz y humedad [30].

### **Control:**

Debe favorecerse la robustez de las plantas mediante manejo y fertilización. Las cosechas muy grandes debilitan las plantas y favorecen la incidencia de la enfermedad.

Antes de que empiece el período de lluvias debe efectuarse una aspersión de caldo bordelés o cobres neutrales, como oxiclóruros, hidróxidos u óxidos a razón de 2 kg del principio activo por hectárea diluidos en 300–400 litros de agua [9]. El tratamiento se repite según la severidad de la incidencia, cada 4 semanas, cinco a siete veces consecutivas por cosecha. La aspersión debe cubrir de preferencia el envés de las hojas y la copa de los arbustos.

El control químico es factible pero caro. Se ha trabajado en la selección de variedades resistentes, de descendencia de *Coffea canephora* y *C. liberica*. Sin embargo, el hongo produce diferentes razas fisiológicas y algunas selecciones resistentes a unas, luego resultan susceptibles a otras. En la actualidad se trabaja muy intensamente en la selección de linajes de Catimores (cruces de Caturra con Híbrido de Timor) que presentan resistencia a la Roya.

Para el control de la Roya se ha venido probando experimentalmente en varios países la eficacia del fungicida sistémico Triadimefón 25% PM (Bayleton), y tanto en Kenya como en Brasil se ha observado un excelente control en condiciones de campo. El tratamiento curativo-preventivo se consigue con dosis de 0.5–1 kg del agroquímico por mil plantas aplicado a intervalos de cuatro y seis semanas. Como «erradicante» la dosis recomendada es de 2 kg del compuesto/ha [40]. Si se presentan nuevas infecciones es conveniente hacer un segundo tratamiento con 1 kg/ha. En Brasil han obtenido un control eficiente con solamente una o dos aplicaciones de Bayleton, a la dosis de 500 a 1000 g/1000 «covas» + 2 kg/1000 covas de un fungicida cúprico aplicado cuando el índice de infección es de 20% [41]. Resultados semejantes han sido encontrados al aplicar Bayleton con oxiclóruro de cobre [41]. Otras pruebas efectuadas con este producto y el compuesto experimental PP-296 dieron resultados igualmente positivos [41].

### **4.1.6 Llaga Macana, Mal de Machete**

(*Ceratocystis fimbriata* [Ell Hallst.] Hunt)

#### **Síntomas:**

Esta enfermedad puede afectar toda la planta o solamente ramas individuales. Las hojas pierden el brillo natural y se tornan cloróticas, luego rojizas, aparentando deficiencia de fósforo, y finalmente ocurre abscisión. El tallo no muestra síntoma a simple vista, pero, al separar la corteza se encuentran llagas alargadas de color café oscuro, casi negro [13]. Las llagas son relativamente superficiales (profundizan a lo sumo 2 mm) y pueden circundar todo el tronco o rama, lo que provoca su muerte (Foto 6). Las lesiones generalmente se localizan donde se han producido heridas, ya que el hongo necesita una puerta de entrada. Rara vez se notan en ramas jóvenes. Las plantas enfermas pueden tardar de dos a tres años en morir.

**Control:**

Debe evitarse toda herida innecesaria. Plantas que han muerto o cuyo tronco está infectado en la base, deben ser removidas. Cuando se resiembra en hoyos infectados, debe aplicarse pentacloronitrobenzeno (PCNB) al 75% (1 kg/190 l de agua). Cuando el suelo está húmedo se aplican 4 litros/planta [27]. Si la lesión ocurre en una rama se recomienda cortarla y desinfectar el corte con formalina comercial del 40% (una parte en nueve de agua) y pintar luego el corte con una pasta o pintura a base de cobre. La pasta debe ser usada el mismo día que se poda. Los troncos deben mantenerse libres de musgo, mediante limpieza con algún material apropiado, nunca con el machete o con cepillos de fibra dura.

**4.1.7 Llaga negra de la raíz (maya)**

(*Rosellinea bunodes* [Berk. et Br.] Sacc.)

**Síntomas:**

Esta enfermedad puede aparecer en diferentes partes de una finca, de preferencia en terrenos nuevos que contienen mucha materia orgánica. Su infección se presenta generalmente un año después de sembrados los arbustos, y se nota con mayor intensidad 3 a 4 años después.

El marchitamiento generalizado que caracteriza a esta enfermedad se debe a lesiones producidas por el patógeno en las raíces, las cuales se presentan cubiertas por costras negras (estroma) y gran cantidad de micelio, y muestran destrucción de la corteza formando pequeñas llagas aisladas, que generalmente coalescen [5]. Las plantas atacadas mueren en el transcurso de unas pocas semanas (Foto 7).

**Control:**

El agente patógeno se controla con aplicaciones de pentacloronitrobenzeno (PCNB) al 75% (1 kg/190 litros de agua). En plantaciones adultas se deben aplicar de 4 a 8 litros/hoyo antes de plantar nuevos arbustos de reemplazo. Después de la siembra debe practicarse una segunda aplicación a razón de 4 litros/planta. Cuando se nota su incidencia, los focos de infección deben rodearse con una zanja antes de aplicar el tratamiento. Este debe abarcar un área de plantas sanas. La zanja debe tener 30 cm de ancho por 60 cm de profundidad. En el fondo se coloca un estrato de cal viva. Todo el sistema radical de los individuos enfermos debe ser extraído totalmente y destruido por incineración, así como el de los árboles de sombra afectados.

**4.1.8 Mal o Moho de Hilachas, «arañero»**

(*Pellicularia koleroga* Cooke; *Corticium koleroga* v. Hoehnel)

**Síntomas:**

El ataque ocurre principalmente en las hojas, pero también en tallos y frutos tiernos. El micelio externo del hongo se extiende por tallos y pecíolos y así alcanza el envés

de las hojas, las que pierden su lustre y muestran necrosis (Foto 8). Generalmente las hojas se desprenden pero permanecen colgando del micelio, que las une con las ramas afectadas a manera de telaraña. A veces se observa una capa polvosa, blanquizca, debajo de las hojas muertas, que corresponde a los basidios del hongo. Los frutos y tallos afectados también muestran una necrosis café oscuro y se cubren del micelio blanquizco. Este micelio, conforme envejece, se torna café, café oscuro y finalmente negro. Cuando toma este color se ve muy bien entre las grietas de la corteza de las ramas.

#### **Control:**

Se recomienda mantener el cafetal con una buena circulación de aire mediante podas adecuadas, eliminación de ramas afectadas y raleo de la sombra. En áreas o focos de alta incidencia conviene aplicar arseniato de plomo, siguiendo la misma prescripción que se da para el control del «Ojo de Gallo», éste y otros fungicidas como el Benlate, han resultado eficientes para el control en experimentos de campo [6].

#### **4.1.9 Mal del Talluelo**

(*Pellicularia filamentosa* Pat. Rogers; *Rhizoctonia solani* Kühn; *Corticium vagum* [Berk. et Curt.]

#### **Síntomas:**

El síntoma principal consiste en un estrangulamiento visible del tallo de color café oscuro, que se localiza en la parte inferior de las plantas de semillero o de almácigos jóvenes, produciendo la muerte de la plantita. En plantas de más edad la necrosis de la corteza es total. La parte aérea se marchita y muere [1]. Cuando las plantas han crecido un poco y el tallo está en proceso de lignificación el patógeno puede atacar las hojas jóvenes y la sección del tallo contigua. El ataque puede manifestarse hasta un año después del trasplante. En plantas de esta edad los síntomas por lo general aparecen durante la estación lluviosa y los daños se manifiestan también como lesiones corticales. El límite superior de la lesión aparece abultado como si se tratara del resultado de un descortezamiento anular.

#### **Control:**

El Mal del Talluelo se combate con pentacloronitrobenzeno (PCNB) al 75%. Se aplica al suelo, con regadera, tres semanas antes de la siembra, a razón de 400 g/10 m<sup>2</sup>, en una cantidad de agua que garantice que el suelo queda mojado [28].

Debe procurarse un buen drenaje en los almacigales. Cuando el hongo aparece en los viveros no se recomienda el uso de PCNB, pues puede producir deformaciones en el sistema radical. En este caso se recomienda el uso de Difolatán PM 20 g/m<sup>2</sup>, Benlate 5 g/m<sup>2</sup>, Daconil 15 g/m<sup>2</sup>. Este último compuesto usado a esta dosis al momento del trasplante, también protege a las plantas por cinco meses contra el hongo *Cercospora coffeicola* [51].

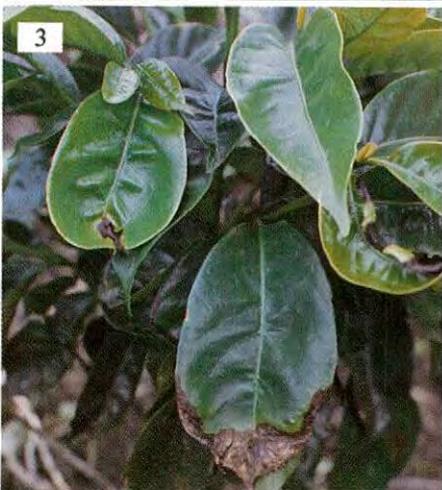


Foto 1 Rama de café con lesiones producidas por el hongo *Colletotrichum coffeanum* Noack (por cortesía de la Dra. D.M. Masaba, de la Sección de Patología de la Estación Experimental de Café de Ruiru, Kenya).

Foto 2 Hojas con lesiones típicas producidas por el hongo *Cercospora coffeicola* Berk. et Cooke, agente causal de la Chasparria o «mancha de hierro».

Foto 3 Derrite o «quemado». Lesiones producidas por el hongo *Phoma costarricensis* Ech. *Phyllostica coffeicola* Speg.

Foto 4 Fructificación afectada por la Enfermedad Rosada (*Corticium salmonicolor* Berk. et Br.).

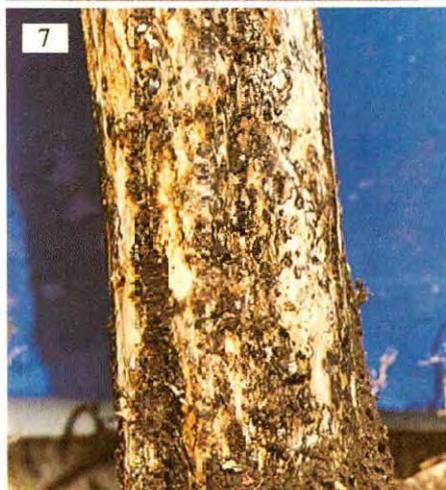
Foto 5 Roya o Herrumbre del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.). Nótese las pústulas y la presencia de uredosporas color anaranjado.



6



8



7



9

Foto 6 Llaga Macana, «mal de machete». Lesión típica en la base del tronco producida por el hongo *Ceratocystis fimbriata* (Ell Hallst.) Hunt. El daño se aprecia al remover la corteza.

Foto 7 Raíz con lesiones producidas por el hongo *Rosellinea burudae* (Berk. et Br.) Sacc.

Foto 8 Mal de hilachas *Pellicularia koleroga* Cooke; *Corticium koleroga* Hoehnel. Nótese la necrosis y el micelio blancuzco.

Foto 9 Hojas afectadas por Mancha mantecosa (*Colletotrichum coffeanum*).

#### 4.1.10 Mancha Mantecosa (Blister Spot)

(*Colletotrichum coffeanum* Noack.)

##### Síntomas:

Esta enfermedad se ha estudiado en Costa Rica por varios investigadores [7, 20, 45, 59, 60, 61]. Las lesiones típicas están caracterizadas por manchas circulares de bordes definidos de color verde pálido hasta amarillo, de 1 a 3 mm de diámetro (Foto 9). Se presentan en bajo relieve y dan la impresión de tener una superficie grasosa [20]. Las hojas más jóvenes a menudo muestran un «encrespamiento» y pierden la turgencia.

Las lesiones se hacen extensivas a los frutos, variando los síntomas de acuerdo a su edad. En los muy jóvenes ocurre necrosis total, mientras que en los adultos se producen pequeños cráteres necróticos. La ocurrencia de esta enfermedad está ligada a un factor genético.

La «Mancha Aceitosa», descrita en Brasil [8, 62], parece ser idéntica a la Mancha Mantecosa. No se ha podido demostrar que sea de naturaleza virosa.

#### 4.1.11 Ojo de Gallo, «gotera», «maja», «viruela»

(*Mycena citricolor* [Berk. et Curt.] Sacc.; antes *Omphalia flavida* [Maublanc et Rangel])

##### Síntomas:

La sombra y humedad en exceso favorecen la incidencia de esta enfermedad. En las hojas, las lesiones aparecen como manchas de color pardo oscuro y conforme envejecen se aclaran hasta tomar el color grisáceo claro (Foto 10a). Son de bordes definidos y de un diámetro de 3 a 6 mm, ocasionalmente pueden ser hasta de 10 mm, visibles por el haz y por el envés [1]. En la época lluviosa, sobre las manchas se notan filamentos, «cabecitas» o «gemas» de color amarillo limón. Emergen perpendicularmente en número que puede variar desde uno hasta 40 o más por lesión. Las plantas afectadas exhiben una abscisión pronunciada del follaje. Las lesiones se presentan también en los frutos, los que también caen. La abscisión de la hoja no depende del número de lesiones, sino de su ubicación. Basta una sola lesión en la vena central o cerca del peciolo para que la hoja se desprenda en corto tiempo. El tejido de la lesión en las hojas es de consistencia papelosa y seca, y a menudo se rasga y cae. Las manchas en el fruto tienen el mismo color que en las hojas y generalmente son de forma circular y pueden abarcar más de la mitad del grano. En este caso la mancha se presenta en bajo relieve y se adhiere al grano (Foto 10b).

##### Control:

El Ojo de Gallo se combate con tres aplicaciones sucesivas de arseniato de plomo (3.65 g/l), arseniato de hierro (3.25 ml/l), arseniato de calcio (3.65 g/l) o metil-arsina (0.6 g/l), en aplicaciones a intervalos de 30 días. Tres son suficientes cuando se realizan dos al final de la estación seca y una al inicio de las lluvias. Durante la estación húmeda debe usarse un buen adherente. Cuando se usa un arsenical se debe añadir a

la mezcla 750 g de oxisulfato de zinc para evitar la intoxicación por arsénico. Los compuestos arsenicales tienen un efecto erradicante sobre esta enfermedad al impedir la producción de nuevas «cabecitas» [16]. En Costa Rica se permite el uso de compuestos arsenicales únicamente durante los primeros cuatro meses de desarrollo del fruto.

## 4.2 Enfermedades virosas

El cafeto no escapa a la acción perniciosa de los virus. Afortunadamente estas enfermedades tienen poca importancia económica pues su incidencia por lo general está restringida a pequeñas áreas. Además, no todas las especies y variedades son igualmente susceptibles.

### 4.2.1 Mancha Anular

#### Síntomas:

Las lesiones típicas de esta enfermedad virosa están caracterizadas por manchas en las hojas de forma redondeada u ovalada, de coloración verde pálido, que contienen en el centro un puntito claro, rodeado de un círculo pequeño de color verde oscuro [49]. El tamaño de las manchas varía entre 5 y 20 mm. Las manchas más pequeñas se ubican en dirección de las nervaduras secundarias. Las de mayor tamaño son ovales o más o menos irregulares, exhibiendo casi siempre líneas concéntricas claras y oscuras, en número de hasta 8 a 10. La línea más externa es de color verde pálido más o menos parduzca y generalmente más ancha que las internas. En algunos casos esta línea periférica puede exhibir necrosis.

En Filipinas se ha estudiado una enfermedad que se ha dado en llamar «Ring Spot» que se considera de naturaleza virosa, habida cuenta de que se transmite por injerto y por semilla de café Excelsa, aunque no de Arábica. De acuerdo con la descripción del estudio, la sintomatología tiene bastante relación con la Mancha Anular [42, 43].

#### Tratamiento de las enfermedades virosas

Desafortunadamente aún no se conoce ningún tratamiento efectivo para ninguna de las enfermedades virosas. No obstante, se pueden recomendar algunas prácticas, para evitar el mantenimiento de focos de infección:

- a) Las plantas enfermas deben ser arrancadas e incineradas *in situ*
- b) debe procurarse la reproducción de variedades que no se hayan manifestado susceptibles
- c) debe darse preferencia a la adquisición de semilla procedente de plantas sanas, suministrada por algún organismo debidamente autorizado [22].

Foto 10a  
Ojo de Gallo, «gotera»,  
«viruela». Lesiones típicas  
producidas en las hojas por el  
hongo *Mycena citricolor* Berk.  
et Curt/Sacc. Nótese la  
formación de «cabecitas».



Foto 10b  
Frutos con manchas de ojo  
de gallo, con «cabecitas» o  
«gemas».

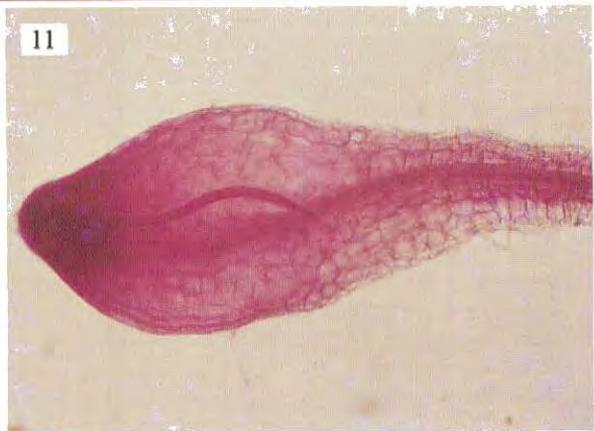


Foto 11  
Segundo estado larval de  
*Meloidogyne* spp parasitando  
una raíz joven (página 128).

## 4.3 Enfermedades bacterianas

### 4.3.1 Mancha Aureolada (Mancha Bacteriana)

(*Pseudomonas garcae*)

#### Síntomas:

De acuerdo con la literatura [1], son susceptibles a la infección, las hojas, los frutos jóvenes y las regiones en crecimiento activo. El frío y la humedad favorecen la incidencia. Las lesiones aparecen a manera de manchas parduzcas, oscuras, casi negras, de bordes más o menos redondeados, de 5 a 20 mm de diámetro, rodeadas por una aureola amarillenta. La parte central muestra necrosis. La enfermedad produce defoliación.

#### Tratamiento:

El control de esta enfermedad se hace protegiendo los viveros contra el viento frío. Los focos de infección deben ser removidos. Se debe aplicar fertilizantes para garantizar un adecuado estado de nutrición, factor importante para evitar su incidencia [1].

#### Fisiopatología

En los últimos años se han hecho algunas contribuciones tendientes a encontrar correlaciones entre los efectos que causan algunas enfermedades fungosas del café y la concentración de ciertos compuestos endógenos, cuyo contenido se altera cuando la planta sufre dolencias, o bien son compuestos que imprimen resistencia a ciertos hongos. En Colombia y Costa Rica se ha estudiado la resistencia del café a la Llagu Macana o Mal de Machete cuyo agente causal es el hongo *Ceratocystis fimbriata* [10, 16a, 63, 64]. Las investigaciones fueron realizadas en una selección obtenida en la variedad Bourbon. Al analizar plantas susceptibles (Típica, Bourbon, Caturra), resistentes (Bourbon) e inmunes (*C. canephora* y *C. liberica*) se encontró una mayor concentración de polifenoles en los especímenes inmunes al hongo. La cantidad disminuyó en las plantas resistentes y resultó aún menor en las susceptibles. Los estudios mostraron también que el contenido de compuestos flavonoides es más alto en las plantas susceptibles y resistentes que en las inmunes. Estudios anteriores habían puesto en evidencia que las especies inmunes a esta enfermedad y el híbrido de *C. arabica* y *C. deweyi* contienen más ácido clorogénico que las especies susceptibles. Inhibición de la germinación de esporas del hongo patógeno se logró con concentraciones de 625 ppm de ácido clorogénico. Concentraciones bajas de 39 ppm estimularon [16a]. En cuanto a la resistencia frente a *Hemileia vastatrix*, condicionada al gen  $SH_2$ , se ha encontrado en Brasil que no está asociada a los compuestos fenólicos que se encuentran en las hojas antes de la infección [3]. Sin embargo aún no se ha excluido la posibilidad que estos compuestos tengan alguna relación con la referida resistencia.

Los extractos etéreos de los tejidos de la lámina foliar y de cera cuticular de plantas inmunes al ataque de Mancha Mantecosa (ataque de *Colletotrichum* spp.) se ha

encontrado en Costa Rica que exhiben propiedades fungistáticas. Las sustancias fenólicas extraídas con acetona no han mostrado tal característica [61]. Investigaciones efectuadas en Colombia han dado luz respecto al origen de la defoliación que se observa cuando el cafeto experimenta el ataque del hongo *Cercospora coffeicola* Berk. et Cooke [57]. Se comprobó una producción de etileno superior a la normal en plantas afectadas y las hojas de menor edad más sensibles que las adultas a la acción del etileno. Al contrarrestar la producción de la hormona con aplicaciones de 2,4-D (ácido 2,4-diclorofenoxiacético) y ANA (ácido  $\alpha$  naftalenacético), se encontró que estas hormonas evitan la abscisión, sobresaliendo la aplicación de 2,4-D a 3 ppm. La enfermedad ha sido estudiada frente a tratamientos con fertilizantes [18]. La aplicación de nitrógeno disminuye significativamente la incidencia y el porcentaje de defoliación.

## **4.4 Preparación y aplicación de compuestos para el control fitosanitario**

En la preparación de soluciones, mezclas o emulsiones de compuestos para uso fitosanitario, deben tenerse en cuenta la compatibilidad entre los compuestos, orden de adición de los ingredientes y equipo de aplicación indicado, para obtener un mejor control y reducir los costos de aplicación.

### **4.4.1 Preparación de caldos fungicidas**

En la preparación de formulaciones fungicidas, primero se añaden los compuestos coadyuvantes al solvente (adherentes, humectantes, emulsificantes, dispersantes). Seguidamente se hace una premezcla del fungicida con una pequeña cantidad de agua, antes de agregarlo al volumen total. Cuando se usa almidón como agente adherente y compuestos dispersantes como lignosulfonatos es conveniente mezclarlos en seco con el fungicida, antes de agregar a éste el agua. Cuando se mezclan varios compuestos, se recomienda consultar si son compatibles o no, para evitar la inactivación de alguno de los ingredientes o la formación de precipitados indeseables. Las mezclas muy abundantes en elementos o «cocktails» no siempre dan el resultado esperado y por lo general este es negativo para la cosecha y en el «control» de la enfermedad que se pretende [54].

### **4.4.2 Equipo para aplicación de formulaciones fitosanitarias**

El método de aplicación de los compuestos requeridos varía con cada situación, de acuerdo con los siguientes parámetros: a) área de la plantación; b) cultivo al sol o bajo sombra; c) características de la plaga o enfermedad; d) distanciamientos de la plantación y e) topografía del terreno.

Si el área de la plantación es grande y bajo cultivo de solana, la aplicación de pulverizaciones por avión, es con frecuencia la indicada.

Bajo sistemas de siembra con buen espaciamento entre hileras con el propósito de permitir el cultivo mecanizado, el uso de turbo-atomizadores es muy común. En haciendas de relieve accidentado, o uniforme pero de tamaño mediano, el uso de bombas motorizadas de espalda o de equipos estacionarios provistos de mangueras, constituyen la mejor alternativa, ya sea en cultivo al sol o bajo sombra. En minifundios, el equipo que normalmente se usa es la bomba de mochila o costal manual. En almacigales de café pueden usarse equipos de espolvoreo manuales, mientras que en las atomizaciones se usan bombas de espalda.

La aplicación de productos fitosanitarios debe ser hecha en días sin lluvia. El uso de equipos de bajo volumen requiere duplicar la concentración de los ingredientes para aplicación en alto volumen de agua excepto la del compuesto adherente-humectante.

## 4.5 Uso de coadyuvantes

La adición de algunos ingredientes, con el propósito de ayudar en su acción al compuesto tóxico usado, se considera muy importante cuando prevalecen condiciones de alta humedad. Estos ingredientes incluyen compuestos adherentes, esparcidores, emulsificantes, agentes mojantes y dispersantes. Las pruebas de campo efectuadas con diferentes mezclas con un fungicida a base de cobre (53% de cobre metálico), pusieron en evidencia que el mayor efecto residual correspondía al tratamiento que contenía PEPS (polisulfuro de polietileno) a razón de 0.8 g/l + Marasperse N (ligno-sulfonato de sodio) al 2% de los sólidos + almidón de yuca (mandioca) a una dosis de 0.6 g/l [50]. La bondad de los mencionados coadyuvantes estuvo supeditada a la presencia del almidón de yuca en el caldo fungicida, según los resultados que se obtuvieron con otros tratamientos semejantes. El uso de almidón de yuca como adherente, tiene un importante significado práctico, habida cuenta del bajo costo. En las citas que a continuación se insertan el lector puede ampliar la información concerniente a la labor investigativa más reciente en el ámbito de la patología del caféto [2, 11, 12, 19, 23-26, 31-38, 44, 54-56, 58].

## 4.6 Referencias

1. *Abrahão, J.*: Pragas e moléstias do cafeeiro. In: Cultura e Adubação do cafeeiro. Instituto Brasileiro da Potassa. São Paulo, Brasil, 1965
2. *Aduayi, E. A.*: A note on the nutritional effects of cuprous oxide sprays on *Coffea arabica*. Kenya Coffee 36, 13-15 (1971)
3. *Amorín, H. V. et al.*: Análise de compostos fenólicos em folhas de cafeeiros resistentes e susceptíveis a *Hemileia vastatrix*. Turrialba 28, 57-60 (1978)
4. *Bergamin, J. y Heinrich, W. O.*: Pragas e moléstias do cafeeiro. En: Cultura e Adubação do Cafeeiro. Instituto Brasileiro da Potassa. São Paulo, Brasil, 1965

5. *Bianchini, C.*: Las llagas del café en Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias (Costa Rica). Boletín Técnico N° 21, 30 p. (1958)
6. *Bianchini, C. y Wellman, F. L.*: Experimentos en el control de *Pellicularia* de café y ciertas diferencias en pellicularias de varios huéspedes. Turrialba 8 (2), 73-92 (1958)
7. *Bianchini, C.*: Informe resumido sobre la «Mancha Mantecosa», Chasparria y Ojo de Gallo del café en Costa Rica. Café 2 (5), 29-34 (1960)
8. *Bitancourt, A. A.*: As manchas da folha do cafeeiro. O Biológico 24, 191-201 (1958)
9. *Café: Do plantio a colheita*. Química Industrial Brasileira S.A., 85 p., 1980
10. *Castillo, J. y Quinceno, G.*: Comparación de líneas de *Coffea arabica* L. por su resistencia a *Ceratocystis fimbriata* (Ell. Halst.) Hunt Cenicafé 22, 43-68 (1971)
11. *Cook, R. T. A.*: The effect of weather conditions on infection by coffee berry disease. Kenya Coffee 40, 190-197 (1975)
12. *Cook, R. T. A. y Pereira, J. L.*: Strains of *Colletotrichum coffeanum* the causal agent of coffee berry disease tolerant to benzimidazole compounds in Kenya. Kenya Coffee 42, 63-76 (1977)
13. *Echandi, E.*: Trunk and stem canker of coffee trees. Rev. Biol. Trop. 3 (2), 237-241 (1955)
14. *Echandi, E.*: La quema de los cafetos causada por *Phoma costarricensis* s. sp. Rev. Biol. Trop 5 (1), 81-102 (1957)
15. *Echandi, E.*: La chasparria de los cafetos causada por el hongo *Cercospora coffeicola* Berk. y Cooke. Turrialba 9 (2), 54-67 (1958)
16. *Echandi, E. y Segall, R.*: The effectiveness of certain erradicant fungicides on the inhibition of gemmae of *Mycena citricolor*. Phytopathology 48 (1), 11-14 (1958)
- 16a. *Echandi, E. y Fernández, C. E.*: Relation between chlorogenic acid content and resistance to coffee canker incited by *Ceratocystis fimbriata*. Phytopathology 52 (6), 544-546 (1962)
17. *Fernández, J. M.*: El derrite del café. Su control y algunos aspectos de su biología. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica), 13 p., 1968
18. *Fernández, O. y López, S.*: Fertilización de plantas de café y su relación con la incidencia de la Mancha de Hierro (*Cercospora coffeicola* Berk. y Cooke). Cenicafé 22, 95-108 (1971)
19. *Filani, G. A.*: Chemical treatment of coffee seeds in relation to germination, emergence and control of seedborne fungi. Turrialba 22, 40-46 (1972)
20. *González, L. C.*: La mancha mantecosa del café. En: 1ª Reunión Internacional Sobre Plagas y Enfermedades de los Cafetos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas-OEA (Costa Rica). Publicación Miscelánea N° 23 pp. 68-75, 1965
21. *Hindorf, H.*: *Colletotrichum* occurring in *Coffea arabica*: A review. Journal of Coffee Research 5 (3/3), 43-56 (1975)
22. *Ingunza de, M. A.*: Virus que atacan al café. Vida Agrícola (Perú) 42 (508-509), 605-607, 609, 611, 613, 615, 616 (1966)
23. *Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café*: Resúmenes de Investigaciones en Café 1979-1980
24. *Maithia, A. S. K.*: A simple method for weighting fungicide for use with knap-sack sprayers to control coffee diseases. Kenya Coffee 42, 357-360 (1977); 43, 163-164 (1978); 43, 70-71 (1978)
25. *Maithia, A. S. K.*: Comparison of overhead and conventional side boom method of spray application for the control of CBD with non benzimidazole and benzimidazole fungicides. Kenya Coffee 44 (522-533), 25-29 (1979)
26. *Maithia, A. S. K.*: Effect of oil suspended fungicides on the coffee berry disease and yields. Kenya Coffee 44, 19-23 (1979)
27. *Manual de recomendaciones para cultivar café*: Oficina del Café, Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica). 3ª Ed., 68 p., 1978
28. *Manual fitosanitario del café*: Leverkusen (Alemania). Departamento Fitosanitario 45 p. s.f.
29. *Monaco, L. C.*: Consecuencias de la introducción de la Roya del café en Brasil. Instituto Interamericano de Ciencia Agrícolas-OEA. Zona Norte, Promecafé. Serie de Publicaciones Misceláneas N° 208, 27 p (1977)

30. *Montoya, R. y Chaves, G. M.*: Influencia de la temperatura y de la luz en la germinación, infectividad y período de generación de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas-OEA. Zona Norte, Promecafé. Serie de Publicaciones Misceláneas N° 278, 33 p. (1981)
31. *Muthappa, B. N.*: Studies on *Colletotrichum coffeanum* in India. II. Cultural studies and the factors affecting spore germination. *Journal of Coffee Research* 1, 3-8 (1971)
32. *Muthappa, B. N.*: Effect of neutral and alkaline Bordeaux mixtures on coffee leaf rust. *Journal of Coffee Research* 7, 5-8 (1977)
33. *Muthappa, B. N., Rajendran, C. y Bakre, S. G.*: Persistence of copper in spray deposits on leaves during natural weathering. *Journal of Coffee Research* 7, 97-104 (1977)
34. *Muthappa, B. N. y Rajendran, C.*: Effect of foliar nutrients on coffee leaf rust. *Journal of Coffee Research* 8 (4), 86-89 (1978)
35. *Okioga, D. M.*: Procedures established at Coffee Research Station in recommending fungicides for control of coffee diseases. *Kenya Coffee* 40, 166-173 (1975)
36. *Okioga, D. M.*: Coffee leaf rust control with copper Sandoz MZ. *Kenya Coffee* 41, 40-44 (1976)
37. *Okioga, D. M.*: Effectiveness of recommended fungicides in controlling coffee berry disease. *Kenya Coffee* 43, 19-24 (1978)
38. *Pereira, J. L.*: The influence of fungicide spray volumes on the control of coffee diseases. *Turrialba* 22, 409-414 (1972)
39. *Pérez-Escobar, M. E.*: Los insectos del café en Puerto Rico y su combate. *Revista de Agricultura de Puerto Rico* 44 (2), 136-139 (1965)
40. *Pflanzenschutz Nachrichten*. Bayer: Veröffentlichungen der Bayer AG. Leverkusen. 33 (51) (1980)
41. Resumos 8º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. Campos do Jordão (Brasil) (1980)
42. *Reyes, T. T.*: Ring Spot of Coffee. *FAO Plant Protection Bull.* 80 (1), 11-12 (1959)
43. *Reyes, T. T.*: Seed transmission of coffee ring spot by Excelsa coffee (*Coffea excelsa*). *Plant Disease Reporter* 45 (3), 185 (1961)
44. *Ribeiro, I. J. A., et al.*: Constatação da raça II de *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. em Jino-tepe, Nicarágua. *Turrialba* 27, 99-101 (1977)
45. *Rodríguez, R.*: La «Mancha Mantecosa», enfermedad por virus en el cafeto. *Suelo Tico (Costa Rica)* 10 (39), 94-97 (1958)
46. *Rodríguez R. A.*: Combate de la Enfermedad Rosada en el cafeto. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica). Boletín Técnico N° 49, 20 p. (1965)
47. *Rodríguez, R.*: Estudios sobre la enfermedad rosada del café. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica). Boletín Técnico N° 46, 35 p. (1964)
48. *Rodríguez, R. A. y Soto, C. A.*: Emulsiones de cobre en el combate de chasparria de los cafetos. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica). 12 p. Boletín Técnico. s.f.
49. *Silverschmidt, K. M. y Bitancourt, A. A.*: Las enfermedades de virus en el cafeto. *Café* 7(1) (Turrialba), 1-7 (1965)
50. *Soto, C. A.*: El uso de coadyuvantes para la aplicación de fungicidas en el café. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica). Boletín Técnico N° 56, 34 p. (1970)
51. *Soto, C. A. y Campos, C. F.*: Nuevos fungicidas en el control de *Cercospora coffeicola* en los almácigos de café. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica). Boletín Técnico N° 57, 22 p. (1971)
52. *Soto, C. A. y Campos, C. F.*: Control integral de la *Cercospora* en almácigos de café. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica). Boletín Técnico N° 63, 28 p. (1977)
53. *Soto, C. A. y Rodríguez, R. A.*: Combate simultáneo de dos enfermedades fungosas del café. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica). Boletín Técnico N° 61, 14 p. (1971)
54. *Soto, C. A. y Rodríguez, R. A.*: Influencia del tratamiento fungicida en la calidad del café. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica). Boletín Técnico N° 63, 20 p. (1974)
55. *Technical Circular N° 43*: Control of coffee berry disease and leaf rust in 1979. *Kenya Coffee* 44, 15-20 (1979)

**Cuadro 4.1** Efecto de los nemátodos *Meloidogyne* y *Pratylenchus* en el peso fresco de plantas de café Caturra de un año de edad. (Según Figueroa A. [1981])

Tipo de planta	Peso del tallo, en g*	Peso del follaje, en g	Peso de las raíces, en g	Nemátodos en 1 g de raíz
Con 3 pares de ramas	10.56	20.46	12.00	M – 6085 P – 5
Con 4 y 5 pares de ramas	15.36	48.12	12.20	M – 885 P – 130
Con 6, 7 y 8 pares de ramas	22.46	65.62	16.88	M – 1745 P – 50
Con 9 pares de ramas	29.14	116.58	16.86	M – 5 P – 50
Con 12 pares de ramas (testigo)**	41.68	217.10	32.44	M – 60 P – 25

\* Promedio de 10 plantas

\*\* Plantas menos afectadas en el campo

M *Meloidogyne*

P *Pratylenchus*

#### 4.7.2 Control

La biología del nemátodo, sus relaciones ecológicas, los modos de diseminación, los rendimientos por área del cultivo y las prácticas culturales, son factores importantes que deben ser considerados en las medidas de control [9]. Algunos de los métodos conocidos no se aplican al café por ser una planta perenne [11]. Las prácticas de control, a realizar en cada etapa del cultivo, son las siguientes:

1) *Semillero*: Se deben evitar los suelos infestados. El material libre de nemátodos evitará la infestación futura de grandes áreas cafetaleras. Para semilleros sanos se recomienda:

a – Utilizar arena de río libre de suelo [1] o cualquier otro material que permita una germinación adecuada y que no actúe como fuente de propagación de hongos.

b – Si se usan suelos infestados es recomendable tratarlos con nematicidas fumigantes [10, 14]. Se pueden utilizar productos orgánicos y sistémicos, tanto fosfatados como carbamatos. Se distribuyen entre 0.5 y 0.75 g de ingrediente activo en 1 m<sup>2</sup> y se incorpora luego superficialmente en el suelo.

2) *Viveros o almacigales*: Lo mismo que los semilleros, los viveros deben ubicarse en áreas libres de nemátodos. En países con una época seca definida como El Salvador [1], recomiendan roturar el terreno para el vivero para el finalizar las lluvias. De esa manera se eliminan las malezas y se controlan los nemátodos. En Brasil [10] también se tratan los suelos de vivero con nematicidas fumigantes (DD y EDB), usando

cobertores plásticos por 3 a 4 días antes de aerear el suelo y sembrar a los 10 días. En Guatemala [14] se estila el vivero en bolsas de polietileno y suelo tratado con un fumigante como el dicloropropeno – dicloropropano (DD) en dosis de 100–124 galones por hectárea. Después de 3–4 días se ventila el suelo e introduce en las bolsas y se procede a la siembra.

Los nematicidas granulados orgánico fosfatados y carbamatos sistémicos se pueden distribuir en la superficie de las eras y se incorporan en dosis de 0.75 de i.a./m<sup>2</sup>. Cuatro y ocho meses después se repite la aplicación sobre la superficie en dosis de 1 g de i.a./m<sup>2</sup>. Cuando el almácigo se hace en bolsas de polietileno las dosis varían de 0.05 a 0.1 g de i.a./bolsa. Se hacen tres aplicaciones por año.

Otra alternativa consiste [7] en hacer la primera aplicación del nematicida granular incorporado al suelo y después de 3 a 4 meses se hacen aspersiones foliares a intervalos mensuales con el nematicida Vydate 2L en dosis de 1000 a 1200 ppm. Antes de utilizar las plantas del vivero es conveniente verificar el estado del sistema radicular y enviar muestras de raíces para análisis a un laboratorio. Es recomendable [10, 12, 14] que en la misma plantación se establezcan los semilleros y viveros con el propósito de evitar la diseminación de los nemátodos a otras plantaciones.

3) *Plantaciones definitivas*: Para establecer un cafetal se deben seleccionar plantas de vivero no contaminadas. Con frecuencia se renuevan los cafetales en lugares donde existían cafetos infestados. En estos casos se recomienda dejar los terrenos en barbecho y libres de plantas hospederas de los nemátodos por 2 a 3 años [10].

a – *Nematicidas*: Algunos autores [10, 14, 16] consideran que el uso de nematicidas en esta etapa del cultivo es muy costoso. En Costa Rica [5], el uso experimental de nematicidas granulares como el carbofurán en plantaciones nuevas (3 años) y afectadas por el nemátodo *Pratylenchus coffeae*, incrementó la cosecha en un 25% y la relación inversión/ganancia fue de 1:3. En este país, donde existe una época seca bien definida y el nemátodo *Pratylenchus* induce serios daños en el café Arábica nuevo, se usan nematicidas granulares como el Furdán, Temik, Namacur y Mocap en dosis de 1 g de ingrediente activo por punto de siembra, distribuyéndolos sobre el suelo alrededor de las plantas. Se hace una aplicación por año al inicio de las lluvias y se logra disminuir las poblaciones del nemátodo.

b – *Uso de variedades resistentes*: La búsqueda de resistencia involucra actualmente uno de los mayores esfuerzos en los países cafetaleros [15]. La especie *Coffea canephora* (Robusta) es considerada como resistente a los nemátodos *M. exigua* y *P. Coffeae*, que inducen daños severos en el café Arábica [14].

El uso del injerto en Costa Rica utilizando cultivares comerciales susceptibles de café como púa y de patrón el café Robusta, como se observa en el Cuadro 4.2, muestra que *Meloidogyne exigua* y *Pratylenchus coffeae* también parasitan al patrón y que, con el injerto, las poblaciones de *Meloidogyne* se reducen significativamente en las variedades susceptibles [6]. En Brasil [9] determinaron que *C. liberica* y *C. dewevrei* son especies resistentes a *M. exigua*.

c – *Control biológico*: Se informa de organismos parásitos y predadores de los nemátodos como el *Bacillus penetrans* en *Meloidogyne exigua* [2]. El uso de estos organismos como medio de combate, sin embargo, no ha sido muy exitoso hasta la fecha. Pero las probabilidades existen, y en 1980 [8] informaron de un hongo que parasita

Cuadro 4.2 Poblaciones de *Meloidogyne exigua* y *Pratylenchus coffeae* hallados en raíces de cinco cultivares de café (*C. arabica*) injertados o no sobre patrones de robusta (*C. canephora*) [6]

Cultivares de café	Número de nemátodos en 100 g de raíces <i>Meloidogyne</i>		<i>Pratylenchus</i>	
	Injertado	No injertado	Injertado	No injertado
Híbrido Tico .....	16 078	59 359	2 406	3 156
Caturra .....	13 750	51 656	2 187	3 109
Villa Sarchi .....	10 896	39 500	3 027	2 131
Mundo Novo .....	13 406	29 074	2 906	3 051
Typica .....	3 812	27 980	8 547	10 922
Totales	57 942	207 569	19 073	22 369
Promedios	11 588*	41 514*	3 815	4 474

\* Diferencia altamente significativa ( $P < 0.01$ ), en *Meloidogyne*, no en *Pratylenchus*.

los huevos y las hembras adultas de *Meloidogyne incognita* destruyéndolos con muy buenos resultados a nivel de campo.

d - El uso de fertilizantes minerales a base de NP [14] y de materia orgánica [9] favorecen el crecimiento y producción de cafetos afectados por nemátodos.

## 4.8 Referencias

1. Abrego, L., Castillo, J. A. y Trigueros, L. F.: Nemátodos del café en El Salvador. Boletín inform. Suplem. N° 19, Inst. Salv. de Inv. del Café, 1963
2. Baeza, C. A.: Parasitismo de *Bacillus penetrans* en *Meloidogyne exigua* establecido en *Coffea arabica*. Cenicafé 29 (3), 94-97 (1978)
3. Fazuoli, L. C. y Lordello, R. A.: Resistência de *Coffea liberica* e *C. dewevrei* a *Meloidogyne exigua*. En: Trabalhos apresentados a II Reunião de Nematologia. Soc. Brasil de Nematologia. Piracicaba, Brasil. pp. 197-199 (1977)
4. Figueroa, A.: Nemátodos en café. Min. de Agric. y Gan., Costa Rica. Boletín Técnico 62, 99-100 (1974)
5. Figueroa, A.: Efectos de Carbofuran 5G en la productividad del café Caturra. Nematrópica 9 (2), 26-33 (1978)
6. Figueroa, A.: Evaluación de la resistencia varietal del café contra los nemátodos endoparasitarios *Meloidogyne* y *Pratylenchus*. International Meloidogyne Project. Segunda Confer. Regional de Planeamiento del Proyecto Internacional Meloidogyne. Región I. pp. 23-24 (1978)
7. Figueroa, A.: Efectos del Carbofuran y Oxamil en el Café Caturra. Nematrópica 10 (2), 66-67 (1980)
8. Jatala, P. et al.: Un hongo como control biológico del Nemátodo del Nudo de la Raíz. Circular Centro Internacional de la Papa (Perú) 8 (10) (1980)
9. Laughlin, W. Ch. y Lordello, L. G. E.: Sistemas de manejo de nematoides: relações entre a densidade de população e dos danos a planta. En: Trabalhos apresentados a II Reunião de Nematologia. Soc. Brasileira de Nematologia. Piracicaba, Brasil pp. 15-20 (1977)
10. Lordello, L. G. E.: Nematode pests of coffee. En: Economic Nematology. Webster, J. M. (ed). Academic Press, New York. pp. 268-284 (1972)

11. *Oostenbaink, M.*: Population in relation to damage. First Latin American Post Graduate Nematology Course. Maracay, Venezuela. p. 46, 1973
12. *Román, J.*: Nemátodos del café, el té y el cacao. Fitonematología Tropical. Univ. de Puerto Rico, Recinto Univ. de Mayagüez. Estación Exper. Agri. Río Piedras, P. R. pp. 113-121, 1978
13. *Salas, L. A. y Ehandi, E.*: Nemátodos parásitos en plantaciones de café de Costa Rica. *Café 3* (8), 21-24 (1961)
14. *Schieber, E.*: Nematode problems of coffee. En: Tropical Nematology. *Smart, G. C. and Perry, V. G.*, Univ. of Florida Press, Gainesville, Fla. pp. 81-92, 1968
15. *Sylvain, P.G.*: The problem of nematodes in coffee production. *Turrialba 1* (1), 2-13 (1960)
16. *Whitehead, A. G.*: Nematodes attacking coffee, tea and cocoa and their control. En: Nematodes of tropical crops. *Peachey, J. E.* (ed.), Tech. Com. N° 40, Comm. Bureau of Helminth. St. Albans, Herts, England, pp. 238-250 (1969)

## 4.9 Plagas de insectos

*Evaristo Morales M.\**

Una de las características fundamentales del cultivo del café es su permanencia, que puede ser de varias décadas. Hay cafetales de más de 100 años de edad que los hacen blanco de muchas plagas que causan daños en todas y/o cada una de las partes de la planta.

Entre las 1200 a 1300 especies de insectos y ácaros que han sido hallados en el mundo en plantaciones de café, sólo unas pocas son de importancia económica. Se puede decir que son alrededor de 100 a 150, que dañan al café tanto en el campo (semillero, almacigo o cultivo permanente), como en el almacén o en la bodega. La importancia de los daños varía de acuerdo con las especies, según el país (clima) y en dependencia con la edad de la planta. Así, en el semillero son a veces importantes los «gusanos cortadores» *Agrotis* spp., *Spodoptera* spp., los «jobotos» *Phyllophaga* spp., «gusanos alambre» *Agriotes* spp. y a veces los «grillos» *Acheta assimilis* [18, 19]. En los almacigos hay varias especies que dañan el follaje, troncos y raíces, como son las «babosas» *Vaginulus (Latipes) occidentalis* y *Limax* spp., «áfidos» *Toxoptera aurantii*, *Aphis gossypii* y «escamas» *Saissetia hemisphaerica*, *Coccus* spp. [17].

El mayor número de plagas ocurre lógicamente en los cultivos permanentes. Las partes subterráneas de la planta pueden ser atacadas, en ocasiones y regiones, por «babosas» e insectos como *Dysmicoccus brevipes* Ckll., *Neorhizococcus coffeae*, *Cero-puto* spp., *Geococcus* spp. o bien por los nemátodos citados en párrafos antecedentes. Pocas son las especies que atacan el tronco o las ramas y, ésto, sólo muy ocasionalmente y siempre en forma localizada.

\* Ing. Agr., M. Sc., Subdirector de Investigaciones Agrícolas del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica

En general, las plagas más importantes dañan el follaje, como las «escamas» *Coccus* spp., *Saissetia* spp., los «áfidos» *Toxoptera* spp., las «cochinillas» *Planococcus citri*, los gorgojos del café *Cleistolophus* spp., *Steirharinus* spp., los «chapulines» *Idiarthrum atrispinum*, *I. subquadratum* y las hormigas del género *Atta*. La «araña roja» *Olygonychus yotheri* y el «minador de la hoja» *Leucoptera coffeella*, también son importantes en algunos países.

El fruto ocasionalmente puede ser atacado por «cochinillas» y «chapulines».

En el almacenamiento sólo ocasionalmente y en condiciones de mal manejo, puede aparecer *Araecerus fasciculatus* de Geer, la «falsa broca del cafeto» o «gorgojo de la cereza». La «broca do fruto» o «gorgojo del grano» *Hypothenemus (Stephanoderes) hampei* Ferr., siendo cosmopolita, es una plaga particularmente importante en algunos países de América Central, Brasil, México, etc.

Los métodos de control de plagas son muy semejantes entre países [5, 6, 11, 12, 13, 18, 19, 22].

En Costa Rica las plagas del café son poco importantes económicamente, salvo determinadas ocasiones, gracias al aprovechamiento de los enemigos naturales, nativos o introducidos, que afortunadamente logran un control satisfactorio de algunas especies dañinas. El uso limitado y bien orientado de plaguicidas, que sólo son aplicados cuando es absolutamente necesario, también permite que el grano para el consumo humano esté libre de residuos químicos peligrosos, según lo exigen el mercado cafetalero mundial y nacional. La caficultura altamente tecnificada en Costa Rica permite el crecimiento de cafetos fuertes y de alta producción (~1200 kg/ha) en los que, bajo constante supervisión, es posible detectar oportunamente la presencia de agentes nocivos.

En Centroamérica quizá la especie de mayor peligro, por su daño al grano, es la «Broca del Cafeto» *Hypothenemus hampei* Ferr. que se encuentra en la actualidad en Guatemala, Honduras y recientemente en México, pero que amenaza al resto de los países de esta región que están libres de la plaga.

En El Salvador es importante el llamado «chacuatete» *I. atrispinum*, *I. subquadratum* que dañan el follaje y fruto, y el «taladrador del tallo» *Plagiohammus maculosus*, presente también en Panamá. En Guatemala, además de la Broca del Cafeto, el minador de la hoja del café *Leucoptera coffeella* causa daños de consideración [11].

En Suramérica, principalmente en Brasil y Perú, se destacan como importantes la «broca del cafeto» y el «minador de la hoja».

La «Mosca del Mediterráneo de la fruta» *Ceratitis capitata* Wied. no es de cuidado en los países de América en los que existe.

En Puerto Rico uno de los insectos de mayor importancia es el «minador de la hoja», pero debido a los métodos de combate los daños son disminuidos. Otros, como la «vaquita» *Lachnopus coffeae* Marshall, el «escarabajo taladrador del tallo» *Psychometra personallis* y el áfido *T. aurantii*, las escamas del género *Saissetia*, la cochinilla harinosa *P. citri*, son de importancia sólo bajo determinadas condiciones agroecológicas.

En Africa, quizá es donde existe el mayor número de plagas de cierta importancia, debido a que este continente es el lugar de origen del café y de donde han salido plagas del cultivo para otras partes del mundo. Algunos de los insectos africanos

importantes son los siguientes [16]: *Lamprocapsidea (Lygus, coffeae* (China), *Antestiopsis* spp., *Anthores leuconotus* Pascoe, *Hypothenemus hampei* Ferr., *Leucoplema (Epiplima) dohertyi* Warren, *Planococcus kenyae* Le Pelley y otras ocho especies de importancia severa, sobre todo en Kenya.

Para lectores especialmente interesados en detalles entomológicos del café se recomienda consultar en las referencias las citas 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 15, 16, 17, 20, 21, 23, 24 y 25.

## 4.10 Combate de plagas del café

Entre las plagas que atacan el café en varias partes del mundo, merecen ser destacadas las siguientes: (La cantidad de agua usada por hectárea está calculada en 190 litros)

Nombre común y científico	Características de la especie y daño producido	Método de combate
Afidos <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer)	Este áfido es de color negro, de cuerpo suave. Ataca tanto en el almácigo como en cultivo permanente. Succiona la savia de las hojas y tallos tiernos, produciendo enroscado y malformación de las hojas. Produce rocío azucarado que sirve de medio de cultivo a la «fumagina».	El combate debe hacerse en forma localizada, pues no invade todo el cultivo. Aplicar: <i>Matión 55% CE</i> : 750-1000 cc/ha o <i>Rogor L-40 CE</i> : 500-600 cc/ha Enemigos naturales generalmente mantienen la plaga bajo control: <i>Coleomegilla maculata</i> , <i>Cycloneda</i> spp., <i>Cryptolaemus montrouzieri</i> y otros
Broca del fruto <i>Hypothenemus (Stephanoderes) hampei</i> (Ferr.)	Es un insecto muy pequeño. Las hembras son un poco más grandes que la cabeza de un alfiler y los machos de menor tamaño. De cuerpo robusto, color negro café, antenas y patas de tono más claro. La hembra penetra en la cereza y deja de 15-20 huevos. Tanto la larva como el adulto dañan el grano. Ocasiona daños hasta del 50% de la cosecha.	El combate es integrado: 1. Se debe mantener el cafetal en buenas condiciones, bien nutrido, libre de malas hierbas, con sombra bien regulada. 2. El grano se debe cosechar tan pronto esté maduro. Evítense dejar frutos secos en el suelo o en la planta. 3. Como insecticida puede usarse <i>Endosulfán 35%</i> (Thiodar.) en dosis de 1.5 a 2 l/ha. 4. Evítense el uso de sacos, canastos, etc. que puedan llevar la «broca» a partes no infestadas

Nombre común y científico	Características de la especie y daño producido	Método de combate
Arañita roja o ácaro del caféto <i>Olygonychus yotheresi</i> Mc G.	Este ácaro es de color rojo distinguiéndose en su cuerpo manchas oscuras. Vive bajo la hoja, donde teje una tela. Se alimenta de savia, por lo que la hoja se torna de color rojizo café, se arruga y puede caer. Su daño es más severo en el periodo seco.	Aplicar acaricidas: <i>Kelthane</i> 18.5% CE: 750-1000 cc/ha, <i>Fenkaptón</i> 50% CE: 500-600 cc/ha, <i>Tedión</i> 13% CE: 1000 cc/ha, <i>Dicofol</i> : 0.28 litros i.a.*/ha. *i.a. = ingrediente activo
Cochinilla harinosa del caféto <i>Planococcus citri</i> Risso	Está recubierta por excreciones blancas, serosas. Su tamaño es de 3-5 mm de largo. A cada lado del cuerpo hay proyecciones serosas blancas. Ataca los racimos tiernos de granos, ramas tiernas. Vive en grandes poblaciones sobre el tronco. Excreta un líquido azucarado que sirve de medio de cultivo de la «fumagina». Debido al ataque, los granos tiernos se ponen oscuros y caen.	Se combate con: <i>Malatión</i> 55% CE: 1-1.5 l/ha más un buen adherente. <i>Diazinón</i> 60% CE: 600-1000 cc/ha más aceite al 1%. Contrólese por medio de sus enemigos naturales, como <i>Cycloneda</i> spp., <i>Chilocorus</i> spp., <i>Exochomus</i> spp. En Costa Rica se cria <i>Cryptolaemus montrouzieri</i> que se libera en el cafetal atacado.
Escamas <i>Saissetia hemisphaerica</i> Targ., <i>Coccus viridis</i> Gr.	Las escamas generalmente son poco importantes en cafétos adultos, pero pueden serlo en jóvenes. Atacan el follaje tierno y retoños del tallo. Produce clorosis y debilitamiento general.	Combate químico, de plantitas recién germinadas, con: <i>Malatión</i> 55% CE: 1-1.5 l/ha o <i>Paratión metílico</i> 50% CE: 300-500 cc/ha Mézclese estos insecticidas con algún aceite emulsionado, en concentración no mayor del 2%.

Nombre común y científico	Características de la especie y daño producido	Método de combate
Minador de la hoja <i>Leucoptera coffeella</i> Guer.	<p>La mariposa adulta tiene alas anteriores alargadas, de color gris claro y las posteriores son estrechas, con flecos. Tiene una envergadura de 5-6 mm y 2 mm de largo.</p> <p>La larva es de cuerpo blanco amarillento, transparente, de unos 3 mm.</p> <p>Las larvas minan las hojas, y las minas se ven como manchas pardas en ambos lados de la hoja. Al frotarlas entre los dedos se desprenden el haz del envés (a diferencia del ataque de <i>Colletotrichum</i>).</p> <p>La hoja fuertemente atacada se vuelve amarillenta y se desprende.</p>	<p>Para el combate se sugiere:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Vigilar el cafetal constantemente, sobre todo en época seca y aplicar insecticidas sólo si es indispensable.</li> <li>2. Los insecticidas utilizables son: <i>Di-syston 10% granulado</i>, 15-20 g por planta. Se aplica al comienzo del verano, cuando hay suficiente humedad en el suelo.</li> <li>3. Aplicaciones al follaje con insecticidas sistémicos como <i>Fenitión</i>, <i>Disulfotón</i> (500 ml i.a. por ha.) o <i>Disulfotón granulado</i> a 2.5 kg i.a./ha.</li> </ol> <p>La larva es atacada por varios enemigos naturales y hongos, que ayudan a mantenerla bajo control.</p>
Minador de la hoja <i>Leucoptera meyricki</i> Ghesq., <i>L. cafeina</i> Washb.	<p>Estas especies africanas son muy parecidas a <i>L. coffeella</i>. Tienen 3 y 4 mm de largo, respectivamente. El daño es similar al que causa la especie americana. Las larvas son blancas, pequeñas, de unos 8 mm de largo.</p>	<p>El combate es muy similar al de <i>L. coffeella</i> y se usan insecticidas tales como: <i>Fenitrotión 50% CE</i>: 2 l/ha o <i>Dicrotofós 40% CE</i>: 0.7 kg/ha o <i>Disulfotón granulado</i></p>
«Chapulines» <i>Idiarthrum atrispinum</i> Stal. <i>I. subquadratum</i> S & P.	<p>Estos insectos pocas veces causan daños de importancia. Son bastante grandes, de 5-6 cm de largo, con antenas 2.5 veces tan largas como el cuerpo. Su color es gris café, que varía con su edad y habitat.</p> <p>Viven escondidos durante el día y salen en la tarde para destruir el follaje. Si la población es alta, daña frutos y tallos tiernos.</p>	<p>Su control:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mantener el cultivo libre de malezas.</li> <li>2. Si hay sombra de musáceas, éstas deben estar libre de hojas secas.</li> <li>3. Evítese acumulación de hojas y ramas en el suelo, donde se esconde.</li> <li>4. Debe regularse la sombra adecuadamente.</li> <li>5. Si fuera necesario, aplicar insecticidas fosforados, como <i>Malatión</i> o <i>Paratión metílico</i>.</li> </ol>

Nombre común y científico	Características de la especie y daño producido	Método de combate
<p>Gusanos cortadores  <i>Agrotis ipsilon</i>  <i>A. subterranea</i>  <i>A. malefida</i>  <i>Spodoptera frugiperda</i>  <i>S. eridania</i></p>	<p>Son larvas de varias especies de lepidópteros, que durante el día se esconden bajo hojas secas o bajo tierra. Salen a comer durante las primeras horas de la noche.  El daño principal lo realizan en el semillero y primeros meses del almácigo, cuando cortan las pequeñas plantas a ras del suelo.  La especie <i>S. eridania</i> destruye también el follaje pues sube a las plantas.</p>	<p>El combate se basa en:  1. Buena preparación del terreno del almácigo.  2. Mantener el campo libre de malezas.  3. Aplicar insecticidas:  a. – Granulados al suelo  b. – Cebos envenenados a base de insecticidas clorados, que deben ponerse en el campo al oscurecer, protegidos de la lluvia.</p>
<p>«Jobotos»  <i>Phyllophaga</i> spp.</p>	<p>Estas larvas, de varias especies de <i>Phyllophaga</i> son de color blanco, de cuerpo corvado en forma de C, robustas cabezas y patas de color café.  Viven bajo la superficie de la tierra, a diferentes profundidades, de acuerdo con la humedad del terreno y la cantidad de alimento disponible.  Destruyen el sistema radical de las plantas.</p>	<p>El combate es bastante difícil. Debe iniciarse con una buena arada en la estación seca, con destrucción de malezas.  Antes de hacer las eras en el semillero o el almácigo, el suelo puede tratarse con un insecticida incorporado al suelo, v. gr. <i>Clorahep</i> al 5% granulado, <i>Furadan</i> 2% granulado.</p>
<p>Antestia  <i>Antestiopsis</i> spp.</p>	<p>Su cuerpo es en forma de escudo, de color pardo oscuro, anaranjado y blanco. Su tamaño es de 6 mm.  Las yemas florales se oscurecen, las bellotas verdes se caen y se pudren.</p>	<p>El combate:  Control químico, cuando hay más de 2-3 adultos o ninfas por arbusto, con:  <i>Paratión</i> 40%: 650 ml/ha o  <i>Fentión</i> 50%: 1 l/ha o <i>Triclorfón</i> 80%: 1 l/ha</p>
<p>Chinche de encaje  <i>Habrochila</i> spp.</p>	<p>Esta especie africana es de unos 4 mm de largo, es gregaria y se agrupa en el envés de la hoja.  La hoja afectada se torna amarilla y se cubre con un líquido negro brillante.</p>	<p>Usense los siguientes insecticidas:  <i>Paratión</i> 50%: 250 ml/ha  o  <i>Diclotofós</i> 40%: 750 ml/ha  o  <i>Fenitrotión</i> 50%: 1000 ml/ha</p>

Nombre común y científico	Características de la especie y daño producido	Método de combate
Escama estrella <i>Asterolecanium coffeae</i> News,	La hembra adulta está cubierta con una coraza dura transparente. Esta especie africana cuando está llena de huevos, es de color amarillo. Los machos, alados, son muy raros. Las ramas verdes se doblan en el internudo y se notan agujeros en la corteza.	El combate contempla: 1. Poda del árbol infestado, quitándose la cosecha. 2. Abonar adecuadamente con nitrógeno. 3. Aplicar, con brocha, creosota al 5% en la corteza. No se aplique en hojas y cáscara tierna.
Cochinilla de Kenya <i>Planococcus kenya</i> (Le Pelley)	Masas de insectos se ven en los racimos de flores y en yemas florales. Sobre la superficie de las hojas se nota un rocío amarillo o con fumagina.	El combate se realiza tomando en cuenta: 1. Poda adecuada del arbusito. 2. Control químico mediante bandas de <i>Dieldrin</i> , sobre todo para evitar hormigas. También puede usarse <i>Diazinón</i> 60%: 150-200 ml/ha.
Esqueletizador de la hoja <i>Leucoplema (Epiplema)</i>	El adulto es de color gris ó pardo, con expansión alar de 1.3 cm. La larva se alimenta de la superficie inferior de la hoja y deja el follaje como esqueleto.	El control químico se recomienda si al mover el árbol, salen unos 30-35 adultos o 20-30 larvas. Puede hacerse usando: <i>Paratiòn</i> 40% CE: 500-600 cc/ha, <i>Piretro</i> 6%: 700-800 cc/ha o <i>Fenitrotiòn</i> 50% CE: 800-900 cc/ha
Babosas <i>Vaginulus (Latipes)</i>	Son moluscos de forma ovalada, alargados, con la parte superior de color gris o café oscuro. La parte ventral es clara. Tienen un tamaño de 5-6 cm de largo y con proyecciones en la cabeza, retráctiles. Tienen hábitos nocturnos y se activan cuando oscurece y cuando llueve. Ataca café en el almacigal o el cultivo permanente. Roe la corteza y deja descubierta la parte leñosa del tallo, por lo que la planta puede morir. Las lesiones producidas son puertas de entrada de enfermedades fungosas.	Se combate con cebos envenenados, esparcidos al atardecer y protegidos de las lluvias. Con base en 500 g de <i>metaldehido</i> mezclados con 150 g de <i>arseniato de plomo</i> + 13 kg de afrecho de arroz + 1-1.5 kg de melaza. Se añade agua para darle una consistencia que permita regarla, a razón de 14-18 kg/ha. Repetir el tratamiento hasta controlar la plaga.

## 4.11 Control integrado de las plagas

El uso indiscriminado y continuo de insecticidas puede llegar a ser dañino, no solamente al hombre, sino que, además, puede alterar el equilibrio que la naturaleza mantiene entre las plagas y sus enemigos naturales [26].

El «control integrado» de las plagas se refiere a cualquier sistema de manejo que coordine métodos de control químico, biológico, natural y cultural, conducente al mantenimiento de las poblaciones por debajo del «umbral económico» o «nivel de daño económico» [4]. Este aspecto de la caficultura ha sido objeto de artículos de revisión [1, 22].

## 4.12 Referencias

1. Abasa, R. O.: A review of the biological control of coffee insect pests in Kenya. *Kenya Coffee* 41, 327-333 (1976)
2. An Atlas of Coffee Pests & Diseases. Kenya Coffee Research Station (1977)
3. Awatramani, N. A. y Azizuddin, M.: *Balanophora* and its host trees. *J. Coffee Res.* 2 (3), 26 (1972)
4. Bardner, R.: Integrated control of coffee pests. *Kenya Coffee* 43, 7-11 (1978)
5. Benavides, M. y Cardenas, R.: Efecto de varios insecticidas en el combate del minador de la hoja del café, *Leucoptera coffeella* (Guerin-Meneville). (Lepidoptera & Lyonettidae) *Cenicafé* 26, 151-160 (1975)
6. Bergamin, J. O.: «repassé» como método de controle de Broca do Café *Hypothenemus hampei* (Ferr. 1867) (Col. Ipinae) *En: Arquivos do Instituto Biológico (Brasil)*. Vol. 15 (1944)
7. Chako, M. J., et al.: Field evaluation of some insecticides for the control of *Mericserica oberthuri*, a pest of coffee. *J. Coffee Res.* 10 (2), 28-30 (1980)
8. D'Souza, G. I.: Studies on a die-back of Arabica coffee in South India: role of pests and parasites. *Turrialba* 21, 146-148 (1971)
9. Hamilton, D. W.: Investigation of insects attacking coffee in Costa Rica. Entomology Research Division, ARS, USDA, 1964
10. Hamilton, D. W.: Identification of insects and mites collected in Guatemala & Costa Rica in 1964. Entomology Research. Division ARS, USDA through AID
11. Hernández-Paz, M.: El Minador y su control. Asociación Nacional del Café, Departamento de Asuntos Agrícolas (Guatemala). Bol. N° 3 (1963)
12. Ingram, W. R.: An evaluation of several insecticides against Berry Borer and Fruit Fly in Uganda Robusta coffee. *East African Agricultural & Forestry Journal (Uganda)* (1965)
13. Ingram, W. R.: Observations on the control of the coffee berry borer, *Hypothenemus hampei* (Ferr) with Endosulfan in Uganda. Reprint Bulletin of Entomological Research, Vol. 57, part 4 (Uganda) (1968)
14. Instituto Salvadoreño de Investigaciones en Café: Resúmenes de Investigaciones en Café. Año III. 1979-1980
15. Krishnamoorthy Bhat, P. y Shamanna, H. V.: *Mariella dusumieri*. A new pest of coffee in South India. *J. Coffee Res.* 2 (4), 28-29 (1972)
16. Le Pelley, R. H.: Las plagas del café. Editorial Labor S.A. Madrid, España, 1968
17. Manual Fitosanitario del Café: Bayer Leverkusen (Alemania). Departamento Sanitario s.f.
18. Morales, E.: Combate de Plagas del Café. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica). Bol. N° 41 (1941)

19. *Morales, E.*: Experiencias de control de algunas plagas de café. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica). Bol. N° 16 (1956)
20. Resumos 8º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras: Campos do Jordão/SP, Brasil, 1980
21. *Stejskal, M.*: Arañas sociales destructoras de las plantas de café, cítricos y mangos en Venezuela. Turrialba 26 (4), 343-350 (1976)
22. Technical Circular No. 32: The Antestia bug: damage, testing and control. Kenya Coffee 41, 409-410 (1976)
23. *Ventakarama Raju, K. y Chacko, M. J.*: Evaluation of some insecticides for control of green bug on coffee. J. Coffee Res. 5 (1/2), 36-37 (1975)
24. *Viswanathan, R. R. y Shamanna, H. V.*: Cock-shafers associated with coffee and further observations on *Holontrichia nilgisia*. J. Coffee Res. 2 (1), 20-22 (1972)
25. *Wanjala, F. M. E.*: Effect of infesting green coffee berries with different population levels of *Antestiopsis lineaticollis* Stal. (Heteroptera: Pentatomidae) in Kenya. Turrialba 30 (4), 109-111 (1980)
26. *Waikiwa, J. W. y Mathenge, W. M.*: The dangers which may arise from very frequent use of insecticides on coffee insect pests. Kenya Coffee 42, 107-114 (1977)



## 5. Respuesta del cafeto a los fertilizantes

La respuesta a la adición de elementos nutrientes a menudo ocurre a muy corto plazo como acontece cuando las plantas sufren de deficiencia de nitrógeno, magnesio, azufre, o de micronutrientes. Sin embargo, la respuesta a fósforo y potasio, en algunas ocasiones ha sido reportada como de ocurrencia a largo plazo, o sea hasta después del segundo o tercer año a partir de su aplicación. Algo semejante se observa cuando se suministra calcio.

### 5.1 Producción a base de fertilización intensiva

El incremento que ha experimentado el uso de fertilizantes en los países en desarrollo, al cual se ha hecho referencia recientemente, en los países caficultores puede aseverarse que una buena parte del mismo se debe al incremento que en la década del 70 ha experimentado la inversión en caficultura [157]. Al aproximarse el fin de la última década el consumo de fertilizantes en la caficultura mundial fue mucho mayor que en las dos décadas anteriores [75].

Una producción alta de café por unidad de superficie, solamente puede ser alcanzada mediante la contribución de varios factores: a) uso de variedades superiores; b) densidad de siembra adecuada a un índice de área foliar (IAF) óptimo; c) renovación sistemática de la madera de producción; d) control fitosanitario; e) renovación total de la plantación una vez que la productividad empieza a declinar; f) fertilización adecuada e intensiva.

Si bien las estadísticas destacan un mayor consumo de fertilizantes en el mundo, los países en desarrollo, que son precisamente los productores del precioso grano, están aún lejos de llegar a las metas de consumo ideales. El territorio de Hawai fue el primero en alcanzar, en la década del 50, las mejores marcas mundiales en productividad, precisamente con fundamento en el uso intensivo de fertilizantes minerales, mediante aplicaciones masivas de la fórmula 10-5-20 bajo un sistema de cultivo expuesto al sol y con renovación sistemática de la madera de producción mediante poda por calle.

Los métodos de diagnóstico del estado de nutrición que se aconsejan en el presente, son semejantes a los empleados en caña de azúcar [8, 133].

#### 5.1.1 Dosis y fórmulas de los fertilizantes

En la caficultura contemporánea el sistema de cultivo intensivo requiere de una fuerte inversión anual en insumos para la producción.

En relación a las fórmulas de los fertilizantes más comunes en el ámbito mundial, se sabe que en Kivu (El Congo) recomiendan usar fosfato tricálcico, sulfato de potasio y sulfato de magnesio, así como enclamiento, con el propósito de mantener la reacción del suelo a un pH >5.5 [71]. En Angola se usa la fórmula 20-20-0 al igual que en El Salvador [91]. En este último país aplican en el mes de mayo entre 90 y 150 g/arbusto adulto de la referida fórmula (20-30 g de nitrógeno y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). En julio suministran una cantidad igual en gramos de sulfato de amonio, la cual se repite en el mes de setiembre (se recomienda suplir de 60-90 g de nitrógeno y no menos de 15-20 g de azufre/cafeto/año). Las dosis menores se aplican en plantaciones con altas densidades de siembra (>3180 arbustos/ha) y las mayores en las menos pobladas (<1590 cafetos/ha). La adición de fósforo y potasio se hace variar en concordancia con el análisis de los suelos. En Ruanda se recomienda el uso de la fórmula 20-20-10 en cantidad de 400 g/arbusto/año y en Puerto Rico las fórmulas más comunes son 10-4-15 y 20-3-20, complementadas con una extra de nitrógeno.

En Colombia se adoptó la fórmula 10-5-20, sugerida por primera vez en Hawaii. También usan fórmulas NPKMg como 16-6-22-2, 12-12-17-2 y la 12-6-24 (el tenor de potasio en los suelos cafetaleros es de 0.10-0.20 me/100 g). En Colombia se ha encontrado al clasificar las fórmulas de acuerdo con el equilibrio N/K<sub>2</sub>O, que las que inducen los niveles más altos de magnesio en el follaje son las de contenidos de nitrógeno iguales o mayores que de potasio [67]. Aquí recomiendan la inclusión de 75% de K<sub>2</sub>O total como sulfato de potasio [79]. Se usan fórmulas altas en este elemento pues la respuesta es muy marcada.

En Costa Rica las fórmulas (NPKMgB) que más se usan son 20-7-12-3-1.2, 18-5-15-6-2, 18-10-15-4-1.2, 18-12-6-5-4-2 y 20-5-11-4-2. El suministro de fórmulas completas se recomienda en cantidades de hasta 1000 kg/ha en las primeras dos aplicaciones del año cuando la cosecha es alta, más un complemento antes de la salida de la estación húmeda, de aproximadamente 84 kg de nitrógeno/hectárea, con lo que se consigue un aumento en la producción anual de un 46% [17, 111]. En el Cuadro 5.1 se transcribe una recomendación de carácter general para la dosificación de los fer-

*Cuadro 5.1* Recomendación de fertilizantes (NPKMgB) para la caficultura de Costa Rica [111]

Producción en unidades de 400 l/hectárea	kg/ha/año de fórmula completa	Número aplicaciones	Nitrógeno extra al final estación húmeda (kg)
21-24 .....	335	1-mayo	83.75
30-43 .....	670	2-mayo, agosto	83.75
>43 .....	1005	2-mayo, agosto	83.75

Fórmulas completas recomendadas por el *Departamento de Investigaciones en Café:*

Sección Central y Occidental	20-7-12-3-1.2 18-5-15-6-2
Zona Sur	18-10-15-4-1.2 18-5-15-6-2
Otra fórmula comercial	20-5-11-4-2

tilizantes. El empleo de metodología de diagnóstico como guía de la fertilización es de uso esporádico [22, 126]. Las fórmulas que hoy se recomiendan y el avance de la tecnología sobre el uso racional de los fertilizantes, muestra grandes diferencias con respecto a las tres décadas anteriores [99, 101, 119].

En Brasil, el uso de fertilizantes que se recomienda en el presente para el ámbito del país (Cuadro 5.2) presenta variaciones importantes con respecto a las dosis valederas a fines de la década del 50 [78]. En los suelos de «cerrado» se hace uso de compuestos de calcio (o dolomíticos) desde la siembra de las plantaciones. Se usa yeso como fuente de azufre, así como compuestos a base de potasio y magnesio (que además contienen azufre), como aplicación básica o complementaria. En este país existe una alta respuesta a potasio y en los suelos más pobres es prácticamente positiva a la mayoría de los nutrimentos que se usan en la caficultura moderna.

En México han llegado a la conclusión de que en términos generales, 120 g de nitrógeno/arbusto/año es la dosis requerida. En cuanto a  $P_2O_5$ , recomiendan el uso de 80 g, mientras que solamente 40 g de  $K_2O$ , cuya aplicación consideran suficiente para incrementar la productividad. Estas conclusiones fueron obtenidas al evaluar los ensayos realizados en el Estado de Veracruz y en la práctica son equivalentes a la aplicación de 1 kg/planta/año de la fórmula 12-8-4 [144]. La aplicación de la fórmula anterior con un complemento de 45 g de tetraborato de sodio por planta adulta/año, ha producido un incremento de un 25%. Incrementos importantes en la producción han sido obtenidos con la aplicación de 80 g de sulfato de hierro y 80 g de sulfato de zinc/caféto.

Cuadro 5.2 Recomendación de fertilizantes para cafetos en producción en Brasil [90]

Estado	g/cova/año			Observaciones
	N	$P_2O_5$	$K_2O$	
Ceará	120-200	30-50	100-200	N 4-5 aplicaciones $P_2O_5$ 1 aplicación $K_2O$ 2 aplicaciones
Goiás	64	16	48	Dosis para una estimación de cosecha por cada 20 sacos de café bellota/1000 plantas 4 aplicaciones
Minas Gerais	120	60	180	N y $K_2O$ 4 aplicaciones
São Paulo	100	5-25	30-100	3 aplicaciones para producciones de hasta 1000 kg/ha de café limpio. Entre 1000 y 1500 = +50% Entre 1500 y 2000 = +100%
Paraná	120-200	26-50	100-200	N 4 aplicaciones $P_2O_5$ 1 aplicación $K_2O$ 2 aplicaciones

Complementos: Boro = 10-30 g de bórax/cova o bórax a 0.3% ó 1.5 kg de ácido bórico/ha.  
Zinc = sulfato de zinc a 0.6-0.8%

En Panamá las fórmulas (NPKMg y NPKMgB) recomendadas son: 12-12-17-2, 18-10-15-4-1.2 y 18-5-15-6-2 [102]. En Guatemala la fórmula más recomendada ha sido por muchos años la 20-7-12 la cual se suministra dos veces al año: la primera aplicación en mayo, junio o agosto y la segunda en octubre o noviembre. Las dosis varían entre 180 y 240 g/planta. El complemento de nitrógeno, en forma de urea, lo recomiendan suplir en los meses de octubre o noviembre, a razón de 90 g/planta [5]. En cafetales adultos sugieren la aplicación de 390 kg/ha de una fórmula completa dos veces al año y 280 kg/ha de urea al final de la estación lluviosa [19]. Recomiendan que la fórmula de abonamiento debe estar de acuerdo con los análisis obtenidos en el laboratorio, utilizando cantidades que no sobrepasen 1310 kg/ha de fertilizantes [19]. Al igual que los demás países caficultores, sugieren diferencias en cuanto al programa de abonamiento, según las características de cada región. Recientemente recomiendan un suministro de 395 kg/ha de una fórmula completa (118 g/arbusto/aplicación), más dos complementos a base de urea (262 kg/ha = 78 g/arbusto/aplicación) y de 560 kg/ha de sulfato de amonio, equivalente a 167 g/planta/aplicación. Otra alternativa planteada es la aplicación de dos veces consecutivas de una fórmula completa en la dosis indicada [58]. Para los efectos cuentan con tablas especiales para orientar al caficultor, fundamentadas en el uso de cantidades iguales de nitrógeno cuando se hace uso de fórmulas completas que contienen 15, 18 y 20% de N. Respecto a las fórmulas de los fertilizantes en uso en América Central, de acuerdo con la edad de los cafetos, se presentó un artículo de revisión [27].

En Kenya, la fertilización se practica con énfasis en el uso de fuentes de nitrógeno, pero también se usan fertilizantes compuestos [146]. Se sugiere que una de las aplicaciones anuales de nitrógeno puede ser reemplazada por una de fórmula completa. Para que sea eficaz, la aplicación no debe suplir menos de 40 kg de nitrógeno/hectárea. En todo caso el equilibrio de los nutrimentos debe estar de acuerdo con las características del suelo [145, 146]. También tienen como guía el resultado del análisis foliar [147]. En la inteligencia de suministrar el 40% del requerimiento anual de 114 kg de nitrógeno/ha, la fórmula compuesta debe ser aplicada siguiendo los lineamientos técnicos previamente investigados. No obstante, la cantidad de nitrógeno por hectárea/año que se aplica en Kenya varía entre 80 y 300 kg de nitrógeno, de acuerdo con la estimación de la cosecha del presente año. En el Cuadro 5.3 se consignan las dosis que se acostumbra aplicar de nitrógeno en las plantaciones de Kenya. La dosis anual se subdivide en 3 ó 4 aplicaciones según se trate de regiones afectadas por una o por dos estaciones húmedas. El suministro de nitrógeno recomendado, que no debe ser menor que 40 kg/ha, es para una densidad de siembra a 2.75 x 2.75 metros (aproximadamente 30 g de N/arbusto/aplicación). La dosis anual de nitrógeno se subdivide en dosis iguales, en el número de aplicaciones requerido, o bien el 40% del total se suple en la primera aplicación del año.

En Kenya existe consenso en que la mejor respuesta a fósforo se obtiene en cafetos jóvenes, hecho que también ha sido comprobado en otros países.

En relación a potasio, recomiendan el uso de sulfato y cloruro de potasio cuando el pH es >5.4. Se considera que existe deficiencia de potasio, asimismo, cuando la concentración en el suelo es menor de 0.4 me/100 g. También toman como guía la relación K:Ca:Mg. Cuando el pH es >5.4 recomiendan el uso de cualquiera de las

Cuadro 5.3 Dosis de nitrógeno que se emplea en la caficultura de Kenya [146]

Predicción de cosecha	kg N/ha/año	kg fertilizante/año hectárea			g fertilizante/año arbusto*		
		21% N	23% N	26% N	21% N	23% N	26% N
<1000 kg Café limpio/ha (5 kg de frutos/ arbusto)	80	390	350	310	330	300	260
1000–1500 kg Café limpio/ha (5–7 kg de frutos/ arbusto)	140	680	610	540	570	520	460
1500–2000 kg Café limpio/ha (7–10 kg de frutos/ arbusto)	140–200	680 a 975	610 a 875	540 a 775	570 a 850	520 a 700	460 a 620
>2000 kg Café limpio/ha (>10 kg de frutos/ arbusto)	hasta 300	hasta 1460	1310	1160	hasta 1200	1000	900

\* La dosis/arbusto ha sido calculada para una densidad de siembra de  $2,75 \times 2,75$  m. Para otros espaciamientos se sugiere usar la misma dosis/arbusto. Si se emplea urea (46% N) la cantidad se multiplica por 0.55.

dos fuentes, pero cuando el pH es  $<4.4$  señalan que el cloruro de potasio es más deseable que el sulfato. La aplicación recomendada es de 100–190 g/arbusto (aproximadamente 135–225 kg/ha), dependiendo de la cantidad requerida para equilibrarla con el magnesio y el calcio [146]. En Kenya los fertilizantes para café que incluyen potasio contienen un mínimo de un 6% como sulfato [96]. Cuando los suelos son deficientes en magnesio y cuando el pH sea inferior a 5.4 consideran que la aplicación de compuestos que lo contengan es un imperativo [146]. En Kenya también recomiendan el uso de fertilizantes compuestos en sustitución de uno de los abonamientos nitrogenados del año. En este caso debe usarse nitrato de amonio cálcico en las dos aplicaciones subsiguientes, para totalizar  $40 + 30 + 30 = 100\%$  del total de nitrógeno. Para un máximo beneficio aconsejan aplicar el fertilizante compuesto cerca de 6 meses antes de la floración principal. En Kenya se conoce el efecto de la aplicación de fertilizantes sobre la producción, las propiedades del suelo y el contenido en las plantas de los elementos que se aplican [73]. Sobre la respuesta a fertilizantes se cuenta con artículos de revisión [112, 113].

En Burundi los resultados señalan que el nitrógeno tiene una importancia capital en la nutrición de la caficultura, mientras que el efecto del potasio es poco marcado. No obstante, consideran prudente su inclusión en las fórmulas de los fertilizantes. En

cuanto a fósforo, han encontrado que su efecto es casi nulo, y que una dosis de magnesio en demasía, puede ser nociva [38]. Con fundamento en la investigación efectuada, han concluido que se puede aconsejar una fórmula de abono 3 (N):0.5 ( $P_2O_5$ ):1 ( $K_2O$ ). Sugieren aplicar esta fórmula dos veces al año (noviembre y marzo) en una dosis de 735 g/cafeto, correspondiente a una mezcla de 600 g de sulfato de amonio, 85 g de sulfato de potasio y 50 g de fosfato de calcio dibásico. Por otro lado, en Ruanda aplican 400 g/arbusto/año de las fórmulas que han probado ser más efectivas [41]. El nivel total lo dividen en dos aplicaciones, coincidentes con los periodos lluviosos. En algunas zonas recomiendan la aplicación de la fórmula NPKMg 10-10-20-5, a razón de 500 g/arbusto/año; en otras, de 20-10-10-5, en dosis similares.

En la Costa de Marfil un autor sugiere practicar abonamientos para cada ciclo de producción, mediante la utilización de fosfato dicálcico y sulfato de potasio durante los primeros tres años siguientes al rejuvenecimiento de las plantaciones mediante poda y sulfato de amonio durante el cuarto año [156]. El año siguiente a la recepa señalan que se puede aplicar una fertilización suplementaria a base de calcio y magnesio (dolomita), por el mes de abril. El primer ciclo de cosechas obtenidas en 1971 en los ensayos que adelanta el *Institut Français du Café et du Cacao (IFCC)* en la Costa de Marfil, demuestra que los fertilizantes permiten obtener importante productividad cuando se aplican a clones de café Robusta de alta producción [137]. Los ensayos ponen en evidencia la respuesta a nitrógeno y la ausencia a fósforo y potasio en las primeras cosechas. Respecto a potasio; un investigador llegó a la conclusión de que el suministro para compensar las «exportaciones» no es rentable [138]. Se ha informado que existe un efecto favorable del fósforo y potasio en la cuarta y quinta cosecha. En los suelos no saturados, los fertilizantes compuestos del tipo 12-15-18 y 20-10-10 proporcionan resultados muy satisfactorios [137]. Verlière [155] cita para la Costa de Marfil, en los suelos derivados de arenas terciarias, en donde la suma de K, Ca y Mg es en general inferior a 2 me/100 g (suelos con deficiencia marcada de magnesio y potasio), que los fertilizantes que se recomiendan deben exhibir las características siguientes:

- a) la relación  $K_2O/N$ , debe estar comprendida entre 1.5 y 3
- b) la relación  $N/P_2O_5$ , debe caer dentro del ámbito 1-1.5
- c) la dosis mínima de nitrógeno debe ser de 20 g/arbusto
- d) la dosis de potasio debe ser de 50-100 g/arbusto

En los suelos derivados de granito, Loué recomienda la aplicación de dosis diferentes de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$ , e indica que el cociente  $K_2O/N$  de las fórmulas para estos suelos debe estar comprendido entre 1 y 1.5 y no debe exceder 2. En la Costa de Marfil se usan también fórmulas como la 12-15-18, a razón de 400 g/arbusto/año, o una cantidad igual de la fórmula 12-12-20, dependiendo del tipo de suelo [155]. Con base en estos estudios se recomienda que el suministro de nitrógeno debe ser de 40-60 g/arbusto y que, en los suelos derivados de granito y granito-gneis, deficientes en fósforo, el aporte de  $P_2O_5$  debe ser de 30-40 g/arbusto. En las zonas muy deficientes en potasio se aconseja suplir de 80-120 g de  $K_2O$ /arbusto y en los menos

deficientes de 60–80 g de  $K_2O$ /arbusto. Se postula, como relaciones principales entre los nutrimentos contenidos en las fórmulas, las siguientes:

$K_2O/N$  entre 1 y 2.5

$N/P_2O_5$  entre 1 y 1.5 ó 2

Se señala que a principios de abril debe ser suministrado el 50% del nitrógeno y toda la dosis de fósforo y potasio y que a mediados de julio debe ser aplicado el resto del nitrógeno.

En Africa Ecuatorial se ha destacado la investigación hecha en la República Centroafricana [13]. En esta región el nitrógeno se ha manifestado como el elemento de mayor respuesta, mientras que el efecto del potasio depende del equilibrio con el magnesio. En muchos suelos existe deficiencia importante de magnesio. En el Cuadro 5.4 se transcribe el equilibrio de las fórmulas que se recomiendan en función del análisis foliar. Ya por la década del 50, en Boukoko se conducían ensayos de campo para estudiar la rentabilidad [43]. Los resultados de estas investigaciones demuestran que el suministro de nitrógeno es eficaz desde el inicio de la plantación. El fósforo aplicado en un cafetal joven tiene un efecto de interacción con el nitrógeno. En suelos abundantemente provistos de potasio al momento de la siembra, la aplicación de este elemento está contraindicada, pero un suministro de magnesio puede equilibrar la absorción. Después de la recepa, que imperativamente debe practicarse cuando el cultivo alcanza 6 ó 7 años de edad, el abonamiento completo (NPK) se hace necesario.

En el Cuadro 5.5 se transcriben las épocas de aplicación de los fertilizantes en varios países caficultores.

Cuadro 5.4 Equilibrio de la fertilización del café sugerido en la República Centroafricana con base en análisis foliar [13]

Estado de nutrición	Equilibrio de los fertilizantes				Dosis de nitrógeno (g)
	N	$P_2O_5$	$K_2O$	MgO	
Exceso de K, carencia de Mg	1	0.6	0	1–1.6	60–100
Ligero exceso de K, deficiencia ligera de Mg	1	0.6	0	0.8	60
Ligero desequilibrio en el suelo	1	0.6	1.3	0.8	50– 60
Muy bueno	1	0.6	1.3	0.5–0.8	40– 60
Ligeramente deficiente en K	1	0.8	2.0	–	60
Muy deficiente en K, ligeramente deficiente en P	1	0.8	2.8	–	60–100
Muy deficiente en P y K	1	1	2.8	–	60–100

Cuadro 5.5 Epoca de aplicación de fertilizantes en algunos países [71]

País	Floración principal	Fórmula completa o PK	Nitrógeno
Angola	febrero/marzo	2/3 noviembre 1/3 marzo	octubre, diciembre
Burundi		marzo, noviembre	
Costa de Marfil		abril	julio
Kenya			abril, mayo, noviembre** enero, abril, mayo/ junio, noviembre***
Ruanda	febrero/marzo	1/2 noviembre 1/2 febrero, marzo	
Hawai	febrero/marzo	febrero, abril, junio, agosto	marzo, mayo, octubre
Brasil	enero/febrero	octubre, febrero	octubre, diciembre, febrero, abril, julio
Colombia	febrero/marzo	marzo, abril, setiembre, octubre	1 ó 2 aplicaciones
Perú		2 aplicaciones	3 aplicaciones
Costa Rica	febrero/marzo, abril, mayo*	mayo, junio, enero, agosto, setiembre*	setiembre/noviembre*
El Salvador	marzo	abril/julio	setiembre/octubre
Guatemala		2 aplicaciones: mayo, junio o agosto y octubre o noviembre	octubre o noviembre
Puerto Rico	marzo	abril, agosto, diciembre	

\* Información correspondiente a la Meseta Central y regiones influenciadas por las lluvias de la Vertiente del Pacífico

\*\* Caficultura de secano

\*\*\* Caficultura con riego [146]

### 5.1.2 Respuesta a NPK por el café

La respuesta al NPK varía según el país. Al separar el efecto en la cosecha de cada uno de estos macronutrientes, se nota en la mayoría de los casos, que el elemento común denominador es el nitrógeno. A título de ejemplo en el Cuadro 5.6 se aprecia la respuesta que se ha reportado de varios países. La respuesta negativa a potasio o la no respuesta a fósforo informada por algunos autores, debe interpretarse con cuidado. En el caso del potasio, probablemente tal situación es valedera únicamente en suelos de alto contenido o con un bajo porcentaje de saturación de bases [26]. En el caso del fósforo, la situación es diferente. Por un lado, *C. arabica* no es marcada-

Cuadro 5.6 Respuesta del cafeto a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio en varios países [149]

País	Respuesta a			Referencia
	N	P	K	
Angola	+	×	×	<i>Vaz, J. T.</i> [152]
Brasil	+	×	+	<i>Gomes, F. P. et. al.</i> [59]
Brasil	+	×	+	<i>Franco, C. M. et. al.</i> [52]
Colombia	+	×	+	<i>Uribe y Mestre</i> [149]
Costa Rica	+	×	+	<i>Pérez, V. et. al.</i> [120]
Costa Rica	+	×	-	<i>Min. Agric. Ganad.</i> [125]
El Salvador	+	+	-	<i>Aguilar, R. J. et. al.</i> [4]
Filipinas	+	0	-	<i>Carandang, D. A.</i> [18]
Filipinas	+	0	-	<i>Ramos, R. P. y Pañagilan, B.</i> [127]
India	+	0	0	<i>Ananth, B. R.</i> [6]
Kenya	+	×	×	<i>Jones, P. A.</i> [70]
Puerto Rico	+	×	+	<i>Abruña, F. et. al.</i> [3]
Puerto Rico	+	×	+	<i>Abruña, F. et. al.</i> [1]
Puerto Rico	+	×	×	<i>Rodríguez, S. J. et. al.</i> [132]
Tanganyika	+	×	×	<i>Mitchell, H. W.</i> [103]

+ = respuesta positiva, × = no hubo respuesta, - = respuesta negativa, 0 = sin comentario

mente exigente en fósforo. Además, cuando el elemento se aplica ininterrumpidamente por muchos años, la respuesta de hecho es poco probable, o sea que la respuesta positiva inicial se enmascara. Además, existen suelos en donde el tenor de fósforo disponible es superior al nivel crítico requerido (20–30 ppm).

## 5.2 Función de los fertilizantes en la fisiología de las plantas

El propósito de la adición de fertilizantes al cafeto es suplir elementos minerales esenciales en cantidad adecuada para el máximo cumplimiento de los ciclos vegetativo y reproductor. Los suelos agrícolas por lo general son incapaces de suplir todos los elementos requeridos en cantidad suficiente y, sobre todo, durante muchos años de cultivo.

A continuación se presenta una reseña respecto a la función que en la fisiología de la planta desempeñan los elementos esenciales que se suplen a los cultivos.

### 5.2.1 Nitrógeno

Entre las diversas funciones del nitrógeno, se destacan: a) forma parte de las moléculas de las proteínas; b) es elemento constitutivo de los ácidos nucleicos responsables de la transferencia de la información genética; c) forma parte de la clorofila y de los citocromos.

La materia seca de los vegetales contiene del 2 al 4% de nitrógeno. Este nutrimento es absorbido mayoritariamente por el cafeto en la forma de  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{NH}_4^+$ , que se convierten continuamente en compuestos orgánicos. Experimenta gran movilidad en la planta.

La deficiencia de nitrógeno se caracteriza por una pérdida del color verde (Foto 13, página 226).

### 5.2.2 Fósforo

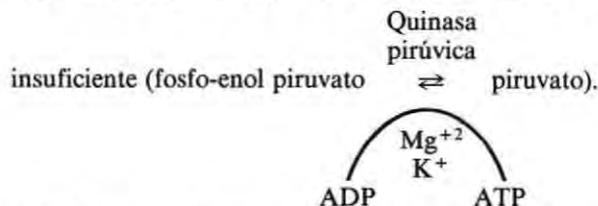
El fósforo forma parte de moléculas fundamentales que preservan y transfieren energía, como adenosín-trifosfato (ATP) y uridín-trifosfato (UTP). También de ácidos nucleicos, de las coenzimas adenín-nicotinamida-dinucleótido ( $\text{NAD}^+$ ), fosfoadenín-nicotinamida-dinucleótido ( $\text{NADP}^+$ ) y de fosfolípidos.

La capacidad de absorción de fósforo por las plantas difiere entre especies e inclusive entre variedades. Las formas iónicas  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ , son las que son absorbidas por mecanismos activos y forman rápidamente compuestos orgánicos, principalmente hexosas fosfatadas. Una vez absorbido experimenta gran movilidad en la planta en circuito cerrado xilema-floema.

La deficiencia de este elemento es responsable de la pérdida del color verde típico del café y produce necrosis en los tejidos foliares (Foto 14, página 226).

### 5.2.3 Potasio

El potasio afecta procesos metabólicos muy variados, como fotosíntesis, respiración, síntesis de la clorofila y el nivel hídrico de las hojas. Es un hecho comprobado que existen sistemas multienzimáticos muy variados que requieren de potasio y que su deficiencia provoca «bloqueos» en la secuencia normal de las reacciones [48]. Uno de los efectos metabólicos de la deficiencia es la acumulación en los tejidos de carbohidratos solubles y de azúcares reductores. Se ha sugerido que en las plantas superiores la quinasa pirúvica disminuye cuando el suministro de potasio es



Este efecto traería como consecuencia un acumulamiento de azúcares. La deficiencia podría afectar la activación de algunas enzimas claves [10, 140] y la síntesis del almidón y de los ácidos grasos a partir del acetato derivado de la glicólisis. La deficiencia provoca, asimismo, un acumulamiento de aminoácidos y amidas y de nitrógeno orgánico soluble, de lo que se infiere que el elemento es requerido en la catálisis

responsable de la incorporación de aminoácidos en proteínas, según se ha observado en estudios de activación de algunas enzimas específicas [65].

Se ha demostrado en *Vicia faba*, que el  $K^+$  es específicamente requerido para que ocurra la apertura de los estomas por un mecanismo activado por la luz. Se sabe ahora que la apertura y cierre de los estomas ocurre como resultado de la entrada y salida del  $K^+$  de las células guardianas [68].

El potasio lo contienen los tejidos vegetales en mayor cantidad que los demás cationes lo que confirma su alto requerimiento por las plantas. Como activador enzimático, se sabe que más de sesenta enzimas son activadas por este elemento [45]. A diferencia de la mayoría de los nutrientes, el potasio no forma parte constitutiva de compuestos orgánicos. No obstante está presente en todos los tejidos vegetales y experimenta gran movilidad. Ha sido reportado que el potasio favorece la conversión de energía lumínica en energía química [63]. Además, el potasio incrementa el efecto del nitrógeno y contribuye a la fijación de nitrógeno atmosférico, acelera y mejora el flujo y traslación de los metabolitos. La deficiencia de potasio se asocia con necrosis en el borde de las hojas del café (Foto 15, página 226).

#### 5.2.4 Magnesio

Entre las funciones del magnesio se destacan su participación en la fotosíntesis y en el metabolismo de los carbohidratos (glucólisis). Se ha demostrado que la integración de los ribosomas requiere de magnesio. Como elemento esencial está asociado a un número de funciones fisiológicas y bioquímicas, en reacciones que promueven la transferencia de grupos fosfato, en especial en las correspondientes al paso de la glucólisis que involucran la transferencia de adenosin trifosfato (ATP). La enzima quinasa pirúvica, también activada por potasio, requiere de magnesio para su completa activación. El magnesio exhibe, como activador de enzimas, una marcada influencia en la energía derivada de la hidrólisis de compuestos energéticos como el ATP. La formación de compuestos complejos entre magnesio y AMP, ADP y ATP resulta finalmente en un modelo complejo de hidrólisis de estas moléculas. El estímulo de la actividad de la ATPasa también involucra directamente al magnesio, junto con el potasio y el sodio.

Entre las enzimas importantes activadas por magnesio están la enolasa, glucoquinasa, fructoquinasa, hexoquinasa, la deshidrogenasa del ácido-6-fosfogluconico, fosfopentoquinasa y otras no menos importantes. Por formar parte de la molécula de clorofila su deficiencia produce una clorosis intervenal (Foto 17, página 226).

#### 5.2.5 Calcio

El calcio forma parte de la estructura de la pared celular de los vegetales, en la forma de pectato de calcio. En el café, su deficiencia causa una sensible disminución de la actividad de la reductasa del nitrato [30]. Este nutriente juega un papel impor-

tante en la formación de estructuras constituidas por lípidos y en la formación de membranas celulares. Su deficiencia puede alterar el mecanismo propio de la mitosis. Existe correlación entre su estado de deficiencia nutricional y anomalías en los cromosomas. Actúa como activador de enzimas, entre las que merecen especial mención la adenosín trifosfatasa, la ATPasa, la amilasa y la fosfolipasa. El calcio no experimenta movilidad en la planta. La interferencia en los procesos fisiológicos que produce la deficiencia de calcio causa síntomas típicos (Foto 16, página 226).

### 5.2.6 Azufre

Una de las funciones principales del azufre es ser constituyente de 3 aminoácidos: cistina, cisteína y metionina. Por esta circunstancia lo contienen todas las proteínas vegetales. La deficiencia de azufre en el café conduce a un acumulamiento de  $\text{NO}_3^-$ , así como de las formas del metabolismo intermedio del nitrógeno por lo que interfiere la síntesis proteica [30].

El azufre es absorbido como  $\text{SO}_4^{-2}$  que rápidamente sufre un proceso de reducción e incorporación en los tres aminoácidos que lo contienen. Forma parte de las vitaminas biotina y tiamina ( $\text{B}_1$ ) y de la coenzima A. Forma, además, las uniones de disulfuro, importantes en la estabilidad de la estructura primaria de las proteínas. Cuando la planta sufre deficiencia de este nutrimento se interfiere la síntesis de la clorofila, por lo que se produce una pérdida del color verde típico (Foto 18, página 227).

### 5.2.7 Boro

En café, el boro desempeña funciones fisiológicas muy importantes, asociadas con las relaciones hídricas, metabolismo del nitrógeno, acumulamiento de azúcares, formación de metaxilema en ápices gemulares, etc. [49, 54]. En plantas deficientes en boro por lo general no cuajan los frutos. Se presume que el ion borato podría formar un complejo con el azúcar, lo que favorecería el paso a través de las membranas. Plantas deficientes en boro muestran un marcado acumulamiento de ácidos fenólicos, los cuales pueden causar necrosis y muerte. Si existe deficiencia se favorece la formación de los compuestos fenólicos. La deficiencia de boro produce hojas de forma atípica (Foto 20, página 227).

Las plantas deficientes en boro se caracterizan por experimentar muerte de los tejidos meristemáticos. El café también experimenta este efecto. El contenido de RNA también disminuye en los ápices del sistema radical mientras que el de DNA aparentemente no sufre alteración.

El boro y las giberelinas se ha encontrado que influyen en la actividad de la amilasa  $\alpha$ . Se ha observado que un bajo nivel de boro reduce la cantidad de giberelina, y que ésta, a su vez, causa alteración en la actividad de la amilasa  $\alpha$ . El boro no experimenta movilidad en la planta.

### 5.2.8 Zinc

El zinc es responsable de la síntesis de auxina, al actuar como activador de la enzima responsable de la formación del triptófano, el aminoácido precursor de la síntesis del ácido 3-indol acético (AIA). Participa en el metabolismo de la triptamina y es activador de deshidrogenasas, nucleótido piridínico, glucosa-6-fosfato, deshidrogenasa del alcohol y triosa fosfato. Este nutrimento es un estabilizador de las fracciones ribosomales y, además, promueve la síntesis del citocromo C. Se sabe que su deficiencia se asocia con un crecimiento reducido de los frutos y de los arbustos y que interfiere la asimilación del fosfato (Foto 22, página 230).

### 5.2.9 Cobre

Las funciones del cobre han sido bien establecidas en la fisiología de las plantas. Es el metal componente de la oxidasa del ácido ascórbico, fenolasas y tirosinasa. La mayor parte del cobre se encuentra en los cloroplastos, donde forma parte de la plastocianina involucrada en la transferencia de electrones. Desempeña un papel indirecto en la formación de nódulos (simbiosis bacteriana) y es el metal responsable de la oxidación terminal de la oxidasa del citocromo en el mecanismo denominado «sistema de transporte de electrones» (STE). Deficiencia de cobre en el café ha sido reportada en Brasil (Foto 24, página 230).

### 5.2.10 Hierro

El hierro es componente estructural de moléculas tipo porfirina (peroxidasa, hemoglobina, citocromos, hematina, ferricromo y otras). Su deficiencia interfiere en la síntesis de la clorofila. Es el componente de la ferredoxina, molécula involucrada en la transferencia de electrones en la fotosíntesis. Es metal activador de la peroxidasa, catalasa, oxidasa del citocromo, aconitasa, nitrogenasa y otras enzimas.

El hierro no se mueve en la planta, una vez fijado. Su deficiencia causa que las hojas jóvenes se tornen cloróticas al interferir la síntesis de la clorofila, manteniendo el color verde en las venas (Foto 19, página 227).

### 5.2.11 Molibdeno

El molibdeno se encuentra presente en las plantas en cantidades muy pequeñas. Su papel en la fisiología aparentemente se circunscribe a su participación como componente estructural de las enzimas nitrogenasa y reductasa del nitrato. Este nutrimento ha sido asociado, además, a los mecanismos de absorción y traslación del hierro. Por intervenir en el metabolismo del nitrógeno la deficiencia de este elemento produce clorosis (Foto 23, página 227).

## 5.2.12 Manganeso

El manganeso es uno de los activadores enzimáticos más importantes para la normal ocurrencia del ciclo de Krebs. Resulta ser de particular importancia en el sistema de transporte de electrones de la fotosíntesis (fotosistema II) conducente a la fotólisis del agua. Además de actuar en la respiración, participa específicamente en el metabolismo del nitrógeno, donde se destaca por su función como metal activador de las metaloproteínas reductasa del nitrito y de la hidroxilamina. En los cloroplastos actúa favoreciendo el mantenimiento de la estructura de la membrana. Es constitutivo de la manganina y activador de una serie de sistemas enzimáticos, independientes del que tiene que ver con el proceso respiratorio y el metabolismo del nitrógeno, tales como el de cromatina ligada a la polimerasa del RNA, síntesis del RNA-oligoadenilato primario y otros. Su deficiencia interfiere en la síntesis de la clorofila, de aquí que el síntoma de deficiencia se manifiesta en hojas jóvenes, muy semejante a la deficiencia de hierro (Foto 21, página 227).

## 5.3 Extracción de minerales por la cosecha y por el arbusto

La determinación de la cantidad de nutrimentos que extrae la cosecha de café, propiamente dicha, constituye una forma directa de averiguar el aporte del suelo. Los estudios indican que los elementos que supe el substrato en mayor proporción son nitrógeno y potasio. De los datos que se transcriben en el Cuadro 5.7 se deduce que el equilibrio entre N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$  tiene en los frutos del cafeto una relación, 5.2:1:5.8. Estos resultados concuerdan con otros obtenidos en diversas localidades [37, 81, 128].

El equilibrio de las fórmulas de los fertilizantes comerciales no debe ceñirse a la relación mencionada, sino que debe contemplar, además, el estipendio de nutrimentos que demanda el crecimiento vegetativo, la capacidad del suelo de fijar potasio, amonio y fosfato, la velocidad de restitución del potasio extraído y la relación en que están en el suelo los demás nutrimentos.

Cuadro 5.7. Contenido de nutrimentos en 30 fanegas\* de café en cereza (*C. arabica*) [20]

Elemento	Cantidad (kg)
N	43.33
$P_2O_5$	8.36
$K_2O$	48.07
CaO	11.24
MgO	4.67
S	2.33
$Fe_2O_3$	0.31
$Mn_2O_3$	0.030
$B_2O_3$	0.097

\* 1 fanega = 238 kg (café en fruta, maduro)

De acuerdo con la literatura, el requerimiento por la cosecha varía según la especie. Así, en cuanto a nitrógeno, las especies *C. arabica* y *C. canephora* aparentemente tienen una exigencia similar; las especies *C. excelsa* y *C. liberica*, extraen menos. En cuanto a fósforo, *C. arabica* requiere menos que las demás especies. El requerimiento de potasio aparece mayor en *C. arabica* y *C. liberica* y disminuye notablemente en las otras dos especies, especialmente en *C. excelsa*.

Mehlich [95] transcribió la composición mineral promedio del caféto (*C. arabica*). Sugiere que el cálculo aproximado del requerimiento de minerales por el arbusto completo puede ser obtenido utilizando los datos de crecimiento hallados por Wormer en plantas de café de tres años de edad. En el Cuadro 5.8 aparece la exigencia de elementos mayores derivados de los estudios mencionados. Se deduce que el equilibrio N:P:K tiene una relación, 10:1:11. El potasio se destaca como elemento mayoritario.

Las cantidades totales de los elementos nutritivos que extrae el caféto hasta el quinto año de edad, fueron investigadas en Brasil [28]. Además, la composición química de los frutos, a diversos estados de desarrollo, también da una idea clara del progreso de las necesidades nutricionales [7]. Se ha encontrado que el requeri-

Cuadro 5.8 Requerimiento de nutrimentos por cafétos de tres años de edad (*C. arabica*)\*. Datos derivados de los originales [95]

Parte de la planta	Kilos/hectárea					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Organos hipogeos + tallo ...	19.3	2.8	32.9	11.8	2.8	2.8
Ramas .....	17.9	2.5	23.9	7.5	4.2	1.5
Follaje .....	66.4	12.6	56.8	23.6	8.5	3.5
Frutos maduros .....	37.0	3.3	43.3	4.1	4.2	3.1
Totales	140.6	14.2	156.9	47.0	19.7	10.9

\* Los datos indican los requerimientos a una densidad de siembra de 1345 arbustos/ha y una producción estimada en 1255 kg de café limpio

miento de nitrógeno y potasio aumenta rápidamente a medida que los frutos alcanzan mayor edad, mientras que la exigencia neta de fósforo es siempre menor y se mantiene más o menos constante. La proporción es la siguiente: N = 6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 1, K<sub>2</sub>O = 8. De acuerdo con la literatura, a los 5 años de edad, los contenidos en los frutos de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, representan el 28.2, 31.2 y 34.7% del consumo total por la planta, respectivamente.

En *C. canephora* se ha reportado que con 1000 kg/ha de café de mercadeo se extraen del campo 33.4 kg de N, 6.1 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 44.0 kg de K<sub>2</sub>O, 5.4 kg de CaO, 4.2 kg de MgO [138]. Existe relación entre el número de yemas florales y el de hojas/rama [151]. N contribuye a la foliación. El tenor de NPK de las hojas disminuye durante la maduración de la cosecha [87, 93]. La síntesis y traslación de carbohidratos se relaciona con la nutrición potásica [33, 34].

### 5.3.1 Algunas interacciones propias de la nutrición del café

La literatura señala que la absorción de potasio por el café, aumenta en presencia de nitrógeno y que disminuye cuando la humedad del suelo desciende por debajo del 50% de la capacidad de campo [76]. La resistencia a la sequía es una característica varietal muy apreciada. En este particular, se ha encontrado que en el café aumenta la concentración de proteínas y de ATP cuando la planta dispone de suficiente potasio. Estas moléculas fundamentales se consideran como corresponsables de la resistencia a la sequía que exhiben las plantas superiores. Como efecto colateral del potasio, se ha encontrado, además, que el suministro aumenta la resistencia de los estomas al tiempo que disminuye la velocidad de la transpiración y aumenta la magnitud del potencial hídrico de las hojas. Como consecuencia, el grado de succulencia también experimenta un incremento. Además, el potasio acelera la velocidad de extensión del crecimiento de las hojas, sin embargo, no parece afectar el número de nudos que produce cada rama. Se concluye que existe una interacción nitrógeno/ potasio que favorece la resistencia del café a la sequía.

Otra de las investigaciones da cuenta del beneficio que se obtiene de la aplicación al café de una dosis extra de nitrógeno antes del establecimiento de la estación seca para mantener en la planta un mejor *status* respecto a las relaciones hídricas en el sistema suelo-planta-atmósfera [148]. (En Costa Rica se tiene como cierto, que la aplicación de la extra de nitrógeno antes de la salida de la estación húmeda contribuye con un 10% de la cosecha del siguiente año).

Al investigar el efecto del aluminio en el medio nutricio del café, se ha encontrado que disminuye la absorción de calcio, magnesio, potasio, nitrógeno amoniacal, hierro y manganeso, a medida que aumenta la concentración de aluminio a partir de una concentración de 2 ppm. La absorción de N-NO<sub>3</sub> también se afecta, pero en este caso la disminución resulta ser independiente de la absorción o presencia de aluminio en el sistema radical [124]. Las concentraciones de 0.5 y 1 ppm de aluminio disponible, son las que somáticamente producen los mejores cafetos, hecho que pone en evidencia el efecto beneficioso de este elemento en bajas concentraciones. Bajo la influencia de 1 ppm las plantas muestran el mejor grado de succulencia y la mayor producción de materia seca. El porcentaje de agua en las hojas y las raíces de las plantas disminuye a medida que aumenta la dosis de aluminio en el medio de nutrición. La toxicidad ocurre a partir de una concentración de 2 ppm en la solución nutritiva y se manifiesta primero como marchitez de la parte aérea. Seguidamente se observa una decoloración del sistema radical y un estado de flacidez, disminución de las ramificaciones y, por último, necrosis en los ápices.

Las deficiencias de potasio y calcio afectan la actividad de la reductasa del nitrato al causar una disminución del acumulación de nitratos en los tejidos foliares [30].

Respecto a la absorción relativa de nutrimentos por cafetos que sufren de deficiencia de minerales, en el Cuadro 6.4 se transcriben datos originales, los cuales ponen de relieve las interacciones que al respecto experimenta el café [29].

El contenido de calcio disminuye en las hojas de *C. arabica* a medida que aumenta el boro en el medio nutricio, lo cual tipifica el antagonismo existente entre el calcio y el boro, observado en otras especies [49]. La relación Ca/B disminuye a medida que

aumenta la concentración de boro disponible. Se ha encontrado que la succulencia de las hojas del café disminuye a medida que aumenta la concentración de boro lo contrario de lo que ocurre con el potasio [76].

Cuando se induce una toxicidad de boro los meristemas gemulares experimentan una reducción de la región de alargamiento celular, lo que reduce el crecimiento longitudinal de la raíz. Estudios semejantes, realizados por otros autores, corroboran estos resultados [54].

## 5.4 Respuesta a nitrógeno

De los datos que se consignan en el presente capítulo se infiere que la respuesta a nitrógeno es muy positiva en el café, por lo que su suministro debe ser común denominador en la fertilización de rutina.

Al inicio de la década del 70 la máxima aplicación de nitrógeno que se recomendaba en Kenya era de aproximadamente 140 kg/ha para una cosecha de 1880 kg/ha de café limpio [71]. Posteriormente se han llegado a usar hasta 412 kg de N/ha. En Kivu (El Congo), bajo cultivo al sol, recomiendan suministrar hasta 226 kg de N/ha. En Camerún, 750 kg/ha/año. En Puerto Rico se sugiere suplir hasta 336 kg de N/ha. En la caficultura de solana recomiendan un suministro de 136 kg de N/ha para la obtención de cosechas de 3360 kg/ha de café limpio. En Hawai se han llegado a recolectar hasta 21 405 kg de café/ha con aplicaciones masivas de nitrógeno. En Costa Rica se recomienda suplir 300 kg de N/ha/año, con lo que se ha conseguido un incremento en la cosecha de un 39% con respecto a las parcelas testigo. El efecto del nitrógeno en la productividad del café se ha estudiado en este país durante 30 años consecutivos [17, 118, 119, 120]. En Brasil la aplicación de nitrógeno varía entre 64 y 200 g/cova/año [90]. En México la aplicación que se recomienda de nitrógeno es del orden de 120 g/arbusto/año.

Cuando en adición existe respuesta a potasio por lo general se nota un efecto significativo para la interacción N x K. La interacción N x P y N x Ca solamente producen efectos positivos bajo determinadas condiciones de suelo, por lo que su respuesta es restringida. En Costa Rica se han reportado en casos aislados. En Brasil se informó ya en la década del 60 un efecto muy positivo en la producción por el suministro de NPK [88]. Además se destacó la interacción N x K. En Kenya se reportó también desde la década del 60, que un suministro de 200 kg/ha de nitrosulfato de amonio producía aumentos significativos, mientras que la aplicación de excesos de la misma fuente (400 kg/ha) provocaban una disminución. En Africa del Este existe el convencimiento de que hay una correlación positiva entre las cosechas y el nitrógeno en la hoja durante la floración principal [136].

En la Figura 5.1 se aprecia un ejemplo de proyección del efecto de las dosis de nitrógeno y de potasio en la producción del café según se manifiesta en Puerto Rico, en donde la concentración de nitrógeno en la hoja alcanza tenores del 2.5-3% [153].

El contenido de nitrógeno en las fórmulas compuestas, por lo general varía entre 10 y 25%. El más bajo (10-12%), por lo general es más usado en los viveros y durante el primer año, después del trasplante, aun cuando la fórmula 20-20-0 a menudo se pre-

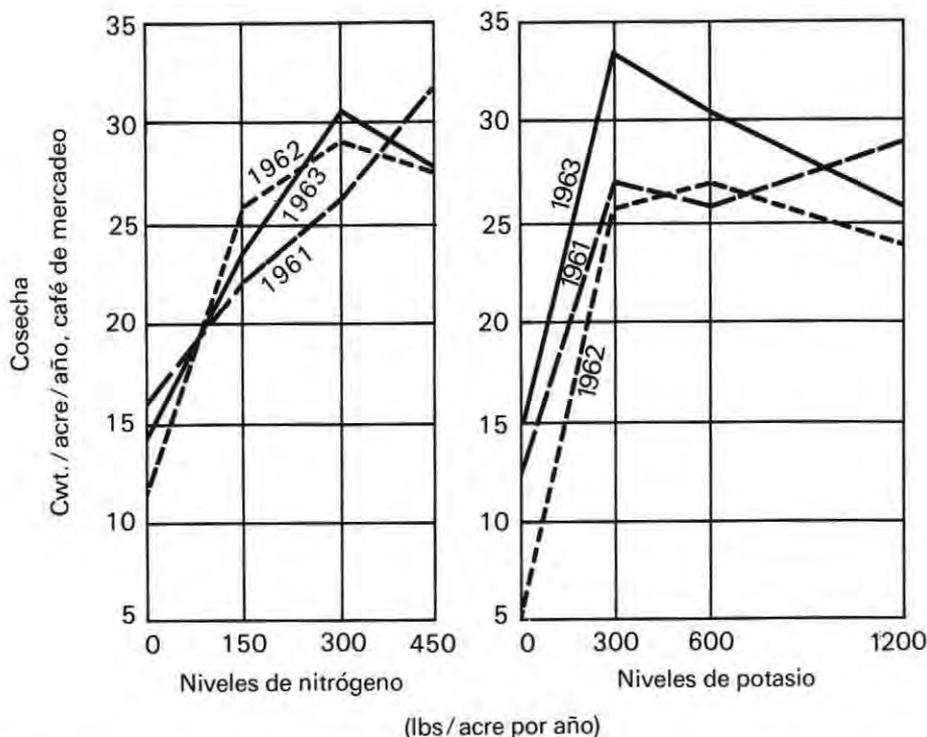


Figura 5.1 Efecto de la fertilización con nitrógeno y potasio en la cosecha del café bajo cultivo intensivo al sol (Jayuya, Puerto Rico [153]).

fiera como alternativa. En plantaciones adultas las fórmulas más usadas por lo general contienen entre el 15 y el 20% de nitrógeno. El aprovechamiento depende de la humedad del suelo, la precipitación, y el estado de crecimiento [130].

El suministro anual de nitrógeno se aconseja subdividirlo en 3 ó 4 dosis parciales. En la práctica esto se traduce en aplicaciones a intervalos de aproximadamente 60 días, durante la estación húmeda. De estas dosis, la primera o ésta y la segunda, por lo general corresponden a aplicaciones de una fórmula compuesta. En Costa Rica, Puerto Rico, Kenya y otros países se reportan excelentes resultados cuando la dosis anual de nitrógeno se subdivide en 3 aplicaciones. En Hawaii el nitrógeno siempre fue objeto de particular atención de parte de los investigadores [35]. El uso de altas dosis de la fórmula 10-5-20 y de complementos de nitrógeno, destacó siempre, la importancia que se debe dar al nitrógeno y al potasio en la nutrición del café. En la Figura 5.2 se aprecia el efecto de la dosis de nitrógeno y del fraccionamiento anual en la producción del café, según se ha investigado en Brasil [90].

Estudios recientes efectuados en Costa Rica con nitrógeno pesado ( $^{15}\text{N}$ ) señalan que el factor de utilización del nitrógeno que se aplica es de aproximadamente el 30% [139].

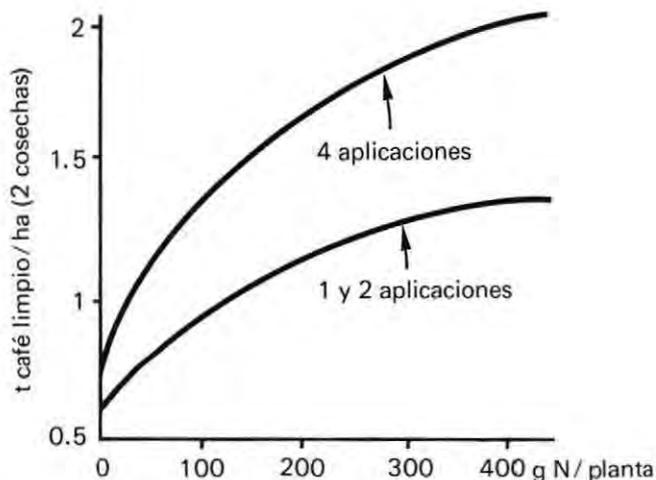


Figura 5.2 Efecto de la dosis de nitrógeno y del número de aplicaciones en la cosecha del café [90].

#### 5.4.1 Efecto de la fuente de nitrógeno

En varios países se han adelantado ensayos para investigar el efecto de la fuente de nitrógeno en la productividad del café. Al respecto los resultados obtenidos en Brasil, en un ensayo de once años de duración, son muy sugestivos [106]. Probaron el efecto de dosis de nitrógeno (75, 150, 225 y 300 kg de N/ha) subdividida inicialmente en 2, 4, 5 y 9 dosis/año. El ensayo concluyó con la aplicación de 1, 2, 3 y 4 dosis/año. Como fuentes de nitrógeno se usaron nitrocalcio, salitre de Chile, sulfato de amonio y urea. El ensayo permitió obtener la producción de 11 cosechas. Este estudio puso de relieve una respuesta lineal positiva altamente significativa respecto a las dosis investigadas. En cuanto a las fuentes, el nitrocalcio y el sulfato de amonio produjeron las mejores cosechas y mostraron diferencias significativas con respecto a la urea y al salitre de Chile. Inicialmente el sulfato de amonio fue la mejor fuente, pero posteriormente fue superada por el nitrocalcio [88]. El sulfato de amonio, la urea y el nitrocalcio tuvieron un efecto residual ácido, al concluir el ensayo, aunque menor para el nitrocalcio. Con el uso de urea y sulfato de amonio las concentraciones de manganeso y aluminio en las hojas, mostraron un aumento significativo. En los Cuadros 5.9 y 5.10 se presentan algunos datos obtenidos en esta investigación. Las investigaciones a largo plazo, realizadas en El Salvador, favorecieron en un caso al sulfato de amonio, seguido del nitrato de amonio [47]; el nitrato de sodio produjo las cosechas más bajas. De las fuentes estudiadas, el sulfato de amonio fue la que produjo acidificación mayor, aumentando la acidez del suelo de pH 6 a pH 4. La respuesta observada en Puerto Rico, indica que el nitrato de sodio produce bajos rendimientos en condiciones locales, mientras que el sulfato de amonio, nitrato de

Cuadro 5.9 Respuesta a fuentes de nitrógeno en Brasil. Producción media anual en kg de café beneficiado [106]

Bienio	Urea	Sulfato de amonio	Salitre de Chile	Nitro Calcio	D.M.S.
1965/66	2880	3000	2595	3064	341
1967/68	2028	2016	1903	2346	372

Cuadro 5.10 Efecto de fertilizantes nitrogenados\* en el pH, aluminio y manganeso, del suelo [106]

Tratamientos	Suelo (estrato a 15 cm)		
	pH	Al <sup>3+</sup> mg e./100 g	Mn <sup>2+</sup> ppm
Sin nitrógeno .....	6.1	0	26
Nitrato de amonio .....	4.9	<0.5	130
Urea .....	4.7	0.5	83
Sulfato de amonio .....	4.7	0.5	108

\* Nitrógeno total aplicado de cada fuente = 450 kg/ha

amonio, nitrato de potasio, nitrato amónico-calcáreo y la urea, tienen una influencia favorable, similar entre sí [2].

La evidencia experimental acumulada en el presente campo permite concluir que el nitrato de sodio debe proibirse como fuente de nitrógeno para el café. Además, debido al efecto acidificante que produce el sulfato de amonio [2, 47], en los suelos con un alto contenido de manganeso, sería conveniente usar una fuente de nitrógeno distinta [2].

#### 5.4.2 Uso flexible de las fuentes de nitrógeno

Puede aseverarse que el criterio que se sigue en Kenya respecto al uso de fuentes de nitrógeno, en función de su efecto residual acidificante o no, parece ser el más indicado [146]. El sulfato de amonio se comportará mejor cuando en adición a una deficiencia de nitrógeno el contenido de azufre en el suelo limita el crecimiento. De la misma manera, el efecto del nitrocalcio será superior en los suelos en donde el tenor de calcio se encuentra por debajo del nivel crítico (Cuadro 5.11).

En estudios comparativos sobre utilización de nitrógeno por el café efectuados en Costa Rica, se concluyó que el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> es particularmente bien utilizado por esta planta, siendo superior a urea y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> [139].

Nitrógeno en exceso, es tóxico, independientemente de la fuente. La toxicidad de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> produce una súbita y copiosa caída de hojas verdes, aparentemente saludables. La toxicidad de urea produce una necrosis color negro en los bordes de las

hojas, o alternativamente un empaldecimiento de las regiones intercostales de las hojas, la cual puede ser semejante a la deficiencia de zinc o manganeso. La toxicidad de nitrato se caracteriza por un amarillamiento de las hojas de la base de la planta hacia la parte de arriba, sin provocar caída [139].

Cuadro 5.11 Uso de fuentes de nitrógeno en Kenya [146]

Reacción (pH)	Suelo ácido bajo 4.4	Suelo moderadamente ácido 4.4-5.4	Suelo ligeramente ácido sobre 5.4
Fuentes de nitrógeno	Para cada tres aplicaciones, usar: nitrato de amonio calcáreo, dos veces. Nitrosulfato de amonio o urea* una vez.	Alternar entre nitrato de amonio calcáreo y nitrosulfato de amonio o urea*	Sulfato de amonio o nitrosulfato de amonio

\* Si se usa urea, debe ser incorporada, para evitar pérdidas

## 5.5 Respuesta a fósforo

La respuesta al fósforo varía según las condiciones propias de cada región. Al comparar en Hawái el resultado de aplicaciones bajas de fosfato con tratamientos que habían recibido una extra durante un período de tres años, se demostró que había aumentos en la cosecha de 20.4%, 30.1% y 30.9%, respectivamente, para cosechas medidas, uno, dos y tres años después de haber empezado los tratamientos [36]. Por otra parte, en Puerto Rico no se ha observado respuesta a fosfato y la investigación en Kenya ha demostrado, mediante numerosos ensayos, que en condiciones locales no existe respuesta, a pesar de que el nivel de fósforo extraíble aumenta significativamente con la adición de fosfatos [3, 64].

En Costa Rica la respuesta a niveles de fósforo se manifiesta por lo general lineal negativa [100]. En algunos suelos, sin embargo, se ha registrado respuesta positiva. Puede aseverarse que en este país la respuesta a este elemento constituye la excepción y no la regla, al igual que a las interacciones  $N \times P$  y  $P \times K$ . Aquí se pone énfasis en el uso de fórmulas con un contenido relativamente bajo de fósforo, excepto para cafetos jóvenes (almácigos) en cuyo caso se recomienda aplicar fórmulas con 20-30% de  $P_2O_5$  para promover un mejor desarrollo del sistema radical. En cafetos adultos la dosis anual se subdivide en 50% al inicio de la estación lluviosa y el resto 2 meses después. El fosfato se incluye en la fórmula compuesta y la dosis total recomendada es de 50-65 kg de  $P_2O_5$ /hectárea/año.

Se ha señalado que la respuesta al fósforo por el café no es consistente [96]. En los ensayos que se adelantan en Kenya, en donde se estudia el efecto del fósforo, de la cobertura y del carbonato de calcio, el fósforo solo, aumentó la cosecha en un caso, cuando se usó en mezcla de 3:1 superfosfato simple/fosfato biamónico [96]. La interacción  $N \times P$  también se observó en uno de estos ensayos.

A pesar de lo limitado de la respuesta al fósforo, el suministro periódico continúa en algunos países. En Colombia, se usa en fórmulas completas con contenidos de 6 ó 12% de  $P_2O_5$ . En Kenya se hace variar desde el 5% en fórmulas compuestas por NPK, hasta el 25% en fórmulas solamente a base de NP [97]. En Brasil la adición de fósforo también es de rutina en las fórmulas compuestas. En Hawai se usó con mucha frecuencia la fórmula 10-5-20.

La experiencia ganada hasta ahora respecto al suministro de fósforo al café, señala que la respuesta es de suyo importante en cafetos jóvenes, desde la planta en el vivero hasta 2-3 años después del trasplante. Una vez que el sistema radical ha alcanzado plena funcionalidad, la dosis puede ser disminuida e incluso eliminada durante algún período, pues la planta lo requiere en pequeñas cantidades y su capacidad de extracción por las raíces es alta [77].

Kenya es, de los países caficultores, el que ha desarrollado más el empleo científico de los fertilizantes. En este país se recomienda el uso de diversas fuentes de fósforo en función del pH del suelo (Cuadro 5.12) y el contenido de calcio.

Cuadro 5.12 Condiciones de uso y aplicación de fósforo en Kenya [146]

Reacción del suelo	Suelo ácido pH <4.4	Suelo moderadamente ácido pH 4.4-5.4	Suelo ligeramente ácido pH >5.4
Fuentes y formas de fósforo	Escorias básicas*	Superfosfato simple* y doble**	Fosfato diamónico**, superfosfato doble**

\* Escorias y SFS = 350 g/arbusto,

\*\* SFD y DAP = 150 g/arbusto

### 5.5.1 Efecto de la fuente de fósforo

El efecto de varias fuentes comerciales de fósforo se ha estudiado en varios países. En Costa Rica se probó en una oportunidad el efecto de dos niveles de superfosfato triple y fosfato amónico (132 y 264 kg de  $P_2O_5$ /hectárea) en presencia de cantidades constantes de nitrógeno y potasio [120]. Ninguna de las fuentes y niveles se manifestaron en la cosecha. Los estudios abarcaron cuatro regiones caficultoras importantes del país, e incluyeron Latosoles y Andosoles.

La respuesta a fuentes y niveles de fósforo tampoco fue significativa en un principio en la cosecha en las investigaciones efectuadas en Kenya [64].

En los suelos en donde por experiencia se sabe que existe respuesta al fósforo debe ponerse énfasis en las características del suelo, acidez, capacidad de fijación, etc. En este particular los resultados obtenidos en Brasil son muy significativos (Cuadro 5.13).

Hasta tanto no se demuestre el beneficio que se deriva de otras alternativas, la sugerencia para el uso de fuentes de fósforo que se presenta en el Cuadro 5.12 debe considerarse como valedera. La experiencia reciente obtenida en Costa Rica con el empleo de fuentes de fósforo, señalan que en suelos pobres, deficientes en contenido

de cationes, el fosfato dicálcico induce la mejor producción de biomasa [114]. En casos así la adición de calcio y magnesio aumenta considerablemente el crecimiento de las plantas (deficiencia múltiple de nutrientes).

Cuadro 5.13 Respuesta a fuentes de fósforo por cafetos cultivados en tiestos rellenos con suelo de «Cerrado» de Brasil [108]

Fuentes de fósforo*	Parámetros evaluados en las hojas			
	Peso seco X/maceta (g)	Contenido de fósforo (%)	Fosfato acumulado (mg)	Porcentaje relativo Y = 100
Sin fósforo .....	5.5	0.0088	4.84	100
Fosfato de Patos .....	8.6	0.092	7.55	156
Fosfato de Catalão .....	11.6	0.081	9.50	210
Fosfato monoamónico .....	12.0	0.122	14.90	218
Hiperfosfato .....	12.4	0.125	15.38	225
Fosfato de Araxá .....	14.0	0.098	13.54	255
Termofosfato .....	19.1	0.089	17.00	347
Superfosfato simple .....	19.7	0.117	22.88	358
Fospal (Senegal) .....	20.3	0.112	22.72	369

\* El fósforo se aplicó a razón de 100 kg de  $P_2O_5$ /ha. Nótese que el contenido de fósforo en las hojas de las plantas testigos señalan un estado de deficiencia de fósforo.

## 5.6 Respuesta a potasio

La respuesta alta a potasio se destaca en algunos países. A título de ejemplo, en el Continente Americano cabe invocar la respuesta positiva que se reporta en Colombia, Brasil y Puerto Rico y, en África, en la Costa de Marfil, Ruanda y algunas regiones de Kenya. En Colombia la dosis más corriente es de 400 g/arbusto/año de las fórmulas 12-6-22-2, 12-12-17-2 y 12-6-24 (se aplica 1 tonelada de fertilizante/año, en una densidad de siembra de 2500 plantas/hectárea). Se sabe que en los suelos volcánicos colombianos la fertilización periódica no deja un efecto residual importante de potasio debido a que exhiben un poder bajo de retención [80]. En las regiones en donde la respuesta es en general positiva, el análisis foliar indica que una característica consistente es el aumento respectivo de potasio y una disminución del contenido de magnesio [67]. De acuerdo con lo anterior, en Colombia se pone énfasis en que el contenido de potasio en las fórmulas debe ser igual o mayor que el de nitrógeno para evitar desequilibrios en la nutrición. En Puerto Rico se han observado incrementos importantes en la cosecha cuando se suministra potasio a niveles de 150 kg/ha [153]. Aquí, la adición de 336 kg/ha (300 lbs/acre) también produce aumentos (Figura 5.1) y además se ha encontrado un contenido promedio de potasio en las hojas del cafeto de 0.98, 1.67 y 2.18%, en respuesta a dosis de fertilización potásica de 0, 150 y 300 kg/ha, respectivamente. Aplicaciones de >336 kg/ha, inclusive en presencia de los otros elementos esenciales en cantidad no limitante, no

indujeron cosechas mayores. En Puerto Rico se asume que cuando las hojas muestran contenidos de 2.5 a 3% de nitrógeno y potasio (contenidos similares) las cosechas que se obtienen son excelentes. Se recomienda un suministro de cerca de 200 kg de nitrógeno y potasio/ha/año subdividido en tres aplicaciones.

En Brasil se reporta excelente respuesta a potasio, especialmente cuando se aplica nitrógeno simultáneamente o como fertilizante a base de NPK [88], en cuyo caso el efecto sinérgico resulta significativo. En este país el aumento de la dosis de potasio, de 120 a 240 g/arbusto, elevó en una oportunidad el rendimiento en un 9%, mientras que 480 g de K<sub>2</sub>O/arbusto no provocó aumento. En Brasil el nivel recomendado es de 150–200 g de K<sub>2</sub>O/arbusto, dependiendo del tipo de suelo [78, 90]. La dosis que se aplica en el presente es de 150–200 kg de K<sub>2</sub>O/hectárea [109].

Los reportes de Kenya indican que en la mayoría de los suelos locales el contenido de potasio es adecuado, ya sea debido al origen de la roca madre o por el efecto a largo plazo de la aplicación de cobertura [97]. No obstante, se hace la sugerencia de que una de las tres aplicaciones de nitrógeno puede ser sustituida por una fertilización con fórmula compuesta tomando en cuenta el cociente  $\frac{Ca+Mg}{K}$  y el contenido de fósforo soluble (Cuadro 5.14). Dependiendo de las condiciones, recomiendan fórmulas que contienen de 0 a 19% de K<sub>2</sub>O [146]. Con el objeto de evitar la falta de azufre, en Kenya es de rutina la inclusión en las fórmulas compuestas de un 6% de potasio, como sulfato.

Cuadro 5.14 Fórmulas de fertilizantes (NPK y NPKMg) para café cultivado en suelos con niveles variables de fósforo y potasio, a un pH 4.4–5.4 [146]

Análisis de suelo por potasio (K) y/o relaciones $\frac{Ca+Mg}{K}$	Tenor de fósforo (P) en el suelo		
	Bajo (<15 ppm)	Medio (15–30 ppm)	Alto (>30 ppm)
Bajo:	15-15-15 17-17-17	16-8-16 12-12-17-2	18-0-18 Nitrato de amonio
a) <0.2 me %K	23-4-19-5-16*	18-9-18	calcáreo,
ó	19-19-19	10-4-7*	nitrosulfato de
b) Entre 0.2–0.4 me %K, si $\frac{Ca+Mg}{K}$ es > 10	22-21-17	14-12-14*	amonio,
		15-15-15*	C1K/SO <sub>4</sub> K <sub>2</sub>
Medio:	18-18-9 15-15-6-4	20-10-10 25-10-10	20-0-0 Nitrato de amonio
a) Entre 0.2–0.4 me %K, si $\frac{Ca+Mg}{K}$ es 10 ó menor	10-10-7-5*	32-10-11*	calcáreo,
ó	11-8-6*	25-5-5	nitrosulfato de
b) 0.4 me %K y $\frac{Ca+Mg}{K}$ es > 10			amonio y C1K/SO <sub>4</sub> K <sub>2</sub>
Alto:	25-25-0 20-20-0	24-10-0 24-12-0	Nitrato de amonio
>0.4 me %K y $\frac{Ca+Mg}{K}$ es = 10 ó menor	22-22-0 24-24-0	20-10-0 23-10-0	calcáreo, nitrosulfato de amonio y/o urea

\* Normalmente usado como abono foliar. La quinta cifra representa azufre, expresado como SO<sub>3</sub>.

En la Costa de Marfil los suelos que han tenido origen de arenas terciarias son muy pobres en bases de intercambio y la deficiencia de potasio y magnesio es muy frecuente. En estos suelos la relación  $K_2O/N$  en las fórmulas de los fertilizantes debe estar comprendida entre  $1\frac{1}{2}$  y 3 y la dosis de potasio por arbusto debe ser de 50–100 g [143]. En otros tipos de suelo, derivados de granito, se aconseja aplicar el potasio a razón de 50–80 g  $K_2O$ /arbusto. En términos generales el equilibrio del abonamiento  $N-P_2O_5-K_2O$ , para cafetos bajo cultivo de umbria, debe estar caracterizado por una elevación del cociente  $K_2O/N$  con respecto a la condición de solana, pues el tenor de nitrógeno es generalmente más alto bajo sombra [81].

En contraste con las regiones cafetaleras de respuesta evidentemente económica a potasio, se tiene conocimiento que en América Central existen suelos de un comportamiento distinto. En Costa Rica, salvo excepciones, por lo general la respuesta a este elemento es de tipo cuadrático o no consistente cuando se investiga el efecto de niveles estratificados a largo plazo [100, 120]. En los suelos donde se registra respuesta la dosis que se recomienda es de 100–130 kg de  $K_2O$ /hectárea/año. La dosis total se divide en dos iguales, así como la de fósforo. En algunas regiones existe respuesta significativa a la interacción  $P \times K$ . En algunos suelos de El Salvador la adición de potasio no resultó económica [4].

En Costa Rica se ha encontrado que la respuesta al potasio es más notoria en los suelos rojos (Oxisoles). En éstos, por lo general se recomienda la aplicación de fórmulas con un contenido alto de potasio, hasta 22 % de  $K_2O$ . En Madagascar se indicó que cuando se trata de variedades de café de gran capacidad productora la dosis de potasio ha de ser alta, del orden de los 225 g de  $K_2O$ /arbusto/año [143].

### 5.6.1 Efecto de la fuente de potasio

Las investigaciones con fuentes de potasio indican la existencia de efectos fisiológicos importantes en pruebas efectuadas en plantas de vivero y adultas de 4 años de edad, al suministrar cloruro o sulfato de potasio [79]. Se sabe que el cloruro se acumula en cantidades altas en las hojas del café y que contenidos de más de 2875 ppm en el cuarto par de hojas se asocian con quemaduras (leaf scorch). Dependiendo del grado de acumulación, el efecto detrimental en el crecimiento se agudiza gradualmente hasta alcanzar, en estado avanzado, defoliación y necrosis. Se ha observado que las plantas fertilizadas con sulfato de potasio, en dosis similares a las de cloruro que producen anomalías, no causan daño. El nivel superior de cloro fue tentativamente fijado en un primer estudio en 2000 ppm [79]. Los datos sobre análisis foliar obtenidos en plantas de vivero, indican que durante los quince días siguientes a la aplicación de cloruro de potasio ocurre un acumulamiento marcado de cloro, seguido de una pronta disminución, según se observó en muestras de hojas tomadas a los treinta días. Además de subir el contenido de potasio en las hojas de las plantas fertilizadas, se encontró que el azufre también se acumula en los tratamientos en donde se aplica sulfato de potasio. En Colombia, país en donde tuvo lugar esta investigación, las fórmulas de los fertilizantes para café contienen un máximo de un 25% del potasio incorporado como cloruro y el resto como sulfato.

Esta proporción obedece a razones técnicas, pues aparentemente surgieron dificultades en la manufactura al pretender incorporar todo el potasio como sulfato [150]. En Kenya desde hace mucho tiempo se acostumbra añadir un 6% del potasio total como sulfato de potasio.

En Brasil también se informa que, cuando se emplean dosis elevadas de cloruro de potasio, puede haber un acumulación desmesurado de cloro en la planta [109]. Lluvias abundantes pueden contribuir a disminuir el efecto perjudicial.

Las investigaciones efectuadas en Costa Rica han puesto en evidencia que efectivamente el  $\text{Cl}^-$  se acumula en las hojas del cafeto cuando se usa muriato de potasio [61]. En la investigación en referencia se observó que, como efecto directo de las dosis empleadas, la concentración de  $\text{Cl}^-$  aumentó rápidamente después de la primera semana luego de aplicar 80 g de ClK/arbusto; dosis menores no acusaron incrementos importantes. Después de la tercera semana la concentración de  $\text{Cl}^-$  alcanzó los valores postulados en Colombia como desfavorables, o sea de 2000 ppm [79]. El tenor en las hojas se mantuvo por encima de 2400 ppm durante los dos meses siguientes a su aplicación al suelo. Transcurrido este periodo se observó una disminución marcada. En ningún momento se manifestaron en las plantas experimentales adultas y en condiciones de campo, síntomas de toxicidad de cloro.

Investigaciones previas, efectuadas en Brasil también en plantaciones adultas, pusieron en evidencia que en el cafeto existe una relación entre la concentración de cloro en las hojas, la reducción del crecimiento, necrosis y defoliación [55].

Investigaciones realizadas en Colombia sobre el efecto de las fuentes de potasio permitieron concluir que la producción fue mayor en aproximadamente 700 kg de café pergamino seco/hectárea/año como respuesta a sulfato de potasio [150]. Este tema ha sido objeto de análisis y revisión [15].

## 5.7 Respuesta a magnesio, calcio y azufre

### Magnesio

Resulta fácil provocar un desequilibrio en el suelo en la relación K/Mg por la adición periódica del primero. De acuerdo con la literatura, existe disponibilidad aceptable cuando el cociente Ca/Mg cae entre 2 y 4, pero si es mayor que 4 debe recomendarse la aplicación adicional de magnesio o incluirlo en las fórmulas compuestas [97]. Usualmente, un contenido de 3-6%, expresado como MgO en los fertilizantes compuestos, produce resultados satisfactorios. Si en lo avanzado del periodo de reproducción el cafeto no absorbe las cantidades que necesita de magnesio del suelo, la aplicación al follaje debe ser recomendada [24]. La disponibilidad de calcio y magnesio es baja en condiciones de alta acidez o sea cuando el Hp excede de 0.5 me % [97].

En Costa Rica y Colombia los fertilizantes para café por lo general incluyen magnesio, cuya deficiencia se manifiesta cuando la producción es alta. En la Figura 5.3 se reproducen datos experimentales que ponen de relieve la importancia del suministro de magnesio en la producción del cafeto, tipificado en el paralelismo que existe

entre la producción, el suministro al suelo y la concentración en las hojas.

En Kenya usan como fuentes de magnesio la magnesita calcinada, la cal dolomítica, el sulfato de magnesio y el nitrato de magnesio. El escogimiento de la fuente depende del pH del suelo. En suelos de  $\text{pH} > 5.4$  la fuente recomendada es el sulfato de magnesio (kieserita). Cuando la reacción del suelo es inferior a  $\text{pH} 5.4$  se recomienda la aplicación de magnesita calcinada. Respecto a la relación  $\text{K}:\text{Mg}:\text{Ca}$  en Kenya se sugiere que idealmente el equilibrio ha de ser 1:2-3:4-6. En los suelos donde se espera respuesta, el suministro ha de ser del orden de 230 kg de magnesita o de 460 kg/ha de sulfato de magnesio con 27% de  $\text{MgO}$ . La magnitud de las relaciones  $\text{Mg}/\text{K}$  y  $\text{Ca}/\text{K}$ , también deben ser usadas como elementos de juicio.

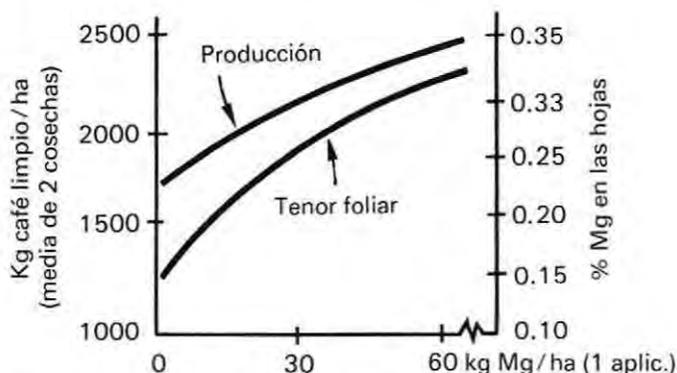


Figura 5.3 Suministro de magnesio (como sulfato), producción de café y concentración foliar [90].

### Calcio

El uso de compuestos de calcio para modificar la reacción del suelo con el propósito de obtener incrementos de producción aparentemente no ha tenido éxito en cafetos. Además se sabe que el suministro de altas dosis puede alterar la nutrición del café en hierro y manganeso. La aplicación de cal sin diagnóstico previo de laboratorio ofrece riesgos. Si la capacidad de intercambio de cationes es baja, puede saturar fácilmente el complejo coloidal y se provocaría un desplazamiento de cationes, como potasio, magnesio, manganeso y otros, induciendo la deficiencia de éstos [123].

De acuerdo con la experiencia ganada en Puerto Rico [3, 123] y al comparar ésta con la que consta en la literatura, se concluye que el café se desarrolla mejor en suelos ácidos, pues inclusive aplicaciones de 10 t/ha de cal no produjeron aumentos de producción, aunque sí hubo un incremento de calcio en las hojas [3]. Resultados similares han sido obtenidos en El Salvador, en donde se ha encontrado que la disminución de la acidez no mejora la producción [11]. En otros ensayos al corregir la

reacción del suelo disminuyó significativamente la producción [46]. En Colombia tampoco se ha observado respuesta favorable del café por la adición de cal agrícola [80]. En Costa Rica las aplicaciones de calcio sólo en un caso (interacción N/Ca) dieron resultados significativos.

En la literatura se cita que cuando el suelo contiene más de 400 kg/ha de calcio, la respuesta al encalado es poco probable [8]. La adición se considera útil para corregir los síntomas severos de toxicidad de manganeso [3].

La investigación de los últimos años ha puesto especial énfasis en el uso de calcio para mejorar los aspectos fundamentales relacionados con el pH del suelo: a) equilibrar la relación Ca:Mg:K y b) elevar la fertilidad integral del suelo. Estos dos aspectos inducen condiciones sorprendentemente buenas en suelos de baja fertilidad [26, 77, 146]. El calcio mejora la respuesta al fósforo [146] y, en presencia de nitrógeno, produce un efecto sinérgico, llevando a una interacción N x Ca [25]. En la Figura 5.4 se aprecia la correlación hallada entre la disponibilidad de calcio en el suelo y la productividad del café [90]. El efecto beneficioso de la adición de calcio + NPK se ha manifestado con singular claridad en experimentos realizados en Brasil [109]. Los resultados de estos ensayos se transcriben en el Cuadro 5.15. De los datos así obtenidos se concluyó que el encalamiento del área total y/o en la «cova» produce excelentes resultados con el café Catuai en suelos de «cerrado», de baja fertilidad.

A pesar de los resultados experimentales reportados entre 1950 y 1970, que la corrección del pH con calcio no favorece la productividad del café, en el Estado de Paraná/Brasil se encontró que los suelos más productivos presentan un pH entre 6 y 7 (Figura 5.5), que los de menor producción están comprendidos entre pH 4.5 y 5.5 [89].

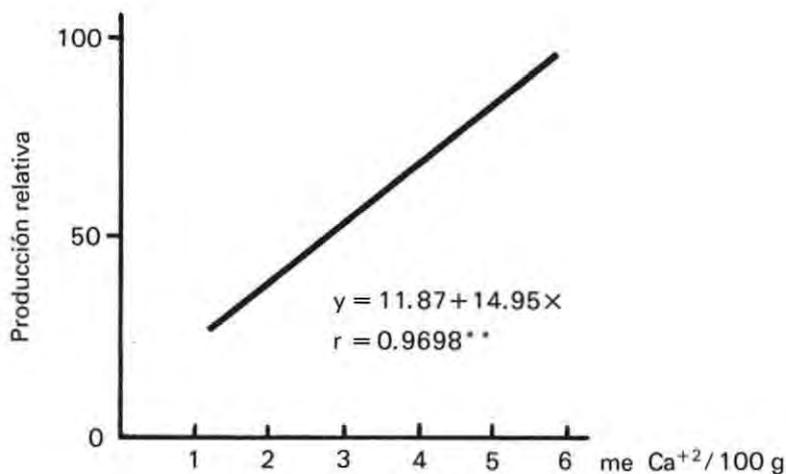
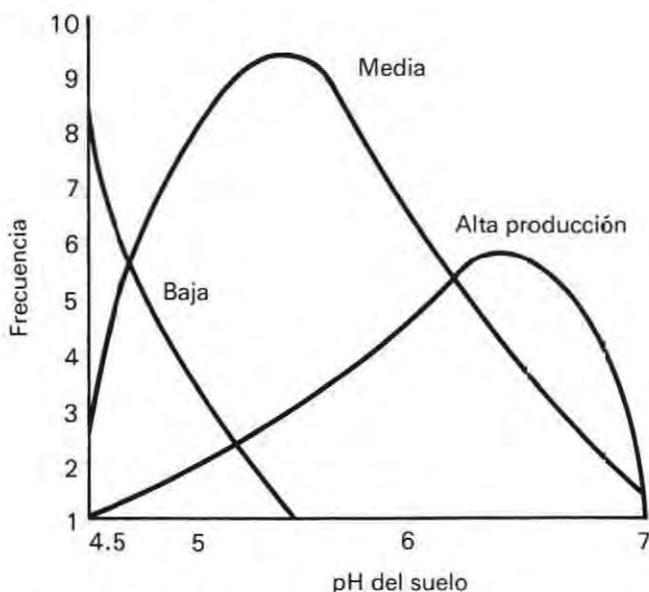


Figura 5.4 Relación entre el calcio en el suelo y la producción del café [90].

**Cuadro 5.15** Mayor producción, en sacos de café beneficiado por hectárea, en función de la aplicación de dolomita [57]\*

Tratamientos	1979	1980	media
I. Encalamiento en el área total incorporado a 20 cm	9.38	24.60	16.99 ab
II. Encalamiento en la «cova»	6.76	22.80	14.78 ab
III. Encalamiento en el área total + encalamiento en la «cova»	10.96	28.80	19.88 a
IV. Pulverización con calcio líquido quelatizado, sin encalamiento magnésico al suelo	4.68	20.70	12.69 b
V. Testigo	2.09	1.30	1.69 c

\* Resultados obtenidos en un latosol rojo oscuro distrófico (fase «cerrado»). El análisis reveló la necesidad de aplicar 2.6 t/ha de dolomita, en función de contenidos de  $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$  de <0.8 me. y de 0.7 me. de  $\text{Al}^{+3}$ .



**Figura 5.5** Relación entre pH y producción del caféto [89].

### Azufre

La respuesta al azufre ha sido muy espectacular en El Salvador desde los primeros estudios realizados en la década del 60. En Brasil la respuesta también es muy generalizada, en donde el uso de yeso, además de otras fuentes de sulfato, es de rutina para prevenir estados de deficiencia. La Figura 5.6 presenta la relación entre la aplicación de azufre al suelo, hallada en el Brasil, y su efecto en la cosecha.

Se concluye que las fórmulas de los fertilizantes para café deben ser manufacturadas de preferencia incorporando las fuentes de potasio y magnesio mayoritariamente como sulfatos. Se acota en el sentido de que el poder de retención de  $\text{SO}_4^{-2}$  por el suelo no es fuerte y que el requerimiento por el café es semejante al de magnesio.

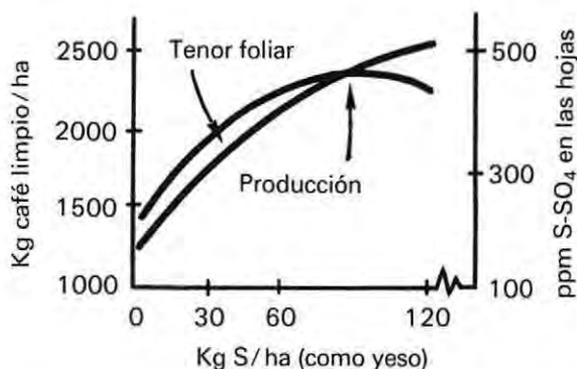


Figura 5.6 Efecto del azufre en la producción del café y concentración foliar de sulfato [90].

## 5.8 Método y época de aplicación de los fertilizantes

La fracción disponible de los elementos minerales que se aplican al suelo depende de la solubilidad de las fuentes fertilizantes y del remanente que escapa a la fijación química y biológica por parte del suelo y al lavado por el agua.

### *Método de aplicación*

El método de aplicación que se debe seguir, ya sea de colocación superficial al «voleo» o incorporado (a «espeque» o en banda de 7–10 cm de profundidad) depende de la solubilidad de los compuestos fertilizantes. En este particular, las fuentes de nitrógeno exhiben todas una alta solubilidad y una excelente movilidad dentro del suelo. Los fertilizantes potásicos también tienen alta solubilidad, pero su disponibilidad para las plantas depende de la cantidad y del tipo de arcilla predominante que conforman el suelo. Si predomina la caolinita, como en el caso de los «cerrados» del Brasil, el potasio no es retenido en el suelo que, en este caso, se comporta como los suelos arenosos. De predominar ilitas, por el contrario, (y también algunos alófanos de suelos volcánicos) el potasio puede ser fijado en cantidades a veces considerables. El comportamiento del fósforo, por otro lado, es diferente. No precisamente por la solubilidad aceptable de la mayoría de las fuentes comerciales, sino por la disponibilidad del ion fosfato una vez que se solubiliza ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ó  $\text{HPO}_4^{-2}$ ), dependiendo de la reacción del suelo.

Las investigaciones sobre absorción de fósforo marcado ( $^{32}\text{P}$ ) efectuadas en Costa Rica han puesto en evidencia que la aplicación cubierta con una capa de tierra de poco espesor resulta ser superior a la aplicación en banda a 8 cm de profundidad [135]. En este ensayo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos sino hasta 52 días después de que se aplicaron (Figura 5.7). Experimentos posteriores en cinco localidades pusieron en evidencia que el origen del suelo influye en la cantidad de fósforo que el café absorbe a partir del fertilizante [60].

El aumento de la radioactividad ha sido observado también en Kenia, en donde han encontrado que la inyección de  $^{32}\text{P}$  en la región del suelo de mayor actividad radicular induce una distribución uniforme en los arbustos [116]. La aplicación en banda o en círculo alrededor de la planta fue igualmente eficiente. La zona de mayor actividad de las raíces del café aparentemente está localizada entre 30 y 85 cm de distancia del tronco [115]. Este trabajo ha puesto de relieve que la absorción es mayor durante los meses de abril-mayo y menor en julio y agosto. El período de máxima absorción de fósforo coincidió con el lapso de mayor velocidad de crecimiento [115] y también se encontró, que la mayor parte de las raíces blancas permanecen sin suberizar hasta por dos años, muriendo solo algunas [69]. La investigación con  $^{32}\text{P}$  ha señalado consistentemente que la aplicación superficial del fertilizante induce mayor actividad de fósforo radioactivo en las hojas [12, 85, 135]. No obstante, a largo plazo, la aplicación en banda a 7-10 cm de profundidad resulta muy satisfactoria [21].

En síntesis, la aplicación de fertilizantes nitrogenados y potásicos puede hacerse en la superficie del suelo, en banda o al voleo, con el cuidado de que el diámetro del

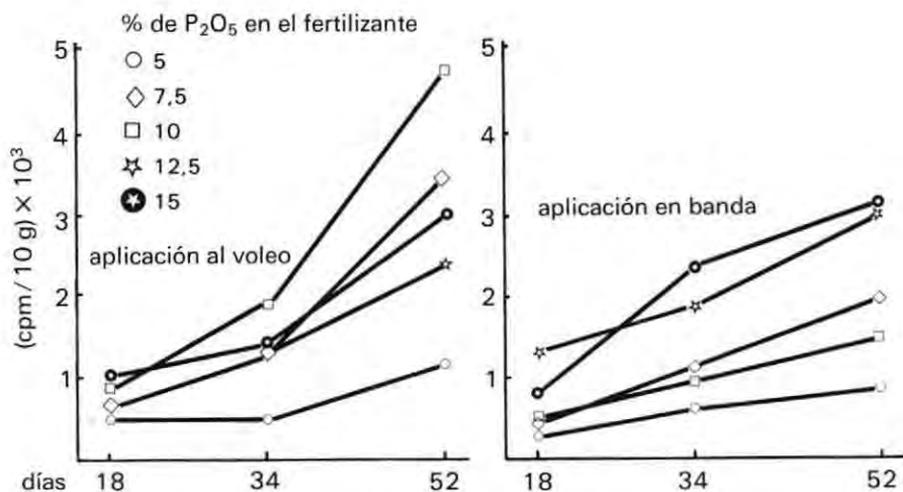


Figura 5.7 Variación del contenido foliar de  $^{32}\text{P}$  en función del tiempo transcurrido desde la aplicación [135].

círculo de aplicación sea igual o menor que la circunferencia que forman las ramas, sin que el fertilizante llegue a estar en contacto con el tronco. La aplicación de fertilizantes fosforados o de fórmulas compuestas debe hacerse de preferencia en banda, a una profundidad de 7-10 cm. Cuando se aplica fertilizantes en suelos de fuerte pendiente se recomienda hacer la aplicación en semicírculo en la parte alta del suelo.

### *Epoca de aplicación de los fertilizantes*

La época más adecuada para la aplicación de abonos al café ha sido objeto de mucho estudio. Se coincide en la opinión de subdividir la dosis de nitrógeno en tres aplicaciones por año y en dos las de fósforo y potasio (una sola aplicación es menos común). La primera al inicio de la estación húmeda y, aproximadamente dos meses después, se aconseja suministrar fórmulas que contienen NPK con algún suplemento de magnesio y boro, si fuese necesario. La tercera aplicación, de nitrógeno solo, recomiendan hacerla al final de la estación lluviosa. Esta modalidad, practicada en la mayoría de los países, presenta una excepción en Kenya, en donde la aplicación de nitrógeno se aconseja hacerla cuatro veces al año, dependiendo de la región [146].

Los estudios que se han hecho respecto a las relaciones nutritivas, que se transcriben en el Capítulo 6, permiten definir mejor la época más apropiada de aplicación [24]. En las Figuras 6.1 y 6.2 se aprecia que cada nutrimento está sujeto a un modelo de absorción propio. A menudo las curvas de absorción señalan épocas de mayor intensidad, que han de tenerse como puntos de referencia para definir la época de aplicación más conveniente. La representación esquemática (Cuadro 6.2) destaca el hecho de que durante el período inmediato posterior a la ántesis tiene lugar una absorción más o menos alta y simultánea de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. En este momento la planta absorbe nitrógeno en cantidades comparativamente mayores, también durante la maduración de la cosecha, mientras que a prefloración la planta absorbe mayores cantidades de potasio.

### **5.8.1 Efecto residual de los fertilizantes**

El acumulamiento de nutrimentos en la «banda de fertilización» del café es un hecho comprobado [20, 23, 154]. En la Figura 5.8 se muestra el efecto residual del nitrógeno en la «Serie de Suelos Alajuela» en Costa Rica. Nótese que existe un acumulamiento lineal positivo en función del suministro. Un efecto similar se aprecia en las Figuras 5.9 y 5.10 que muestran los datos que se obtuvieron al estudiar el efecto residual de superfosfato triple y de cloruro de potasio, en el mismo suelo. La verificación de este hecho es de mucha importancia para el inversionista.

La experiencia del autor en relación al efecto residual del primer abonamiento con una fórmula a base de N-P-K-Mg-B (fórmula 20-7-12-3-1.2), en un Andosol, fue la siguiente:

- a) El acumulamiento de formas nitrogenadas ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) fue de tendencia positiva

- b) el fósforo soluble en  $H_2SO_4$  0.1 N mostró un efecto residual importante
- c) no se registró aumento de potasio intercambiable
- d) el contenido original de calcio y magnesio mostró una tendencia a bajar (23 y 30%, respectivamente)
- e) el manganeso intercambiable aumentó prácticamente en un 100%
- f) el contenido de aluminio de cambio aumentó significativamente
- g) la reacción del suelo viró a más ácida, significativamente.

En esta investigación se trabajó con dosis variables de la fórmula en referencia con y sin suplemento nitrogenado. El nitrógeno se suplió como nitrato de amonio y urea; el fósforo como fosfato de amonio y el potasio como  $ClK$ , el magnesio como sulfato y el boro como razorita. El efecto residual se midió 5 y 8 meses después de la última aplicación, según los tratamientos, al inicio de la estación lluviosa del año siguiente [134].

En Costa Rica se realizaron experimentos para averiguar el efecto de las aplicaciones de N, P y K sobre la acumulación de estos nutrimentos en el suelo, interrumpiéndose el suministro en 1963, después de seis años consecutivos de aplicación [23] (Cuadros 5.16 a 5.18). Se encontró que la fracción nítrica decae más rápidamente que la amoniacal. En 18 meses se registró una pérdida del 80% del nitrógeno. El fósforo disminuyó únicamente en cuanto a la fracción soluble en  $H_2SO_4$ . En un lapso de 10 meses se había perdido el 50% del potasio previamente acumulado.

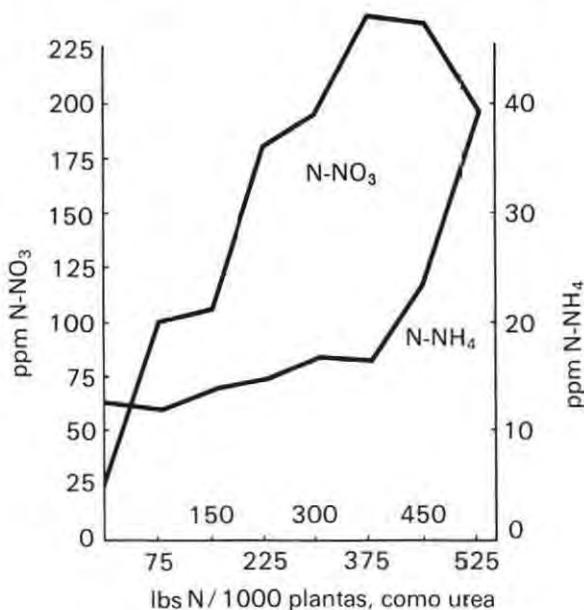


Figura 5.8 Contenido de nitrógeno en la banda de fertilización del café después de aplicar urea por seis años [23].

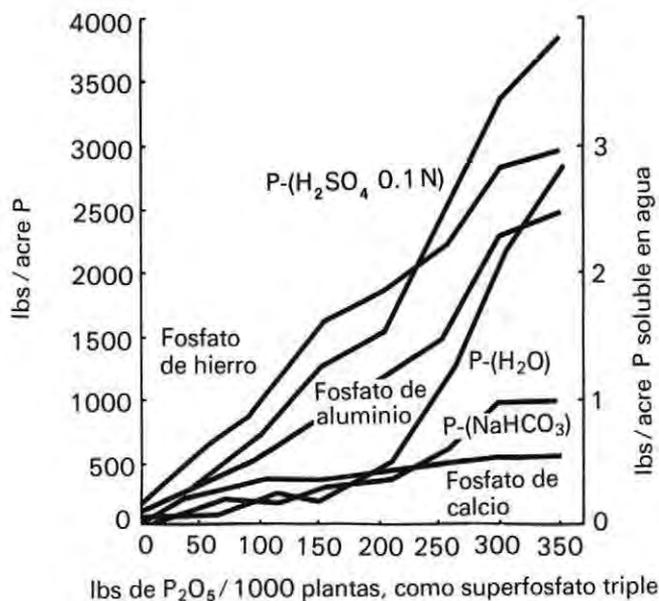


Figura 5.9 Fraccionamiento del fósforo en la banda de fertilización del café después de seis años de abonamiento con fosfato [23].

Cuadro 5.16 Acumulación y pérdida de nitrógeno\* en la banda de fertilización del café

Tratamientos kg N/1000 plantas	ppm $\text{NH}_4^+$		ppm $\text{NO}_3^-$	
	mayo 1964	junio 1965	mayo 1964	junio 1965
Testigo	12**	11***	25**	38***
34	12	13	100	31
69	14	13	105	34
103	15	14	182	35
138	17	14	196	37
172	16	15	242	41
207	24	15	236	42
241	39	16	194	48

\* Con aplicación simultánea de 92 y 184 kg/1000 plantas/año de  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , respectivamente

\*\* Muestra de «entre calle»

\*\*\* Muestra de «banda» de plantas borde

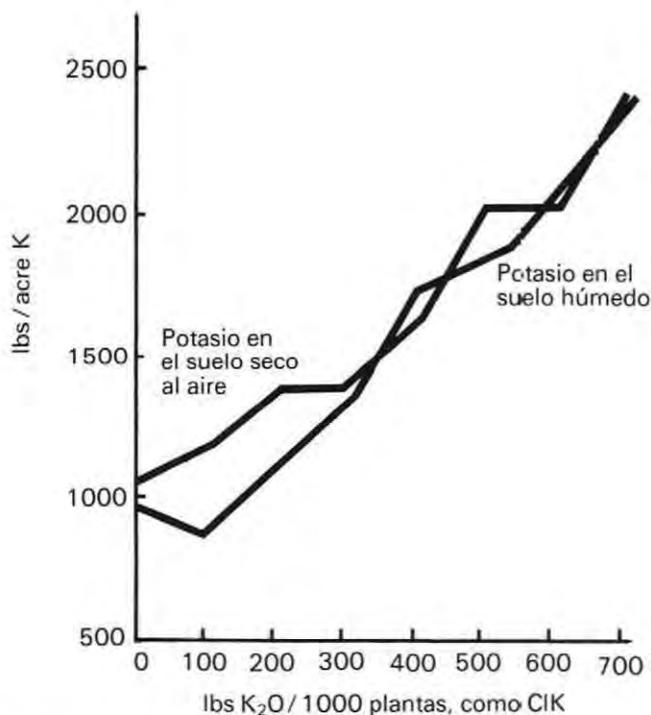


Figura 5.10 Acumulación de potasio en la banda de fertilización del cafeto después de seis años de abonamiento [23].

Cuadro 5.17 Acumulación y pérdida de fósforo\* en la banda de fertilización del cafeto

Tratamientos kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /1000 plantas	ppm fósforo soluble					
	mayo 1964			junio 1965		
	H <sub>2</sub> O	NaHCO <sub>3</sub> 0.5 M	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.1 N	H <sub>2</sub> O	NaHCO <sub>3</sub> 0.5 M	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0.1 N
23	0.15	69	173	0.15	82	190
46	0.19	99	370	0.26	129	288
69	0.18	198	632	0.97	186	437
92	0.21	183	765	1.00	244	579
115	0.53	280	1208	1.07	362	714
138	1.02	486	1665	1.27	416	779
161	1.41	486	1912	1.94	498	883

\* Con aplicación simultánea de 138 y 184 kg / 1000 plantas/año de N y K<sub>2</sub>O, respectivamente

Cuadro 5.18 Acumulación y pérdida de potasio\* en la banda de fertilización del café

Tratamientos kg K <sub>2</sub> O/1000 plantas	Potasio intercambiable (ppm)	
	mayo 1964	junio 1965
46 .....	585	248
92 .....	689	295
138 .....	690	380
184 .....	816	420
230 .....	1006	485
276 .....	1010	463
322 .....	1189	475

\* Con aplicación simultánea de 138 y 92 kg de N y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/1000 plantas/año, respectivamente

## 5.9 Fertilización y poda *versus* producción bienal

La producción bienal del café, influida por el clima, depende, además, del número y edad de las ramas productoras y del suministro de fertilizantes [42]. En Hawái se obtuvo el mejor promedio de producción cíclica con cuatro ramas, con una diferencia de edad de un año entre sí. La densidad de siembra también contribuye. El arbusto de tres años o las ramas ortotrópicas de edad similar, están en la mejor predisposición para producir altas cosechas.

El programa de fertilización debe combinarse con sistemas de manejo de las plantaciones que garanticen renovación periódica severa de la madera de producción. En el Cuadro 5.19 se transcribe un criterio de abonamiento sugerido en Costa Rica para plantaciones donde se practica poda por calle (poda B.F. de Hawái modificada). A las hileras que les corresponde iniciar el ciclo por primera vez se les suministra únicamente una «dosis de mantenimiento» durante el año precedente, o sea se suprime el tercer abonamiento. Para mayor información se sugiere consultar más literatura [121, 122].

Cuadro 5.19 Dosis de fertilizantes (gramos/planta) de acuerdo a la edad de los brotes producto de recepa por calle a ciclo de 5 años [122]

Abonamiento	Edad de los brotes					Promedio anual* kg/ha
	1 <sup>er</sup> año	2 <sup>o</sup> año	3 <sup>er</sup> año	4 <sup>o</sup> año	5 <sup>o</sup> año	
Primero (fórmula N-P-K-Mg-B)	0	45	90	45	90	300
Segundo (fórmula N-P-K-Mg-B)	45	45	90	45	90	350
Tercero (nitrógeno, 33.5% N)	45	45	90	45	0	250

\* Calculados para una densidad de siembra de 5720 plantas/ha

## 5.10 Abonamiento foliar

El abonamiento por vía foliar es muy valioso para corregir deficiencia de nitrógeno y de aquellos micronutrientes que por razones técnicas no pueden ser suministrados al suelo.

El uso de agroquímicos para el control fitosanitario permite añadir a las mezclas compuestos que contienen nutrientes esenciales [50].

### 5.10.1 Nitrógeno

La absorción de nitrógeno se ha estudiado con base en la velocidad de entrada de la urea en las hojas del café [16]. Se ha encontrado que la penetración por el envés ocurre mucho más rápido que por el haz y que en las hojas jóvenes, en general tiene lugar con mayor prontitud que en las viejas. La entrada por el envés de las hojas viejas equivale a la penetración por el haz en las jóvenes. Una representación de estos hallazgos da la Figura 5.11.

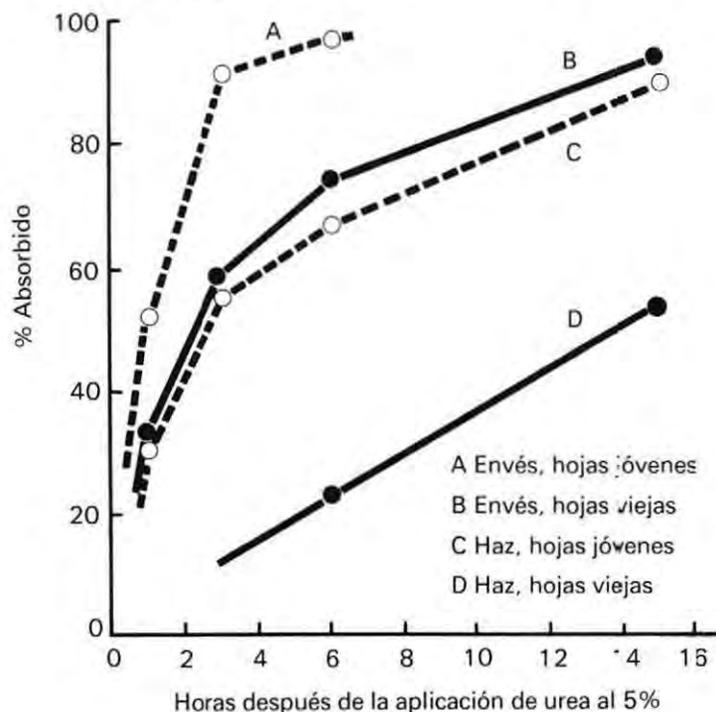


Figura 5.11 Absorción de urea por las hojas del café [16].

Los investigadores han demostrado que el  $^{14}\text{C}$  de la urea se mueve fácilmente vía floema, posiblemente en forma de sacarosa [117]. La penetración rápida de la urea en las hojas del cafeto ha sido ratificada por varios investigadores [16, 84, 86]. Con relación al provecho que se obtiene al aplicar urea por vía foliar, la información procedente de Kenya indica que, bajo determinadas condiciones, resulta igual que la aplicación al suelo [70].

En Brasil se investigó el efecto de la aplicación de urea mediante análisis foliar [83]. Los resultados indican que el contenido de nitrógeno sube considerablemente. Las investigaciones efectuadas en la India revelan que la máxima absorción de urea por las hojas del café ocurre dentro de las 48 horas después de la aplicación [74] y que la concentración máxima se ubica alrededor de un 5%, para no causar daños.

La aplicación de fertilizantes foliares que contienen NPK resulta beneficiosa en Kenya [72]. Se ha demostrado que la aplicación, a concentraciones de 0.5-1% (600 a 1200 g de un 15-15-15-6 + micronutrientes/100 litros), a cafetos en producción, es particularmente beneficiosa en épocas de sequía. Pese a los resultados positivos, que constan en la literatura con respecto al uso de NPK foliar, se reporta del Brasil que este no tuvo influencia en la producción de cafetos adultos [92], dado que, en comparación con el total requerido, las cantidades de NPK aplicadas por vía foliar son prácticamente insignificantes.

### 5.10.2 Fósforo

Se reportó que la penetración del fósforo en las hojas del cafeto ocurre con lentitud [117], en contraste con lo hallado en otras especies [9]. Aparentemente el movimiento es lento a través de la cutícula de las hojas. Investigaciones realizadas en el Brasil, sin embargo, han demostrado que el  $^{32}\text{P}$  penetra con facilidad en las hojas, ocurriendo posteriormente la distribución, que es más intensa hacia los tejidos metabólicamente activos [85].

La absorción de  $^{32}\text{P}$  también fue estudiada en cafetos tiernos, usándose distintas fuentes de P:  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  y  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , así como varios tipos de surfactantes catiónicos, aniónicos y no iónicos [14]. Aquí quedó demostrado que los surfactantes ayudan a la absorción de P y que su efecto continúa por un periodo relativamente largo. Quedó demostrado, asimismo, que el fosfato monoamónico ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ) es absorbido por cafetos jóvenes con mayor rapidez que los demás productos ensayados.

El uso de superfosfato para aspersiones foliares ha sido hallado benéfico a concentraciones entre 0.5 y 1% [74].

La absorción y traslación en sentido basípido y lateral de los iones del superfosfato aplicado al follaje ocurre en mayor grado en *C. arabica* que en *C. canephora* [62].

### 5.10.3 Potasio

El aprovechamiento del potasio por el cafeto, vía foliar, fue estudiado en el Brasil, donde se probó la bondad de distintas fuentes:  $\text{NO}_3\text{K}$ ,  $\text{SO}_4\text{K}_2$  y  $\text{ClK}$  [110]. Los

estudios tuvieron por objeto comparar la eficiencia de dosis bajas, media y altas, a razón de 2.25, 4.5 y 9 g de  $K_2O/1$ /arbusto de 4 años, variedad Mundo Novo. Estos tratamientos no causaron daños a los cafetos. Al analizar el contenido de K foliar se encontró que en la dosis más baja el  $NO_3K$  resultaba mejor que los demás abonos. Para las otras dosis el comportamiento de los tres abonos fue semejante. En la dosis más alta se observó una ligera ventaja del  $SO_4K_2$ . De acuerdo con los resultados obtenidos se recomienda aplicar 4.5 g de  $K_2O$ /planta.

#### 5.10.4 Magnesio, calcio y azufre

La absorción de magnesio fue estudiada en función de distintas fuentes: sulfato, nitrato y cloruro de magnesio [40]. El nitrato resultó más tóxico que el cloruro o el sulfato y la concentración máxima que toleran los cafetos es de 2‰ de magnesio elemental.

Al usar cloruro de calcio, los investigadores hallaron que el Ca no se traslada fuera de las hojas. En el café se comporta igual [117].

Con el uso de  $^{35}SO_4K_2$  se halló que todo el azufre penetra en las hojas del café [39]. De allí es trasladado especialmente hacia las hojas nuevas de la parte superior. La traslación basípeta es menos importante. La aplicación foliar de azufre ocurre a menudo con la aplicación de sulfatos de magnesio, manganeso, zinc o cobre.

#### 5.10.5 Micronutrientes

El café es muy susceptible a la deficiencia de boro, zinc y manganeso. Antes de la década del 50 la fertilización, por lo general en cantidades bajas, no incluía la adición de oligoelementos esenciales. Sin embargo la investigación en este sentido ha cobrado mucho interés. En Costa Rica las investigaciones que se hicieron con boro y zinc marcaron un hito respecto a la importancia que posteriormente se les dio. Se sumaron a la lista investigaciones con hierro y manganeso. Como resultado de estos estudios, la caficultura costarricense hace uso desde hace muchos años en forma periódica de boro y zinc en la nutrición del café.

En Colombia el uso de boro es prácticamente común denominador en las fórmulas de los fertilizantes para café, y en Brasil se concede en el presente gran importancia al control de los estados de insuficiencia que se presentan en el campo respecto a boro, zinc, manganeso, hierro, e inclusive cobre [32, 44]. En los suelos de «cerrado» la investigación que se realiza indica que la deficiencia de zinc puede ser corregida mediante aplicación directa al suelo.

Aparentemente *C. arabica* es particularmente exigente en boro y zinc. En esta especie, su deficiencia afecta tanto al ciclo vegetativo como al reproductor. En las Figuras 5.12 y 5.13 se aprecia el resultado de investigaciones realizadas con ambos elementos.

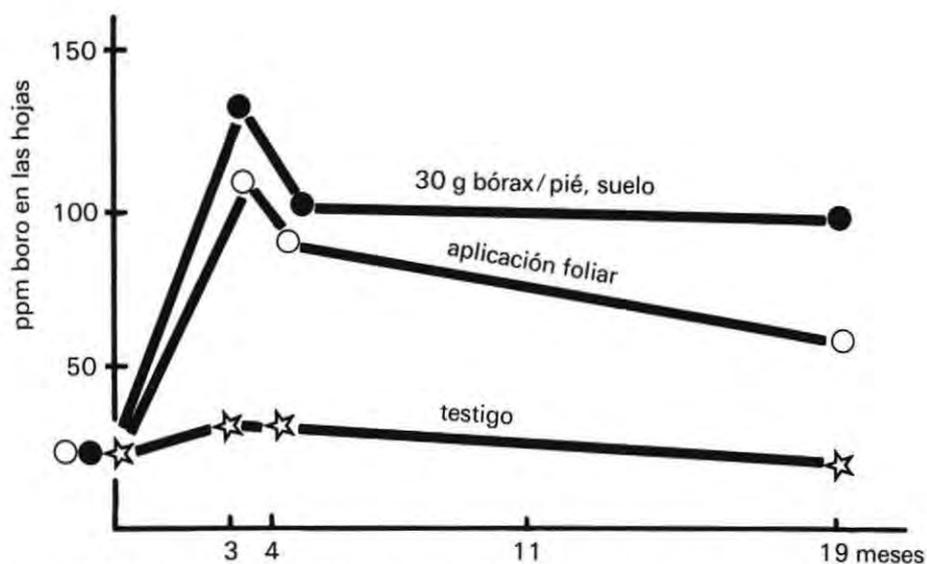


Figura 5.12 Aprovechamiento del boro en función del modo de aplicación [90].

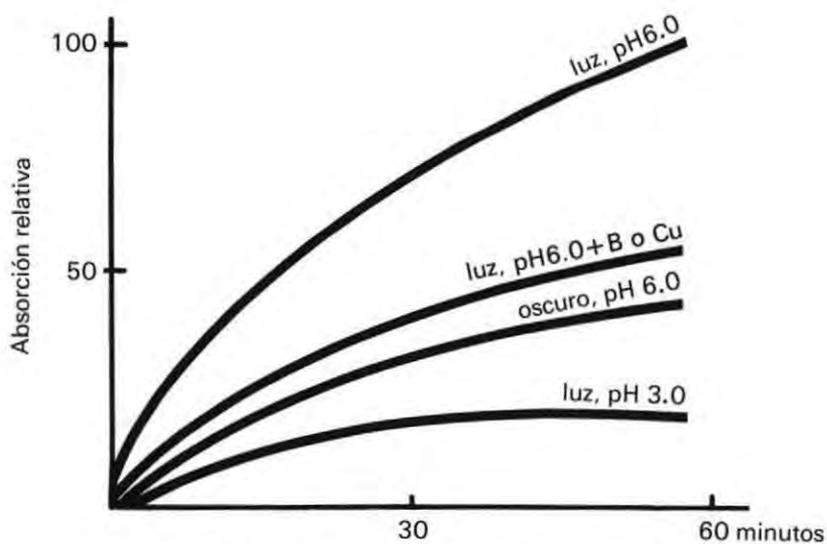


Figura 5.13 Influencia de algunos factores en la absorción de zinc por las hojas a 30 °C [90].

### 5.10.6 Corrección de deficiencias de oligoelementos

Seguidamente se mencionan algunas fórmulas útiles para corregir deficiencias específicas. La frecuencia de aplicación depende en cada caso de la apariencia que muestran las plantas.

#### *Boro (B)*

- a) Atomización: Poliboro, 1.3–2.5 kg/ha
- b) Espolvoreos: Poliboro, 2.3 kg con 44 kg de diatomita
- c) Aplicación al suelo: Razorita (pentaborato de sodio –  $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ , con 65% de  $\text{B}_2\text{O}_3$ ): 15–30 g/planta adulta

#### *Cobre (Cu)*

- a) Atomización: Sulfato de cobre, solución en agua al 0.2%. Puede usarse otros compuestos de cobre que, simultáneamente, sirven como fungicidas: Hidróxido cúprico, 2–4 kg/ha u oxiclورو de cobre a razón de 1.5–3 kg/ha

#### *Hierro (Fe)*

- a) Aplicación al suelo: EDTA-NaFe (monosodio férrico, con 15.5% de Fe), a razón de 25 g/arbusto/año

#### *Manganeso (Mn)*

- a) Atomización: Sulfato de Mn ó cloruro de Mn a razón de 2–4 kg/ha, c. u.

#### *Zinc (Zn)*

- a) Atomización: Oxisulfato de zinc, 2–4 kg/ha ó sulfato de zinc neutro en cantidades similares y nitrato de zinc (104)
- b) Espolvoreo: Oxisulfato de zinc 7 kg con 39 kg de diatomita

Algunas de las sales mencionadas pueden ser sustituidas por quelatos. Su uso es eficiente, pero costoso.

Las dosis que se sugieren para atomización corresponden a aplicaciones con equipos de alto y bajo galonaje, respectivamente. En todos los casos se recomienda añadir a las soluciones algún compuesto adherente – humectante.

Cuando se emplean varias sustancias juntas en la solución por atomizar debe tomarse en cuenta la compatibilidad de los compuestos. La aplicación de quelatos al suelo (de cobre, hierro, manganeso y zinc) han resultado en aumentos significativos de la producción [94]. Se ha reportado que el café absorbe tan sólo el 1% del zinc aplicado al suelo, mientras que cuando se suple por vía foliar absorbe hasta un 50%.

El uso simultáneo de cobre y zinc en atomización foliar para aprovechar su adición cuando se combate la Roya, disminuye la absorción del zinc. Para tener éxito se recomienda duplicar la concentración de sulfato de zinc en la solución. En suelos arenosos el zinc se puede aplicar a razón de 2-6 kg del elemento por hectárea, como sulfato u óxido [89].

Respecto a los síntomas de deficiencia de minerales que exhibe el café se cuenta con una excelente crítica de la literatura [105]. Los factores que influyen en la nutrición son de índole diversa y deben tomarse en cuenta al interpretar los datos de laboratorio [51].

## 5.11 Suministro de abonos orgánicos

La utilización de abonos orgánicos es de gran valor cuando se cuenta con los materiales a discreción o bien cuando se pueden adquirir a bajo costo. Su empleo en plantaciones de café es particularmente ventajoso en suelos erodados y poco fértiles. En los suelos buenos no se observa respuesta a la aplicación de materia orgánica. En Brasil se ha probado experimentalmente el efecto del estiércol de corral con el objeto de conocer la interacción que existe con adiciones de nitrógeno, fósforo o potasio solos, o en combinaciones [88]. En estos estudios, la respuesta en la cosecha no se ha manifestado igual en todas las posibles combinaciones. No obstante, se ha observado un efecto favorable al estiércol de corral, particularmente acentuado en los tratamientos sin fertilización y cuando el nitrógeno o el potasio, o ambos, se omiten en los tratamientos. Por otra parte, en Kenya se ha encontrado que no existe interacción significativa, por ejemplo entre el suministro de fósforo o nitrógeno y el estiércol de bovino [70]. La experiencia respecto a la interacción nitrógeno y estiércol de bovino, ha conducido a deducir que las aplicaciones de nitrógeno pueden eliminar el efecto beneficioso del estiércol. Además, se ha encontrado una interacción negativa entre el estiércol y el nitrógeno, ya sea en forma amoniacal o nítrica [70]. Con base en la experiencia adquirida, en Kenya se aconseja añadir solamente la mitad de la dosis de nitrógeno de la que normalmente se aplica a suelos erodados cuando se adiciona a los cafetos estiércol de bovino [129].

En Brasil se ha estudiado la interacción abonamiento mineral, estiércol de corral y estiércol de gallina. Se concluyó que una aplicación de 100 g de cloruro de potasio resulta prácticamente equivalente a 15 kilos de estiércol por arbusto [88]. A pesar de todas las ventajas propias de la materia orgánica, la experiencia acumulada pone énfasis en la importancia del abonamiento mineral para las plantaciones de café en el Estado de São Paulo [82]. La aplicación de abonos verdes, como crotalaria y diversas variedades de frijoles, soya y otros, no han dado resultados satisfactorios [88].

La experiencia reciente obtenida en Brasil señala que el tenor de materia orgánica del suelo experimenta un aumento en parcelas abonadas con estiércol, estiércol + NPK y calcio, así como también en las que recibieron fertilización mineral completa + calcio [31]. En el Cuadro 5.20 se insertan los datos obtenidos.

**Cuadro 5.20** Efecto de la aplicación continuada de fertilizantes orgánicos y minerales sobre el contenido de materia orgánica en un suelo de «Cerrado»

Tratamientos	Contenido de materia orgánica (%)		
	Profundidad de la toma de muestras		
	0-10 cm	10-20 cm	30-50 cm
I. Testigo sin abonamiento	2.43	2.33	2.17
II. Estiércol	3.53	3.0	2.5
III. Estiércol + NPK + calcio	4.6	2.63	2.33
IV. NPK + calcio + micronutrientes	3.87	2.17	2.33
DMS	0.55	0.52	0.33
c. v. (%)	5.8	7.0	5.1

La experiencia ganada en Brasil desde la década del 30 respecto al uso de estiércol de corral, aplicado a razón de 10 kg (peso seco)/cafeto/año, señaló que casi siempre conduce a resultados satisfactorios en la producción de café y que son mejores cuando se complementan con fertilizantes [109]. En suelos muy deficientes en potasio la pulpa de café puede sustituir al estiércol.

A pesar de las ventajas que representa el uso de abonos orgánicos, como aserrín de madera, bagazo de caña o cascarilla de arroz, su uso puede inducir una fuerte deficiencia de nitrógeno, cuando la relación C/N es alta y el material es pobre en nitrógeno.

La experiencia obtenida en Brasil a largo plazo (1955-1971) en relación al uso de fertilización mineral y orgánica en el café, permitió concluir que existe un efecto altamente significativo para el uso de nitrógeno y estiércol. En este ensayo, el estiércol se aplicó a razón de 40 litros/arbusto/año y de nitrógeno, 450 g de sulfato de amonio subdivididos en 3 aplicaciones. En este suelo, el fósforo y el potasio no afectaron significativamente la cosecha [131].

El uso de pulpa de café como abono para la preparación de almácigos en bolsas de polietileno ha sido investigado en Colombia [98]. Se sabe que el crecimiento máximo de las plantas se obtiene con mezclas de 70 partes de pulpa descompuesta y 30 de tierra, lo cual equivale a mezclar 40 partes de pulpa seca con 60 de tierra. Este último tratamiento se prepara cuando menos 30 días antes de la siembra.

Los estudios efectuados en Brasil sobre fertilización exclusivamente mineral, han permitido concluir que el uso de cantidades elevadas de sales nutrientes no dañan las plantas [53]. Al estudiar el efecto residual del abonamiento mineral y del orgánico se concluyó que en el cafeto existe un marcado efecto residual de nitrógeno cuando se aplica estiércol de corral, mientras que la fertilización mineral induce un mayor efecto residual de potasio [66]. Debido a la acidificación del suelo, propia del efecto residual de la úrea o del sulfato de amonio, este se traduce en un incremento de los contenidos en las hojas de manganeso y de aluminio. La correlación encontrada entre pH del suelo y los dos elementos mencionados, es del orden de  $\gamma = 0.92^{**}$  e  $\gamma = 0.66^{**}$ , respectivamente.

### *Aplicación a suelos erodados*

La adición de estiércol es importante en suelos erodados, pues en los terrenos buenos, las respuestas han sido en general pequeñas o despreciables [70, 129]. La conclusión anterior se basa en que en los suelos erodados la aplicación de sólo 18 litros de estiércol por arbusto por año, aumenta la cosecha significativamente, mientras que en otros casos, aplicaciones hasta cuatro veces mayores han incrementado la cosecha sólo en pequeña cantidad [70]. De ser posible, debe suministrarse también a suelos de textura liviana y de baja fertilidad. Se asume que probablemente es más satisfactorio suministrar dos recipientes de 15 litros/arbusto, una vez cada dos o cada cuatro años. Se recomienda la entrada de las lluvias como una buena época para hacer las aplicaciones. Algunos desechos pueden aplicarse como alternativa con el estiércol común, como, desperdicios de sisal [129]. Se considera que la cantidad a aplicar, de un buen estiércol de gallina, debe ser reducida cuando menos a la mitad, en relación a la de estiércol de bovino y que no debe exceder 30 litros por arbusto. Los desechos de sisal pueden ser usados también como sustitutos del estiércol de bovino, a razón de 30 ó más litros por arbusto adulto [129].

El contenido de nitrógeno en la pulpa del café (broza) se ha estimado que es tres veces más alto que en el abono orgánico de establo [141]. El contenido de fósforo, aun cuando varía según la fuente de información, el promedio no parece ser más alto. La composición química de la pulpa de café se transcribe en el Cuadro 3.3 [20]. Una tonelada de pulpa, como se separa en los «despulpadores» durante el «beneficiado», contiene las siguientes cantidades de nitrógeno, fósforo y potasio:

N	3.74 kg
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.88 kg
K <sub>2</sub> O	7.02 kg

El valor de la pulpa como abono orgánico reside en la cantidad alta de materia orgánica que contiene (arriba de un 99%). El resultado de la investigación favorece su uso como abono [141], según estimaciones que se han hecho, si se aplica una cantidad de 5 a 10 kg/arbusto para abonar una hectárea se requiere la pulpa producida en una plantación de una superficie cinco a diez veces mayor [141].

## 5.12 Referencias

1. *Abruña, F., Vicente Chandler, J. y Silva, S.*: The effect of different levels on yields of intensively managed coffee in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 43 (3), 141–146 (1959)
2. *Abruña, F. y Vicente Chandler, J.*: Effects of six sources of nitrogen on yields, soil acidity, and leaf composition of coffee. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 47 (1), 41–46 (1963)
3. *Abruña, F., et al.*: Effects of liming and fertilization on yields and the foliar composition of high yielding sun-grown coffee in Puerto Rico. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 49 (4), 413–428 (1965)
4. *Aguilar, J.*: Resultados de la fertilización potásica en la producción de café. *Café de El Salvador* 35 (386), 11–24 (1965)
5. *Anacafé (Guatemala)*: Programa de fertilización en el cultivo del café. *Boletín Técnico* N° 2, 7 p. s.f.
6. *Ananth, B.R.*: Algunas tendencias en los ensayos de abonamiento en café. *Indian Coffee* 30 (8), 7–11 (1966)
7. *Anstead, R.D. y Pittock, C.K.*: The varying composition of the coffee berry at different stages of its growth and its relation to manuring of coffee estates. *Planters' Chronicle VIII*, 36, 456–460 (1913)
8. *Baver, L.D.*: Plant and soil composition relationships as applied to cane fertilization. *Hawaiian Planters' Record* 56 (1), 1–153 (1960)
9. *Biddulph, O.*: Diurnal migration of injected radiophosphorus from bean leaves. *Am Jour. Bot.* 28, 348–352 (1941)
10. *Black, S.*: Yeast aldehyde dehydrogenase. *Arch. Biochem. Biophys.* 34, 86–97 (1951)
11. *Bolaños, M.*: Efecto de la aplicación de abono orgánico, cal y un fertilizante amoniacal en el pH del suelo y en la producción del café. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. *Boletín Informativo* N° 50, 5 p. (1963)
12. *Bonnet, J.A., Riera, A.R. y Roldán, J.*: Radioactive studies with  $P^{32}$  in tropical soils and crops of Puerto Rico. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 19, 283–284 (1955)
13. *Borget, M., Deuss, J. y Forestier, J.*: Quelques résultats des essais d'engrais sur *C. robusta* au Centre de Recherches de Boukoko (Rép. Centrafricaine). *Café, Cacao, Thé VII*, N° 1, 22–31 (1963)
14. *Boroughs, H. y Labarca, C.*: The use of wetting agents in foliar nutrition. *Int. J. Applied Radiation and Isotopes* 13, 359–364 (1962)
15. *Bravo, E.*: Fertilización potásica en café. *En: Memorias del V Coloquio de Suelos. Potasio y micronutrientes en la agricultura colombiana. Suelos Ecuatoriales. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. IX (N° 2), 68–75 (1978)*
16. *Cain, J.C.*: Absorption and metabolism of urea by leaves of coffee, cacao, and banana. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 67, 279–286 (1956)
17. *Campos, C.F.*: Nutrición mineral. *En: Departamento de Investigaciones en Café. Treinta años al servicio de la caficultura costarricense. Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica), pp. 1–3, 1980*
18. *Carandang, D.A.*: The effect of fertilizers on the yield of coffee in Matutum, Cotabato. *Philipp. Agric.* 45 (7), 365–370 (1961)
19. *Cartillas Agronómicas: Anacafé (Guatemala). Anexo 3, s.f.*
20. *Carvajal, J.F.*: Nutrición mineral del Café. Requerimientos de la cosecha. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias-STICA Información Técnica N° 9, 16 p. (1959)
21. *Carvajal, J.F.*: Respuesta del café a diversos métodos de aplicación de fertilizantes fosfatados. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias-STICA (Proyecto 30). Informe Anual de Labores 1959, pp. 2–4 (1960)
22. *Carvajal, J.F.*: El diagnóstico del estado de nutrición del café. (*Coffea arabica* L.) con base en la acumulación de nitrógeno y fósforo soluble en las hojas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Documento de Trabajo Ce/65/2. Río de Janeiro, Brasil 14 p., 1965

23. *Carvajal, J.F. y López, C.A.*: Acumulación de nutrimentos en el suelo en función de la fertilización periódica. Universidad de Costa Rica. Laboratorio de Investigaciones Agronómicas. Informe Anual 1964, pp. 13-16 (1965)
24. *Carvajal, J.F., López, C.A. y Acevedo, A.*: Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. Turrialba 19 (1), 13-20 (1969)
25. *Carvajal, J.F.*: Influencia del suministro de nitrógeno en la absorción de algunos minerales por el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Turrialba 24 (1), 20-23 (1974)
26. *Carvajal, J.F.*: El diagnóstico del estado de nutrición de los cultivos. Agronomía Costarricense 2 (2), 175-183 (1978)
27. *Carvajal, J.F.*: Nutrição e adubação do cafeiro na América Central. Ed. T. Yamada. En: Nutrição e Adubação do Cafeeiro. Instituto da Potassa & Fosfato (EUA) Instituto Internacional da Potassa (Suíça). (Brasil), 213-224, 1981
28. *Catani, R.A. y P. De Moraes, F.R.*: A composição química do cafeeiro. Quantidade e distribuição de N, P, O<sub>2</sub>, CaO e MgO em Cafeeiro de 1 a 5 anos de idade. Rev. Agric. (Brasil) 33 (1), 45-52 (1958)
29. *Cavallini, J.A.*: Deficiencia de minerales vs. actividad de la reductasa del nitrato en el cafeito. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía (Costa Rica). Tesis, 65 p., 1972
30. *Cavallini, J.A. y Carvajal, J.F.*: Mineral nutrition and nitrate reductase activity in coffee trees affected by mineral deficiency. Turrialba 28 (1), 61-66 (1978)
31. *Cervellini, G.S.*: Alterações químicas em solo de cerrado. Inst. Agr. Campinas. Bol. Tec. N° 50, 35 p. (1977)
32. *Cervellini, G.S.*: Micronutrientes na adubação do cafeeiro. Ed. T. Yamada En: Nutrição e Adubação do Cafeeiro. Instituto da Potassa & Fosfato (EUA)-Instituto Internacional da Potassa (Suíça) pp. 91-101, 1981
33. *Cool, B.J., Awada, M. y Robinson, R.*: Hawaii Agr. Exp. Sta., Bien. Rept. (1951)
34. *Cool, B.J. y Nakayama, M.*: Hawaii Agr. Exp. Sta. Progress Notes No. 91 (1963)
35. *Cool, B.J., Fukunaga, T. y Awada, M.*: Fertilization of coffee in Kona with special reference to nitrogen nutrition. Hawaii Agr. Exp. Sta., Progress Notes No. 117, 19 p (1958)
36. *Cool, B.J. et al.*: Responses to phosphate in coffee. Hawaii Agr. Exp. Sta., Technical Progress Report 133, 8 p. (1961)
37. *Coste, R.*: La fertilisation du caféier. Les caféiers et les cafés dans le monde. Editions Larose, Paris. Vol. 1. pp. 167-171, 1955
38. *Coussement, S. et al.*: La fumure minérale du caféier d'Arabie au Burundi. Café, Cacao, Thé XIV (2), 105-113 (1970)
39. *Crocomo, O.J. y Neptune Menard, L.*: Estudo sobre a distribuição do <sup>35</sup>S em cafeeiro *Coffea arabica* L. var. Bourbon (1) (2). Anais da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz» 18, 169-182 (1961)
40. *Chanchay, A.G.*: Efecto de la aplicación de magnesio al suelo y a las hojas sobre la concentración foliar de este elemento en el cafeito. Turrialba 17 (2), 182-187 (1967)
41. *De Vuyyst, P.*: La fumure minérale du caféier d'Arabie au Rwanda, 1967
42. *Dean, L.A. y Beaumont, J.R.*: Soil fertilizers in relation to the yield, growth and composition of the coffee tree. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 36, 28-35 (1939)
43. *Deuss, J.*: Rentabilité de la fumure du caféier Robusta d'après les resultats de douze années d'expérimentation au Centre de recherches agronomiques de Boukoko (République Centrafricaine). Café, Cacao, Thé XIII (1), 28-38 (1968)
44. *Diniz de Oliveira, G.*: Adubação não radicular com fontes de zinco, em *Coffea arabica* L. Mundo Novo (B. Rodr.) Choussy. Tesis doctoral. Universidad de São Paulo. Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz» (Brasil), 1980
45. El potasio en las plantas: Guía de Extensión N° 2, Instituto Internacional de la Potasa. CH-3048 Worblaufen-Bern, Suiza, 1980
46. *Espinosa, Flora M. y Tenorio, H.*: Efecto de la aplicación de un fertilizante acidificante y de cal en el pH del suelo y en la producción del cafeito. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. Boletín Informativo. Suplemento N° 17, pp. 1-13 (1962)

47. *Espinosa, Flora M.*: Instituto Nacional de Investigaciones del Café (ISIC). El Salvador. Comunicación Personal, 1968
48. *Evans, H.J. y Sorgen, G.J.*: Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 17, 47-76 (1966)
49. *Farrera, R.E. y Carvajal, J.F.*: Influencia del boro en algunos parámetros de la fisiología del café. Resúmenes II Congreso Agronómico Nacional (Costa Rica). Vol. 1, 60-61 (1976)
50. Foliar fertilization: M/s BASF. *Kenya Coffee* 40, 247-258 (1975)
51. *Forestier, J.*: Valeur du diagnostic foliaire du caféier Robusta. *Café, Cacao, Thé VI* (3), 191-206 (1962)
52. *Franco, C.M. et al.*: Manutenção de cafezal com adubação exclusivamente mineral. *Bragantia* 19 (33), 523-542 (1960)
53. *Franco, C.*: Efeitos de adubações minerais exclusivas e contínuas sobre a fertilidade do solo. *Bragantia* 29, 139-151 (1970)
54. *Franco, C.M.*: Toxicidade de boro ao cafeeiro. *Série Experimentação Cafeeira (Brasil) I* (1), 1-10 (1976)
55. *Furlani, A.M.C. et al.*: Efeitos da aplicação de cloreto e de sulfato de potássio na nutrição do cafeeiro. *Bragantia* 35, 349-364 (1976)
56. *García, A.W.R., Martins, M. y Fioravante, N.*: Fontes e modo de correção da deficiência de magnésio em cafeeiro. *En: Resumos 8º Congresso de Pesquisas Cafeeiras (Brasil)* pp. 53-54 (1980)
57. *García, A.W.R.*: Calagem para o cafeeiro. *En: Nutrição e Adubação do Cafeeiro*. Ed. T. Yamada. Instituto da Potassa & Fosfato (EUA)-Instituto Internacional da Potassa (Suíça), (Brasil) pp. 103-115, 1981
58. *García, A., Jiménez, O.H. y Cruz, R.*: Fertilización del Café. Principios generales. *Circular Técnica Anacafe (Guatemala)* 8 p. (1981)
59. *Gomes, F.P. et al.*: Estudos sobre a alimentação do cafeeiro. XIV Efeitos da adubação e na composição das folhas. *Anais da ESALQ N° 22*, 117-129 (1965)
60. *González, M.A., Carvajal, J.F. y Briceño, J.A.*: Dosificación del fósforo en una fórmula fertilizante para café. Resúmenes II Congreso Agronómico Nacional (Costa Rica). Vol. 1, 61 (1976)
61. *González, M.A. et al.*: Efectos de la fuente de potasio en el acumulación de cloruros y sulfatos en el café. *Agronomía Costarricense I* (1), 31-37 (1977)
62. *Gopal, N.H., Vasudeva, N. y Balasubramanian, A.*: Studies on absorption and translocation of phosphorus using radioactive superphosphate (<sup>32</sup>P) in coffee plants. *J. Coffee Res.* 6 (3/4), 69-75 (1976)
63. *Haeder, H.E.*: The effect of potassium on energy transformation. *En: Potassium Research and Agricultural Production. Proc. 10th. Congr. Int. Potash Institute, Bern* (1974)
64. *Handog, A.S.*: Coffee and Phosphorus. *Coffee and Cacao Journal* 7 (5), 96-97 (1964)
65. *Hiatt, A.J.*: Further studies on the activation of acetic thiokinase by magnesium and univalent cations. *Plant Physiol.* 39, 475-479 (1964)
66. *Hiroce, R., et al.*: Efeito residual do adubação mineral e orgânica na composição química do solo e na composição de folhas de cafeeiro cultivado em Mococa. *Bragantia* 35 (2), CLXIX-CLXXV (1976)
67. *Huerta, A.*: Leaf composition, manuring and production of coffee. *Fertilidade* 23, pp. 42-52 (1965)
68. *Humble, G.D. y Hsiao, T.C.*: Light dependent influx and eflux of guard cells potassium during stomatal opening and closing. *Plant Physiol. (Supplement, abstracts)* 44, 21, N° 97 (1969)
69. *Huxley, P.A. y Turk, A.*: Preliminary investigations with arabica coffee in a root observation laboratory in Kenya. *Kenya Coffee* 41, 349-360 (1976)
70. *Jones, P.A., Robinson, J.B.D. y Wallis, J.A.N.*: Fertilizers, manure and mulch in Kenya coffee growing. *Emp. J. of Exp. Agric.* 28 (112), 335-352 (1960)
71. *Kabaara, A.M.*: Nutritional implications of intensification of coffee production. *Kenya Coffee* 35, 354-355 (1970)

72. Kimeu, B.S.: The effects of NPK foliar sprays on the total dry matter and N, P and K content of potted coffee seedlings. *Kenya Coffee* 35, 383-385 (1970)
73. Kimeu, B.S. y Kabaara, A.M.: The effects of soil applied compound fertilizers on coffee yield, soil properties and leaf macro-nutrients in various coffee smallholdings in Kenya. *Kenya Coffee* 40, 84-95 (1975)
74. Krishnamurthy Rao, W., Iyengar, B.R.V. y Krishnappa Naik, C.S.: Foliar sprays of urea and superphosphate to arabica coffee in South India. *Journal of Coffee Research* 6 (1), 22-25 (1976)
75. Krug, C.A.: World coffee survey. Food and Agricultural Organization of the United Nations (Roma), 292 p., 1959
76. Kumar, D., Tesha, A.J. y Akunda, E.M.W.: The uptake and some physiological roles of potassium in coffee. Proc., Int. Potash Institute Workshop (Nairobi), pp. 126-144, 1979
77. Küpper, A.: Fatores climáticos e edáficos na cultura cafeeira. En: *Nutrição e Adubação do Cafeeiro*. Ed. T. Yamada. Instituto da Potassa & Fosfato (EUA)-Instituto Internacional da Potassa (Suíça), (Brasil) pp. 27-54, 1981
78. Lazzarini, W.: Renovação da lavoura cafeeira paulista. Publ. Inst. Agro. Campinas, 5 p., 1959
79. López, M.: Fertilization with potassium chloride and potassium sulphate in coffee plantations. I. Assessment of the uptake of K, Cl and sulphate ions by means of leaf analysis. *Potash Review*, Subject 16, 6 p. (1968)
80. López, M.: Problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia. Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas en América Latina. IICA Turrialba, Costa Rica, 1969
81. Loué, A.: Studies on the inorganic nutrition of the coffee tree in the Ivory Coast. International Potash Institute, Berne (Switzerland), pp. 55-56, 1957
82. Machado, B.P. et al.: Ensaios de campo de adubação de cafeeiro. Secretaria de Agricultura, Brasil. 47 p., 1960
83. Malavolta, E. y Coury, T.: Nota sobre aplicação de ureia em pulverização no cafeeiro, São Paulo, Brasil. Superintendência dos Serviços do Café. *Boletim* 32 (362), 14-15 (1957)
84. Malavolta, E., Arsolla, J.D.P. y Haag, H.P.: Absorption of urea sprays by coffee leaves under field conditions. *Plant Physiol.* 32 (Supplement) XIV (1957)
85. Malavolta, E., Neptune Menard, L. y Lott, W.: Estudos sôbre a alimentação mineral do cafeeiro. II Absorção do superfosfato radiactivo pelo cafeeiro. (*Coffea arabica* L., var. *Bourbon amarelo*) em condições de campo. 16, 101-111, Anais da ESALQ (1959)
86. Malavolta, E. et al.: Tracer studies in the coffee plant (*Coffea arabica* L.). Anais da ESALQ 16, 65-78 (1959)
87. Malavolta, E.: Nutrição do cafeeiro. En: *Cultura e adubação do cafeeiro*. Instituto Brasileiro de Potassa, São Paulo, Brasil, 1963
88. Malavolta, E. y Moraes, F.R.: Resultado de ensaios de adubação. En: *Cultura e Adubação do Cafeeiro*. Instituto Brasileiro de Potassa, São Paulo, Brasil, pp. 207-232, 1965
89. Malavolta, E.: Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro. Ultrafertil (Petrobras) Brasil, 28 p. (1978)
90. Malavolta, E.: Nutrição mineral e Adubação do cafeeiro. Pasado, presente e perspectivas. Ed. T. Yamada. En: *Nutrição e Adubação do Cafeeiro*. Instituto da Potassa & Fosfato (EUA)-Instituto Internacional da Potassa (Suíça), (Brasil). pp. 138-171, 1981
91. Manual Técnico del cultivo del café en El Salvador: Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. 223 p., 1976
92. Martins, M. et al.: Adubação foliar suplementar de NPK na formação e produção do cafeeiro. En: *Resumos 8º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras* (Brasil) pp. 333-337 (1980)
93. Medcalf, J.C., et al.: Experimental programs in Brazil, IBEC Research Institute (New York). *Bull.* 6, 59 p. (1955)
94. Medcalf, J.C. y Lott, W.L.: Aplicación de quelatos metálicos en los cafetales. IBEC Research Institute (Brasil). *Boletín* N° 11, 24 p. (1956)
95. Mehlich, A.: Soil fertility and plant nutrition. Coffee Research Foundation, Kenya. Annual Report 1965/66, pp. 32-40 (1966)

96. *Mehlich, A.*: Coffee soils in Kenya and their characteristics in relation to mineral nutrition of arabica coffee. Coffee Research Foundation, Kenya. Annual Report 1966/67, pp. 5-17 (1967)
97. *Mehlich, A.*: Coffee nutrition and the possible use of compound fertilizers in Kenya. Kenya Coffee 33, pp. 59-65 (1968)
98. *Mestre, A.*: Evaluación de la pulpa de café como abono para almácigos. Cenicafé 28, 18-26 (1977)
99. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica: Manual de Recomendaciones. Café (s.n.) 44 p., 1967
100. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica. Departamento de Café: Informe Anual de Labores 1966, 83 p. (1967)
101. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica. Departamento de Café: Informe Anual de Labores 1967, 65 p. (1968)
102. *Miranda, A.*: Bases agronómicas del cultivo del café. Panamá. Ministerio de Desarrollo Agropecuario. Departamento de Café y Cacao. 3a edición s.f.
103. *Mitchell, H.W.*: Agronomy. En: Tanganyika Coffee Board, Coffee Research Station. Research Report 1965, pp. 13-14 (1968)
104. *Monteiro, M.V.M., et al.*: Aerial spraying with zinc sulphate on coffee trees in the State of São Paulo, Brazil. Turrialba 18, 189-190 (1968)
105. *Müller, L.E.*: Coffee nutrition. En: Temperate to Tropical Fruit Nutrition. Ed.: N.F. Childers. Somerset Press, Inc. Somerville, New Jersey (USA) pp. 685-776, 1966
106. *Moraes F.R.P. et al.*: Fontes e doses de nitrogênio na adubação química do cafeeiro I. Latossolo roxo transição para latossolo vermelho-amarelo, orto. Bragantia 35 (6), 63-77 (1976)
107. *Moraes, F.R.P.*: Doses e fracionamento do nitrogênio na adubação do cafeeiro. I. Latossolo Roxo de Ribeirão Preto. 6º Congr. Bras. Pq. Cafeeira (Ribeirão Preto, Brasil) pp. 76-77 (1978)
108. *Moraes, F.R.P. et al.*: Fosfatos industriais e naturais no desenvolvimento de cafeeiros novos. 7º Congresso Bras. de Pesq. Caf., (Araxá-MG, Brasil) pp. 72-75 (1979)
109. *Moraes, F.R.P.*: Adubação do cafeeiro. Macronutrientes e adubação orgânica. En: Nutrição e Adubação do Cafeeiro. Ed. T. Yamada. Instituto da Potassa & Fosfato (EUA)-Instituto Internacional da Potassa (Suíça). (Brasil). pp. 77-89, 1981
110. *Neptune Menard, L.N. et al.*: Pulverização foliar em cafeeiro (*Coffea arabica*). II Aplicação de adubos potássicos. Anais da ESALQ 18, 277-285 (1961)
111. Noticiero del café. Oficina del café (Costa Rica): Año XII, N° 133, 4 p. (1976)
112. *Oruko, B.A.*: Yield responses of arabica coffee to fertilizers in Kenya. A review. Part. I. Kenya Coffee 42, 227-239 (1977)
113. *Oruko, B.A.*: Yield responses of arabica coffee to fertilizers in Kenya. A review. Part II. Kenya Coffee 42, 285-294 (1977)
114. *Pacheco, R. y Carvajal, J.F.*: Fertilización fosfórica en dos suelos de Costa Rica. En: Resúmenes III Congreso Agronómico Nacional (Costa Rica) Vol. I, pp. 84-85 (1978)
115. *Patel, R.Z.*: Work in progress in coffee research. Series III-Part two. Radioisotopes and coffee research in Kenya. Kenya Coffee 37, 373-375 (1972)
116. *Patel, R.Z. y Kabaara, A.M.*: Isotope studies on the efficient use of P-fertilizers by *Coffea arabica* in Kenya. I. Uptake and distribution of  $^{32}\text{P}$  from labelled  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Kenya Coffee 41, 29-39 (1976)
117. *Pereira, J.F., Crafts, A.S. y Yamaguchi, S.*: Translocation in coffee plants. Turrialba 12 (3), 64-79 (1963)
118. *Pérez, V.M.*: Antecedentes y planes de investigación realizados en el cultivo del café en Costa Rica. Años 1950-1957. Ministerio de Agricultura e Industrias. STICA. Información Técnica N° 5, 31 p. (1958)
119. *Pérez, V.M.*: Labores del Proyecto N° 23 en el mejoramiento del cultivo del Café. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. STICA-Información N° 4, 15 p. (1958)
120. *Pérez, V.M. et al.*: Nutrición del café en Costa Rica. (Informe de progreso de 5 años de investigación.) Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín Técnico N° 43, 33 p. (1963)

121. Pérez, V.M. e Hilje, I.: Guía práctica del cultivo del café. Tercera parte. El abonamiento del cafeto. Compañía Costarricense del Café. (Costa Rica). Circular Técnica N° 69, 34 p. s.f.
122. Pérez, V.M. e Hilje, I.: Fertilización adecuada de cafetales en producción. Compañía Costarricense del Café (Costa Rica). Circular Técnica N° 76, 11 p. (1981)
123. Pérez Escobar, R.: Efectos de la acidez del suelo en la producción del café y medidas correctivas recomendadas. Revista de Agricultura de Puerto Rico 44 (2), 93-97 (1965)
124. Pino, A.V.: Toxicidad de aluminio en café (*Coffea arabica* cv. Caturra). Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. Tesis. 76 p., 1977
125. Programa Cooperativo Oficina del Café-MAG (Costa Rica): Informe anual de Labores, 24 p. (1980)
126. Ramírez, G.: Análisis químico del suelo como guía para la fertilización del cafeto. Noticiero del Café. Oficina del Café (Costa Rica). Año VI (N° 187) 4 p. (1980)
127. Ramos, R.P. y Pañagilan, B.: Some studies on coffee cultural practices at the Davao Experiment Station. Coffee and Cacao Journal 5 (9), 184-186, 189 (1962)
128. Ripperton, J.C., Goto, Y.B. y Pahau, R.K.: Coffee cultural practices in the Kona district of Hawaii. Hawaii Agr. Exp. Sta. Bull. 75, 53-55 (1935)
129. Robinson, J.B.D. y Wallis, J.A.N.: Recommendations for the application of cattle manure to coffee. Kenya Coffee 24 (288), 488-489 (1959)
130. Robinson, J.B.D.: Nitrogen studies in a coffee soil. I. Seasonal trends of natural soil nitrate and ammonia in relation to crop growth, soil moisture and rainfall. J. Agric. Sci. 55 (3), 333-338 (1960)
131. Rocha, T.B. et al.: Adubação mineral e orgânica do cafeeiro em podzólico vermelho-amarelo orto da região de Mococa, SP. En: Resumos 8º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras (Brasil), pp. 284-285 (1980)
132. Rodríguez, S.J. et al.: Yield response of the Puerto Rico and columnaris coffee cultivars in two latosols of Puerto Rico, as affected by different levels of nitrogen, phosphorus, potassium and lime. Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico 48 (3), 255-262 (1964)
133. Samuels, G.: Abonos para café. Café de El Salvador 29 (332-333), 429-431 (1959)
134. Salazar, R.E.: Efecto residual en la banda de fertilización del cafeto. Fertilización versus carbohidratos en las hojas. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. Tesis, 1969
135. Sauerbeck, D.R. et al.: Fósforo foliar absorbido del fertilizante por plantas de café (*Coffea arabica* L.). Agronomía Costarricense 3 (1), 29-33 (1979)
136. Simpson, J.R.: The effects of several agricultural treatments on the nitrogen status of a red earth in Uganda. E. Afr. Agric. For. J. 26, 158 (1961)
137. Snoeck, J. y Duceau, P.: Essais d'engrais minéraux sur *Coffea canephora* en Côte d'Ivoire: production et rentabilité. Café, Cacao, Thé XXII (4), 285-302 (1978)
138. Snoeck, J.: Evolution du chimisme du sol dans des essais d'engrais minéraux sur *Coffea canephora* en Côte d'Ivoire. Café, Cacao, Thé XXIV (3), 177-188 (1980)
139. Sommer, K.: Use of radioisotopes in agriculture. Report to the Government of Costa Rica. International Atomic Energy Agency-TA. Report No. 1360, 16 p. (1978)
140. Stadtman, E.R.: The purification and properties of phosphotransacetylase. J. Biol. Chem. 179, 891-902 (1947)
141. Sylvain, P.: Coffee pulp as fertilizer. World Coffee & Tea 1 (16), 58 (1960)
142. Sylvain, P.G.: Innovaciones agrotécnicas en caicultura. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas-OEA Zona Norte. Publicación Miscelánea N° 202 (Adaptado de la exposición presentada en el VIII Coloquio Científico Internacional sobre Café). Abidjan, Costa de Marfil. 34 p. (1977)
143. Symposium sobre suelos, Madagascar: Fertilité des sols tropicaux, 1968
144. Tecnología Cafetalera Mexicana: 30 años de Investigación y Experimentación. Instituto Mexicano del Café, pp. 100-111, 1979
145. Technical Circular No. 23: Routine soil analysis advisory service for coffee growers. Kenya Coffee 40, 217-219 (1975)

146. Technical Circular No. 38: Standard recommendations for fertilizers. Kenya Coffee 43, 153-160 (1978)
147. Technical Circular No. 17: Leaf analysis advisory service. Kenya Coffee 44, 27-28 (1979)
148. Teshu, A.J. y Kumar, D.: Effect of fertilizer nitrogen in drought resistance in *Coffea arabica*. J. Agric. Sc. (Camb.) 90, 625-631 (1978)
149. Uribe, A. y Mestre, A.: Efecto del nitrógeno, el fósforo y el potasio sobre la producción del café. Cenicafé 27 (4), 158-173 (1976)
150. Valencia, A.G.: Efecto del tipo de fertilización potásica en el crecimiento y en la producción del cafeto. Informe final, Sección de Fitofisiología. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná (Colombia), 1977
151. Van Dierendonck, F.J.E.: The manuring of coffee, cocoa, tea and tobacco. Centre d'étude de l'azote. Genève, Suiza (1959)
152. Vaz, J.T.: Aspectos do fertilização em Angola, Luanda. Instituto do Café de Angola, 41 p. (1965)
153. Vicente-Chandler, J. et al.: Intensive coffee culture in Puerto Rico. University of Puerto Rico. Mayagüez Campus. Agr. Exp. Sta. Bull. 211, 84 p. (1968)
154. Verlière, G.: Effets de trois sources d'azote sur l'évolution du sol, la nutrition minerale et le rendement du caféier. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Documento de trabajo Ce/65/32. Río de Janeiro, Brasil, 6 p., 1965
155. Verlière, G.: Fertilité des sols tropicaux. Symposium sobre suelos, Madagascar, 1968
156. Verlière, G.: La nutrition minérale et la fertilisation du caféier sur sol schisteux en Côte d'Ivoire. Café, Cacao, Thé XXII, 211-222 (1973)
157. Von Peter, A.: Fertilizer requirements in developing countries. The Fertilizer Society of London. Proceedings No. 188 (1980)



## 6. Fertilización científica del cafeto

La fertilización científica del cafeto debe responder al imperativo que dicta la crisis energética por la que atraviesa el mundo. La meta ha de ser la adopción de una tecnología con fundamento científico para poner en práctica un abonamiento racional, económico, equilibrado y por lo tanto más rentable, que a la vez sirva de incentivo para favorecer el uso de más fertilizantes por un número cada vez mayor de caficultores.

Visto el horizonte de la industria del café como una actividad que eventualmente puede llegar a sufrir mengua, o prácticamente a desaparecer en un futuro, como aconteció en Hawai, ahora por la conjunción de un número mayor de factores negativos que los que influyeron en el referido territorio, las políticas de mercadeo, y obviamente el «sistema de producción», tendrán imperativamente que experimentar de ahora en adelante variaciones sustanciales.

### 6.1 Investigación básica

El uso de fertilizantes (nutrimentos) se fundamenta en el requerimiento nutricional de cada especie o variedad, en calidad y cantidad, y en el hecho de que la mayoría de los suelos agrícolas por lo general no están en capacidad de satisfacer todas las necesidades en el momento en que los estados fisiológicos de los cultivos lo demandan [1]. Del enunciado anterior se deriva, como axioma, que debe existir un número variable de fórmulas fertilizantes, en calidad y dosis a suministrar.

En Costa Rica la investigación en el campo de la nutrición mineral del cafeto se ha concentrado con marcado énfasis en la última década, hacia la búsqueda de métodos de diagnóstico pro abonamientos cada vez más eficientes y económicos. Los resultados que se han obtenido merecen una amplia difusión e inclusive se debe promover el uso de los aspectos prácticos, pues a juicio de los críticos se ha llegado a desarrollar una verdadera metodología para la fertilización científica del cafeto [27, 125]. El desarrollo de esta metodología constituye uno de los aspectos reconocidos como importantes dentro de la agrotécnica desarrollada en la década que recién concluyó.

La investigación básica sobre el nivel crítico de los nutrientes o de los tenores bajos, medios y altos, es relativamente amplia en relación al cafeto [6, 18, 37-39, 43, 48, 49, 52, 53, 56, 63, 76-80, 85, 88, 94, 98, 104, 106, 121] y ha sido complementada con otros estudios, a saber: a) la toma de muestras de partes representativas de la nutrición de la planta y las formas químicas más apropiadas para diagnóstico [3, 4, 11, 15, 16, 49, 65, 68, 75, 101, 107]; b) la variación estacional de los nutrientes y de los carbohidratos en las hojas [38, 43, 45, 46, 49, 79, 80, 95, 96, 98]; c) los factores que afectan la composición química de las hojas, el crecimiento y la cosecha [5, 16,

49, 52, 53, 56, 61, 64, 65, 81]; d) la absorción de elementos esenciales por las hojas y por la raíz [10, 12, 26, 40, 58, 59, 89, 90, 108, 111, 112, 114]. El análisis foliar se ha usado, además, para la indentificación de deficiencias minerales [13, 36, 41, 44, 51, 56, 60, 73, 81, 91, 92, 104, 105, 115, 116, 119] y como guía en la evaluación, ya sea de experimentos de campo con fertilizantes o de ensayos de prácticas culturales [38, 39, 47, 48, 66, 67, 77, 81, 82, 84-88, 98-100, 117, 123, 128]. También se han hecho estudios de correlación con la cosecha [1, 50, 94, 118]. Durante el último lustro la investigación básica se ha enriquecido con contribuciones relacionadas con la actividad de la enzima reductasa del nitrato, lo que ha contribuido con nuevos elementos de juicio en beneficio de la metodología originalmente propuesta [7, 8, 28, 29, 31, 32, 35a, 126, 127, 132, 133]. Con la información que existe no ha resultado difícil diseñar un método de fertilización científica aplicado al café, con base en el análisis de la planta y en la exploración sistemática de la «banda de fertilización», o sea del efecto residual de los fertilizantes, según se refleja en la acumulación o lixiviación de minerales en el suelo y en el incremento de los tenores en la planta [15, 17].

## 6.2 Relaciones nutritivas

### 6.2.1 Absorción anual de nutrimentos

Las curvas de absorción obtenidas por primera vez por *Liebscher* [71] en 1887, señala *Åslander* [2] que deben dar una buena indicación respecto a la época más apropiada de aplicar los fertilizantes. Se sabe que las plantas caracterizadas por un ciclo de crecimiento «determinado» pueden absorber grandes cantidades de un nutrimento en estados tempranos de crecimiento y con ello solucionar su problema nutricional desde la germinación hasta la edad madura (este comportamiento se ha observado con el requerimiento de fósforo y potasio por muchos cultivos menores). Cuando el ciclo de crecimiento es «indeterminado» el modelo de las curvas de absorción es diferente. Las plantas pertenecientes al primer grupo necesitan un suministro de nutrimentos, quizá de una sola vez, mientras que, las del otro, lo requieren a intervalos adecuados. Se ha encontrado que la absorción de nutrimentos no es uniforme durante un ciclo vegetativo y reproductor completo. Por lo general ocurre un máximo de absorción, bien definido, durante o justamente antes de la época en que el crecimiento ocurre con mayor auge.

### 6.2.2 Absorción neta

Los datos disponibles respecto a la absorción neta por la planta de café (*C. arabica* var. *bourbon*) aparecen en el Cuadro 6.1 [26]. Las cifras de absorción semanal, cuya suma proporcionó el dato mensual, indican que la absorción puede ser de signo positivo (absorción) o negativo (excreción por la raíz) dentro de lapsos relativamente cortos para los iones que se estudiaron ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , fosfato).

Cuadro 6.1 Absorción de nutrimentos durante un ciclo anual por un café que empieza a producir (*C. arabica* var. *bourbon*) [26]\*. Equivalencia: 1 ppm = 100 mg

Mes	ppm						
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N-total	Fosfato	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>
Setiembre	32	22	54	11	30	12	-1
Octubre	23	54	77	16	74	19	2
Noviembre	102	64	166	12	27	20	5
Diciembre	20	48	68	23	141	28	1
Enero	98	75	173	23	97	0	6
Febrero	-22	31	9	2	17	7	1
Marzo	139	50	189	48	26	33	6
Abril	23	38	61	15	73	39	19
Mayo	99	53	152	38	61	25	37
Junio	36	52	88	15	33	40	-2
Julio	35	38	73	13	34	35	2
Agosto	25	14	39	24	48	-7	6
Σ	610	539	1149	240	661	251	82

\* La absorción se investigó mediante análisis químico del medio nutritivo (solución Hoagland y Arnon modificada) a intervalos semanales. Edad de los arbustos: 3-4 años. Volumen de los tiestos: 100 litros. Equivalencia: 1 ppm = 100 mg. Estados fisiológicos mayores: marzo y mayo, posfloración; noviembre, maduración.

Las Figuras 6.1 y 6.2 muestran que el café adulto exhibe cambios súbitos en la velocidad de absorción de elementos nutritivos, asociados con los estados fisiológicos más importantes. La absorción de nitrato se nota que ocurre en mayor cantidad durante periodos cortos antes de la floración, al inicio del auge del crecimiento y cuando los frutos empiezan a madurar. La absorción disminuye durante la floración y después de la cosecha. En el café, tanto en el hábitáculo natural como en el invernadero, la primera floración usualmente ocurre con mucha mayor intensidad que las siguientes. Dependiendo de la magnitud del estímulo, según lo demuestra la conducta de individuos aislados, la absorción de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> aun cuando cuantitativamente similar a la de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, no muestra diferencias tan marcadas durante los estados fisiológicos que se describieron. Los datos del Cuadro 6.1 indican que el 47% de la absorción de nitrógeno corresponde a la forma amoniacal. La absorción de K<sup>+</sup> aparece un tanto antagónica con respecto a la de nitrato. En este caso la cima más alta se observa inmediatamente después de la cosecha, seguida de otras dos secundarias, antes de la maduración y después de la floración. La absorción de fosfato disminuye notablemente durante la floración y aumenta algo después de ésta. Por otra parte, la absorción de calcio ocurre en mayor cantidad después de la primera floración y muestra valores más o menos uniformes durante los siguientes cuatro meses; presenta una cima secundaria por la época de maduración. La absorción de

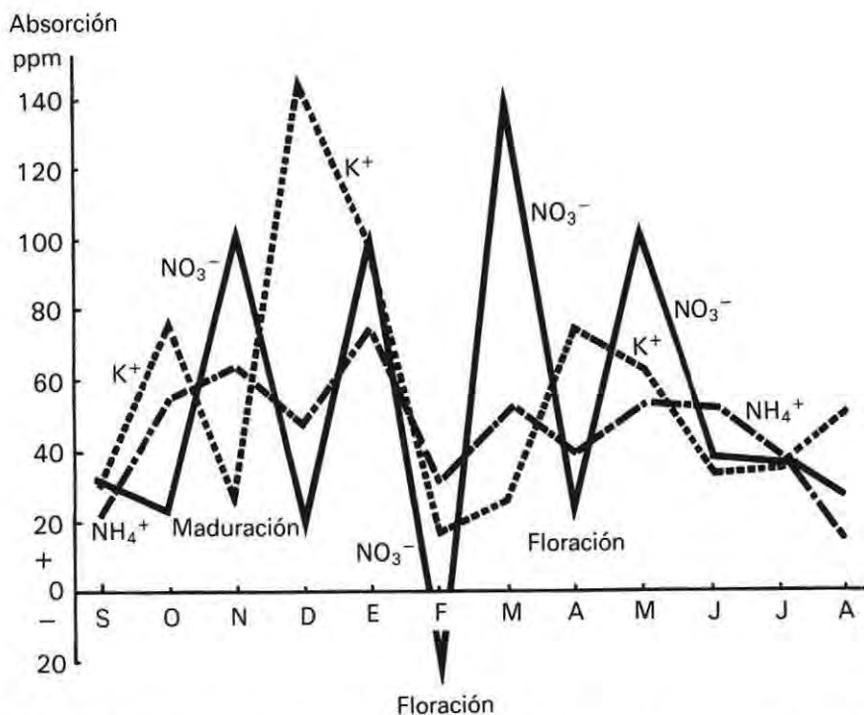


Figura 6.1 Absorción neta de nitrato, amonio y potasio por el cafeto durante un ciclo de un año [26]. Equivalencia: 1 ppm = 100 mg.

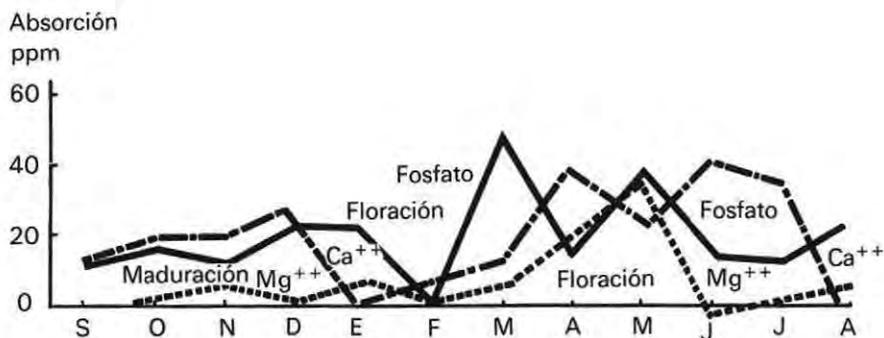


Figura 6.2 Absorción neta de fósforo, calcio y magnesio por el cafeto durante un ciclo de un año [26]. Equivalencia: 1 ppm = 100 mg.

magnesio exhibe un máximo al inicio del período de crecimiento y aparentemente no cambia mucho durante las épocas en que el cafeto experimenta otros estados fisiológicos. Al partir la absorción neta total de nutrimentos se nota la siguiente contribución por cada ion:

Fuente iónica	Absorción (% del total)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	25.6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	22.6
Fosfato .....	10.1
K <sup>+</sup> .....	27.7
Ca <sup>+2</sup> .....	10.5
Mg <sup>+2</sup> .....	3.4
	99.9

La absorción varía entre individuos y resulta ser de orden cuantitativo y no cualitativo. Dicho de otra manera, las diferencias fenotípicas no alteran la tendencia de las curvas de absorción. Cuando plantas distintas exhiben simultáneamente un mismo estado fisiológico la tendencia de la absorción es comparable. Con base en las cifras que se insertan y en las encontradas por otros autores en distintas especies [23, 34, 72], puede ratificarse que la absorción neta depende del esquema general de desarrollo que caracteriza al individuo y que, en general, la absorción de nutrimentos ocurre con mayor intensidad antes de la formación de materia, como resultado del período de crecimiento. Las cifras de absorción, que constan en el Cuadro 6.1, han dado base para confeccionar un esquema objetivo y práctico de la intensidad de la absorción de nutrimentos en la forma en que se desglosa en el Cuadro 6.2.

Cuadro 6.2 Intensidad de la absorción de nutrimentos durante los períodos de desarrollo del cafeto (*C. arabica* var. *bourbon*) [26].

Nutrimento	Estados fisiológicos		
	Pos-floración*	Receso posfloral**	Pre-cosecha***
Nitrógeno	+++	+	+++
Fósforo	++	+	+
Potasio	++	+	+++
Calcio	++	+	+
Magnesio	++	+	+

\* Inicio de la estación lluviosa

\*\* Período posfloración – precosecha

\*\*\* Antes de la salida de la estación húmeda. La absorción se prolonga si hay agua disponible, especialmente de N y K

### 6.2.3 El cociente de cationes ( $K^+ : Ca^{+2} + Mg^{+2}$ )

La absorción de metales alcalinos y alcalinotérreos por el café, aparece en el Cuadro 6.3. En los meses en que se mantiene el mismo estado fisiológico, durante y después del período de crecimiento, dicho cociente se aproxima a la unidad. La relación aparece  $>1$  a prefloración, premaduración y después de la cosecha. Un aumento en la absorción de potasio, antagónica con la de calcio, debe considerarse responsable del cociente tan alto que se observa a prefloración (C.C. = 16). Ocurre lo contrario inmediatamente después de la floración, lo que resulta en un C.C.  $\cong 1$  ó ligeramente menor.

Cuadro 6.3 Relaciones de la absorción neta por la planta de café\* (*C. arabica* var. *bourbon*) [26]

Mes	N:P:K	K <sup>+</sup>	Σ 1 Cationes ppm	Σ 2 Aniones ppm	Σ 1 Σ 2
		Ca <sup>+2</sup> +Mg <sup>+2</sup>			
Setiembre	4.9:1:2.7	2.7	63	43	1.5
Octubre	4.8:1:4.6	3.5	149	39	3.8
Noviembre***	13.8:1:2.3	1.1	116	114	1.0
Diciembre	3.0:1:6.1	4.9	218	43	5.1
Enero	7.5:1:4.2	16.1	178	121	1.5
Febrero**	4.5:1:8.5	2.1	56	-20	-2.8
Marzo	3.9:1:0.5	0.7	115	187	0.6
Abril**	4.1:1:4.9	1.3	169	38	4.4
Mayo	4.0:1:1.6	1.0	176	137	1.3
Junio	5.9:1:2.2	0.9	127	51	2.5
Julio	5.6:1:2.6	0.9	102	48	2.1
Agosto	1.6:1:2.0	-	61	49	1.2
Promedio	4.8:1:2.8	3.2	128	74	2.3

\* Al fósforo se le asignó un valor de 1

\*\* Floración, la inducción principal ocurrió en el mes de febrero

\*\*\* Maduración de los frutos y época de cosecha

Iones investigados:  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $NO_3^-$ , fosfato

### 6.2.4 La relación cationes/aniones

El cociente cationes/aniones también está asociado a los estados fisiológicos. Un resumen analítico aparece en el Cuadro 6.3. Se ha observado que el cociente exhibe valores que caen entre 1 y 2 durante el período de receso después de la floración y en lo avanzado del período de crecimiento. En el momento en que maduran los frutos el cociente se aproxima a la unidad, mientras que durante el período de premaduración, e inmediatamente después de la cosecha, la absorción de aniones disminuye considerablemente (cationes/aniones = 4-5). Una tendencia similar se ha observado cerca de la cima de la curva del período de crecimiento.

## 6.2.5 Deficiencia de minerales *versus* absorción de nutrimentos

Al estudiar el efecto de la carencia de minerales en el medio nutritivo sobre la absorción de macronutrimentos, se ha observado que esta experimenta ciertos contrastes [28, 35]. La deficiencia de nitrógeno causa una disminución en la absorción de prácticamente todos los demás, excepto de calcio. La de fósforo disminuye la absorción de nitrógeno y magnesio, mientras que la de potasio no sufre y la de calcio se incrementa. La deficiencia de potasio causa especialmente una disminución de la absorción de nitrógeno, al tiempo que sube la de calcio. La falta de calcio afecta negativamente la absorción de nitrógeno, fósforo y magnesio. La deficiencia de magnesio provoca una disminución de la absorción de nitrógeno y azufre, mientras induce un aumento en la absorción de calcio. La falta de azufre disminuye la absorción de nitrógeno y magnesio y aumenta la de calcio. Un resumen detallado de la influencia de la insuficiencia de minerales en la absorción de elementos se transcribe en el Cuadro 6.4.

*Cuadro 6.4* Absorción de nutrimentos por la planta de café bajo la influencia de carencia de minerales en el medio nutritivo [35]

Tratamientos	ppm extraídas de la solución nutritiva					
	N	P	K	Ca	Mg	S
-N .....	0	9	70	120	32	3
-P .....	73	0	128	160	20	16
-K .....	74	15	0	210	42	15
-Ca .....	110	10	145	0	15	22
-Mg .....	111	25	156	150	0	7
-S .....	70	13	120	120	23	0
Testigo	141	20	138	40	40	21

## 6.3 Métodos de diagnóstico del estado de nutrición

En la planta de café se han usado experimentalmente todos los métodos de diagnóstico hasta ahora conocidos, algunos de los cuales se han llevado a la práctica con éxito, con el propósito de practicar el abonamiento anual sobre bases cada vez más técnicas [29].

### 6.3.1 Análisis de suelo

Dado el acopio de información que hasta ahora se tiene sobre el análisis de los suelos, el uso de esta técnica indirecta de diagnóstico debe ser objeto de uso cada vez más frecuente. Se conocen los niveles críticos en el suelo para un número de elementos esenciales, se ha sugerido la existencia de categorías de fertilidad con base en la

suma de los cationes nutrientes mayoritarios y los equilibrios o relaciones óptimas entre estos cationes.

En los Cuadros 6.5 a 6.8 se transcribe alguna de la información pertinente.

### La muestra de suelo

Si las muestras de suelo no concuerdan con el objetivo del análisis químico los resultados confunden al técnico que los interpreta. Los estudios sobre el efecto residual de los fertilizantes en las plantaciones de café sugieren que las muestras de suelo

Cuadro 6.5 Niveles bajos, medios y altos de macro-nutrientes en el suelo, en algunos países

Elemento	Contenido en el suelo			País
	Bajo	Medio	Alto	
Fósforo (ppm)	<15	15-30	>30	Kenya <i>Mehlich [103]</i>
	<10	10-30*	>40	Costa Rica <i>Ramírez [120]</i>
	<25	-	-	Colombia <i>López [74a]</i>
Potasio (me/100 g)	<0.2	0.2-0.4**	>0.4	Kenya <i>Mehlich [103]</i>
	0.2	-	-	Costa Rica <i>Briceno y Carvajal [9]</i>
	0.1-0.15	-	-	Costa de Marfil <i>Verlière [131a]</i>
	<0.2	0.2-1.5*	>1.5	Costa Rica <i>Ramírez [120]</i>
	-	0.12-0.4	-	Brasil <i>Küpper [70]</i>
	0.1-0.2	-	-	Costa de Marfil <i>Loué [81]</i>
	0.1-0.3	0.4-0.65*	-	Rep. Centroafricana <i>Forestier [53]</i>
Calcio (me/100 g)	<4	4-20	>20	Costa Rica <i>Ramírez [120]</i>
	-	2.5-5	-	Brasil <i>Küpper [70]</i>
Magnesio (me/100 g)	<1.0	-	-	Colombia <i>López [74a]</i>
	-	0.5-1	-	Brasil <i>Küpper [70]</i>
	<1.0	1-10*	>10	Costa Rica <i>Ramírez [120]</i>

\* Valor reportado como óptimo y no como medio

\*\* Interpretación sujeta al equilibrio Ca + Mg/K

deben ser tomadas simultáneamente en la «banda» y en la «entrecalle», con el objeto de contar, desde un principio, con un patrón de comparación que permita conocer, por diferencia, los «acumulamientos y lavados» de nutrimentos, variaciones del pH, etc., que ocurren en la zona de donde se alimentan la mayor parte de las raíces del café [20]. En los predios en donde el abonamiento se hace al voleo las muestras de «banda» deben ser tomadas dentro de la superficie encerrada por la periferia del «círculo de aplicación», a una distancia prudencial del tronco. La recolección de muestras solamente en la «entrecalle», puede restringirse al momento en que se desea aumentar la densidad de siembra en la plantación.

Debido a que el sistema radical del café exhibe aproximadamente un 70% de las raíces absorbentes, menores de 1 mm, en los primeros 20 cm de suelo [124], y que a

*Cuadro 6.6* Ejemplo de algunos valores de referencia complementarios para interpretar análisis de suelos cafetaleros en Costa Rica [120]

Determinación	Método	Interpretación		
		Deficiente o bajo	Óptimo	Alto
pH	Suelo/agua 1:25	<5.0	5.5–6.5	>7.0
Al	KCl 1N	<0.3 me	0.3 me	>1.5 me
Fe	Olsen-EDTA	<10 ppm	10–50 ppm	>50 ppm
Cu	Olsen-EDTA	<1 ppm	1–20 ppm	>20 ppm
Zn	Olsen-EDTA	<3 ppm	3–15 ppm	>15 ppm
Mn	Olsen-EDTA	<5 ppm	5–50 ppm	>50 ppm

*Cuadro 6.7* Categorías de fertilidad sugeridas como guía para interpretar los análisis de suelo [29]

Parámetro (Ca + Mg + K)*	Interpretación	País
<5	Respuesta a calcio, magnesio potasio y elementos menores. Suelo de baja fertilidad integral.	Costa Rica <i>García y Carvajal [57]</i>
5–10	Suelo de fertilidad media	
>10	Suelo de alta fertilidad	
~13.1	Alta fertilidad	Kenya
~3.2	Baja fertilidad	<i>Mehlich [101]</i>
<3.12	Suelo pobre	Brasil
3.12–6.40	Valores medios	
>6.40	Suelo rico	<i>Küpper [70]</i>

\* Datos expresados en miliequivalentes/100 g de suelo

Cuadro 6.8 Equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinotérreos como índice de fertilidad de suelos cafetaleros

Equilibrio	Magnitud Normal	Condición de desequilibrio				País
		Potasio		Magnesio		
		Insuficiente	En exceso	Insuficiente	En exceso	
Ca + Mg/K	10	>10				Kenya <i>Mehlich, 1967 [102, 103]</i>
	9* ámbito 2.2-23.5	>44				Costa Rica <i>Briceño y Carvajal, 1973 [9]</i>
Mg/K	2.1-3.7			2.1-1.5 def. ligera <1.5 def. severa	3.8-5 ligero exceso >5 exceso considerable	República Centroafricana <i>Forestier, 1968 [53]</i>
	3* ámbito 1-8	16.5-18				Costa Rica <i>Briceño y Carvajal, 1973 [9]</i>
Ca/Mg	2-4			>4		Kenya <i>Mehlich, 1968 [103]</i>
Ca/K	6* ámbito 2-17	26.5-36				Costa Rica <i>Briceño y Carvajal, 1973 [9]</i>
100 K/ Ca + Mg + K	2.1-11	2.5-2.1 ligera insuf. <2.1 insuf. mar- cada	>11			República Centroafricana <i>Forestier, 1968 [53]</i>
	10* ámbito 4-29	<2.5				Costa Rica <i>Briceño y Carvajal, 1973 [9]</i>
Mg/K**	Baja <2.5	Optima 2.5-15		Alta >15		Costa Rica <i>Ramírez, 1980 [120]</i>
Ca/Mg**	<2	2-5		>5		
Ca + Mg/K**	<10	10-40		>40		
Ca/K**	<5	5-25		>25		

\* Valor en la mayoría de los suelos. Los suelos que caen dentro de cada «ámbito» indicado no manifiestan respuesta significativa a potasio

\*\* Valores de referencia

la movilidad del fósforo del fertilizante la afecta la fijación química, la muestra debe representar a este estrato completo, por lo que debe ser extraída, de preferencia, con una barrena de diámetro apropiado, a la que previamente se le ha colocado una placa metálica (tope) a una distancia de 20 cm del extremo. Si la barrena se introduce en el suelo por movimiento rotatorio y sin mayor presión, la muestra representa un estrato completo de profundidad 0–20 cm.

Las muestras para análisis deben ser «compuestas». En la vecindad de cada arbusto pueden hacerse de dos a cuatro agujeros en la forma descrita, previa remoción de la capa orgánica de la superficie, hasta completar un kilo o más de suelo. Es aconsejable que cada muestra individual conste de la suma de varias barrenadas tomadas directamente, ya sea en la «banda de fertilización» o en la «entrecalle». En el primer caso, la muestra debe ser tomada de plantas ubicadas en hileras diferentes, representativas de la condición promedio del cafetal, dentro de áreas no mayores de 5 hectáreas. La muestra se toma de la «banda», de 15 ó más plantas de apariencia similar. El número de muestras que se debe coleccionar en cada finca dependerá de la agrupación que se haga de los suelos por características generales, tales como topografía, color, fertilidad aparente, etc.

El estudio de la «banda de fertilización» es más importante, tratándose de NPK, para los dos últimos elementos. El nitrógeno lo requiere el cafeto en mayor cantidad que los demás y las formas inorgánicas se pierden fácilmente por lixiviación. Sin embargo, cuando la aplicación de nitrógeno es alta, el acumulamiento en la banda es igualmente positivo [17] (Figuras 5.8 a 5.10).

### *Interpretación del análisis químico del suelo y de la banda de fertilización*

Por cuanto el volumen de suelo donde crece y se desarrolla el sistema radical del cafeto está sujeto a ganancias y pérdidas de nutrimentos disponibles por razones varias, entre las que merecen ser citadas: la absorción por la planta, la adición periódica de fertilizantes, la pérdida de cationes por arrastre aniónico, la precipitación local, la fijación química y biológica, etc., las discrepancias de la composición química de la «banda» con respecto a la típica de la serie de suelo, resulta obvia. El análisis de la «entrecalle» sólo necesita ser practicado cada cuatro o cinco años, pues no cambia en períodos cortos y sólo se necesita como punto de referencia para estudiar los cambios químicos de la «banda de fertilización». *Si el contenido de uno o de varios nutrimentos se manifiesta en la «banda» inferior a un nivel mínimo crítico o de suficiencia, previamente determinado, el criterio del nutricionista debe favorecer un abonamiento inmediato con los elementos que se encuentran en un mínimo relativo. Si por el contrario, el análisis indica valores más altos, debe recomendar la supresión parcial o total de abonamiento por algún tiempo o disminuir la dosis.* La interpretación de estos análisis se complementa y respalda dentro de un plan integral de diagnóstico con el resultado del análisis foliar, como se explicará en párrafos siguientes.

*Forestier [53] concluyó de sus estudios que el status de la nutrición potásica es excelente en el cafeto cuando el potasio intercambiable en el suelo es de 0.4 me/100 g de suelo y éste contiene, en adición, un 55% de partículas finas (arcilla + limo), ó 0.65*

me cuando el contenido de agregados finos es del 88%. Por otra parte, Loué [81] indica que valores de potasio intercambiable de 0.10–0.20 me en suelos derivados de granitos y esquistos (de lo que se deduce que contienen cuando menos un 40% de agregados finos), se asocian con una condición de deficiencia de potasio. Encontró, asimismo, que contenidos de 0.05 me de potasio intercambiable, conducían a una seria deficiencia en suelos arenosos. Los niveles de suficiencia encontrados por Loué son semejantes a los que han sido postulados para caña de azúcar. El criterio del autor, según la experiencia ganada en Costa Rica, es que la zona de respuesta está demarcada por contenidos en el suelo de 0.4 ó 0.2 me/100 g de suelo de potasio intercambiable, determinado en extractos obtenidos con ácido nítrico o acetato de amonio como solución extractante, respectivamente [9]. Los suelos que exhiben respuesta negativa, o no significativa a largo plazo en la cosecha, exhiben valores por encima de las magnitudes mencionadas.

Debido a que existe antagonismo entre potasio y magnesio, en lo que respecta a la nutrición por magnesio la relación en que se encuentran estos cationes en el suelo constituye, hasta el presente, el mejor elemento de juicio para la interpretación de los datos que emanan del laboratorio. Se ha demostrado que un contenido alto de potasio disponible induce deficiencia de magnesio. El contenido de magnesio en las hojas se ha observado que muestra una correlación inversa con el cociente K/Mg del suelo [97, 134]. Forestier [53] encontró en café que el contenido de magnesio intercambiable del suelo no tiene relación con la nutrición por magnesio. De acuerdo con este autor, una nutrición adecuada se asocia con cocientes Mg/K (fracciones intercambiables, expresadas en miliequivalentes/100 g) comprendidos dentro del ámbito 2.1–3.7 cuando los suelos contienen >18% de agregados finos. A porcentajes menores se requieren cocientes más altos, a medida que el suelo es más arenoso. Se estima que cuando la relación Mg/K cae entre 1.5 y 2.1 existe una deficiencia débil de magnesio en las hojas del café; y cuando es <1.5 hay riesgo de que ocurra una deficiencia muy severa. En el otro extremo se considera que existe un leve exceso cuando el cociente cae entre 3.8 y 5.0 y cuando las cifras son >5.0 existe un exceso considerable del elemento. Dentro de los límites 2.1–3.7, que constituyen una buena condición para la absorción de magnesio, la razón K/Mg, que parece ser óptima en las hojas del café (Robusta), varía entre 4 y 7.5. Se acerca a 4 si el cociente Mg/K excede de 3.7 y sube a más de 7.5 si dicho cociente en el suelo cae más abajo de 2.1. En Costa Rica la relación Mg/K está comprendida entre 1 y 8 en los suelos en donde no se registra respuesta a potasio (en un grupo mayoritario el cociente es muy cercano a 3), y entre 16.5 y 18 en los de respuesta fuertemente positiva [9].

El porcentaje de potasio dentro de la suma de cationes intercambiables (100 K/Ca + Mg + K), expresado en miliequivalentes/100 g de suelo, considera Forestier [53] que se debe interpretar como se indica en el Cuadro 6.8.

En los suelos cafetaleros de Costa Rica, que no responden a potasio, el porcentaje de este elemento dentro de la suma de cationes mencionada, tiene un ámbito 4–29 (Cuadro 6.8). No obstante, en la mayoría el porcentaje es de 10. En los suelos en donde el café responde al potasio el porcentaje es <2.5 [9].

Forestier [53] pone énfasis en el hecho de que el cociente Ca + Mg/K, en función de los agregados finos del suelo, da mejores resultados en la interpretación de la nutri-

ción por calcio que la simple razón  $\text{Ca}/\text{K}$ . El uso de fertilizantes potásicos puede estar indicado cuando el cociente  $\frac{\text{Ca}+\text{Mg}}{\text{K}}$  es mayor que 10 [103].

En Costa Rica los primeros estudios realizados en 22 suelos cafetaleros indican que la relación  $\text{Ca}/\text{K}$ , en la mayoría de los suelos que no responden a potasio, cae dentro del ámbito 2–17 (en un grupo mayoritario el cociente es cercano a 6); en los de respuesta, el rango es 26.5–36. Respecto al cociente  $\frac{\text{Ca}+\text{Mg}}{\text{K}}$ , en los suelos que responden a potasio la relación es de  $>44$ , mientras que en los de respuesta negativa o no significativa, el ámbito del cociente es de 2.2–23.5. En este particular la mayoría de los suelos exhiben valores cercanos a 9 (Cuadro 6.8).

En Colombia, Costa Rica y Kenya interpretan el contenido de fósforo del suelo con base en los datos que se consignan en el Cuadro 6.5.

El análisis de suelo por nitrógeno se recomienda hacerlo sujeto a una interpretación muy cautelosa. En el Capítulo 5 se destacó el hecho que este nutrimento se acumula en el suelo por la aplicación periódica de fertilizantes nitrogenados (Figura 5.8). En términos generales cuando el contenido en el suelo oscila alrededor de 12 ppm de  $\text{N-NH}_4$  y de 35 ppm de  $\text{N-NO}_3$ , se requiere de aplicación de nitrógeno. Cuando se observan acumulamientos, la supresión de este elemento no debe ser por más de un abonamiento, pues su decaimiento es rápido y la deficiencia aparece poco tiempo después. Por tratarse de un elemento cuya concentración varía en los diferentes estratos del suelo de acuerdo con el contenido de agua, en el Cuadro 6.5 se omite la inclusión de niveles críticos, pues no son confiables. Por ello los nutricionistas recomiendan investigar el estado de nutrición de las plantaciones de café por nitrógeno con fundamento en el análisis de partes representativas de la planta (acápites 6.3.2).

Se ha reportado que el  $\text{NO}_3^-$  exhibe un valor alto en la capa de suelo de 0–30 cm de profundidad durante los periodos secos y disminuye en la época húmeda [102]. Al usar Cl como trazador se ha demostrado que el  $\text{NO}_3^-$  se mueve hacia arriba a la capa 0–15 cm, durante los periodos calientes y secos; cuando la humedad es muy baja ocurre un enriquecimiento de  $\text{NH}_4^+$  en la parte superior del suelo. La humedad afecta la amonificación y la nitrificación [122].

### 6.3.2 Análisis foliar

Respecto a la técnica de análisis foliar (método de diagnóstico directo, tradicional) se conocen en el cafeto los niveles críticos o de suficiencia de los principales nutrimentos y su variación estacional, las formas químicas de nitrógeno y fósforo más aptas para diagnóstico, así como la edad fisiológica de las hojas representativas para el análisis de cada nutrimento. Los investigadores han llegado a la conclusión que el uso del análisis foliar, de manera alterna o simultánea con el análisis del suelo precedente de la banda de fertilización del cafeto, provee elementos de juicio de valor incuestionable para el diseño de programas de abonamiento para aplicación a corto y mediano plazo.

## Objetivos

Los fines prácticos que se persiguen con el análisis químico de las hojas del café son diversos. El nutricionista debe ordenar tales análisis con el objeto de establecer correlaciones entre los distintos factores extrínsecos y la nutrición de las plantas, o bien para corroborar, modificar u orientar su diagnóstico en el campo [25]. A continuación se citan algunos de los objetivos más importantes, según se han definido experimentalmente, después de tres décadas de investigación [22]:

- a) Diagnóstico de deficiencias minerales de elementos mayores y micronutrientes.
- b) Guía para una fertilización económica en asocio del 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 con respecto a calidad y cantidad.
- f) Comprobación de la eficacia del método de aplicación de los fertilizantes.
- g) Establecer correlaciones entre la producción efectiva y el estado de nutrición de la planta.

## La muestra de hojas

El diagnóstico del estado de nutrición del café mediante el análisis químico de las hojas se practica desde hace varios lustros [14]. La mayoría de los investigadores se han dedicado a buscar relaciones entre la aplicación de fertilizantes o la insuficiencia de minerales y los tenores de nutrientes en las hojas. Los hawaianos, primeros en determinar el contenido de almidón en el follaje de los cafetos, estudiaron además la correlación que existe entre el contenido de carbohidratos de reserva en estos órganos y la cosecha [37, 47]. El contenido total de nitrógeno y fósforo ha sido la forma clásica de determinar el tenor de estos elementos. El análisis por solubles fue introducido en 1965 [19].

La sensibilidad de los primeros cuatro pares de hojas (de afuera hacia adentro) y la importancia de su posición en la planta (mitad superior o inferior) ha sido objeto de valoración cuantitativa en condiciones de campo [15]. El estudio incluyó, además, un fraccionamiento del nitrógeno y del fósforo (total y soluble) con el objeto de definir, simultáneamente, la importancia de la forma química del elemento más apta para diagnóstico. La respuesta de las plantas a los varios niveles de nitrógeno, fósforo y potasio, se estudió con base en el acumulación respectivo en las hojas. Se encontró que la aplicación al suelo de diversos niveles de nitrógeno causaba un acumulación prácticamente proporcional de nitrógeno soluble\* en las hojas de las plantas. Los promedios de concentración en los pares fueron afectados significativamente como respuesta a los tratamientos, así como entre los diferentes pares de hojas que se estudiaron. La representación esquemática se aprecia en la Figura 6.3. La interacción pares  $\times$  niveles fue significativa, lo que indica que la respuesta a nive-

\* Nitrógeno total soluble en agua (NTSA); comprende el contenido de N-NO<sub>3</sub> y NOSA (nitrógeno orgánico soluble en agua).

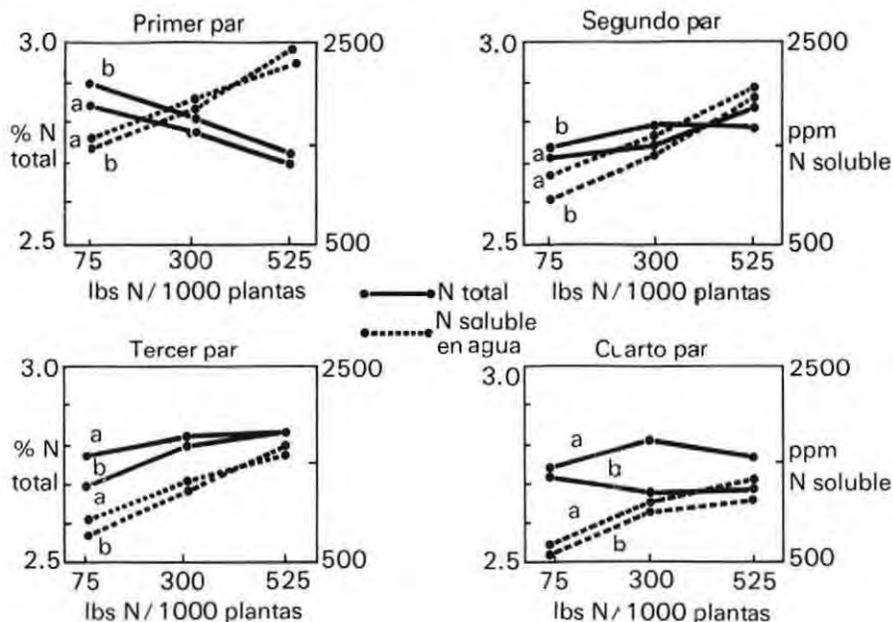


Figura 6.3 Relación entre el nivel de nitrógeno aplicado al suelo y el contenido respectivo en las hojas del cafeto. Las letras «a» y «b» indican las concentraciones individuales en las mitades superior e inferior de los arbustos, respectivamente [15].

les de nitrógeno no es consistentemente parecida en los cuatro pares. De aquí que fue necesario calcular una ecuación de regresión para cada par de hojas (Figura 6.6); la concentración de nitrógeno soluble, en las partes superior e inferior de las plantas, resultó significativa únicamente al 10%. La correlación lineal, no significativa, que se encontró al comparar el nivel de nitrógeno aplicado al suelo con el «contenido total» del elemento en los mismos pares de hojas, indicó que el nivel de fertilización no había tenido influencia importante en este tenor en el momento en que se habían tomado las muestras. La concentración de nitrógeno total, en función de los tratamientos y los diferentes pares de hojas, resultó significativa únicamente al 10%; la interacción pares  $\times$  niveles fue significativa al 5%.

El comportamiento del fósforo fue similar al del nitrógeno (Figura 6.4). Se encontró una correlación lineal positiva entre el nivel en el sustrato y el contenido en las hojas de fósforo soluble en ácido acético al 2% ( $P-PO_4$ ). Contrario al nitrógeno soluble, la concentración de  $P-PO_4$  no mostró diferencias significativas entre los diferentes pares en el momento en que se tomaron las muestras; tampoco tuvo influencia en dicha concentración la posición de las hojas en la planta (mitades superior e inferior). Este hecho justificó el cálculo de solamente una ecuación de regresión promedio para los cuatro pares de hojas, descartando la posición en la planta (Figura 6.6). Se obtuvo una correlación lineal al comparar el nivel de fertilización con el

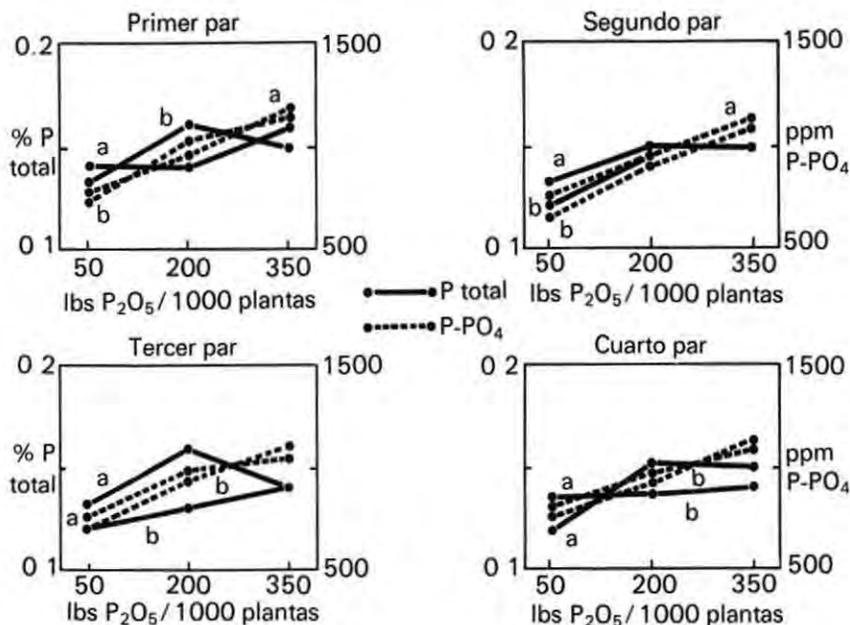


Figura 6.4 Relación entre el nivel de fósforo aplicado al suelo y el contenido respectivo en las hojas del café. Las letras «a» y «b» indican las concentraciones individuales en las mitades superior e inferior de los arbustos, respectivamente [15].

contenido de fósforo total en las hojas; sin embargo, las diferencias en concentración en éstas resultaron significativas únicamente al 10%. No hubo diferencias conspicuas entre pares.

Los niveles de potasio en el suelo causaron diferencias estadísticamente significativas en el acumulamiento del elemento en las plantas (Figura 6.5). En este caso la posición de las hojas parece ser más importante. Las concentraciones que se encontraron en las dos mitades de la planta mostraron diferencias altamente significativas entre sí (Figura 6.6). La concentración fue casi igual entre los pares; sin embargo, fue significativa la interacción posición  $\times$  niveles. La correlación que se obtuvo entre el nivel de potasio en el substrato y la concentración en las mitades superior e inferior de las plantas, fue lineal y cuadrática en todos los casos. La interacción pares  $\times$  posición  $\times$  niveles resultó altamente significativa.

Con base en el análisis estadístico de los datos experimentales, se concluye que para el análisis por nitrógeno soluble, pueden usarse, indistinta pero separadamente, cualquiera de las hojas presentes en los primeros cuatro nudos (de afuera hacia adentro) procedentes de ramas laterales con cosecha. Para el análisis de fósforo (P-PO<sub>4</sub>) la muestra debe colectarse con las mismas precauciones, aun cuando estadísticamente la concentración es similar en los cuatro pares. El análisis de potasio puede ser practicado igualmente en cualquiera de los cuatro pares de hojas, pero de la

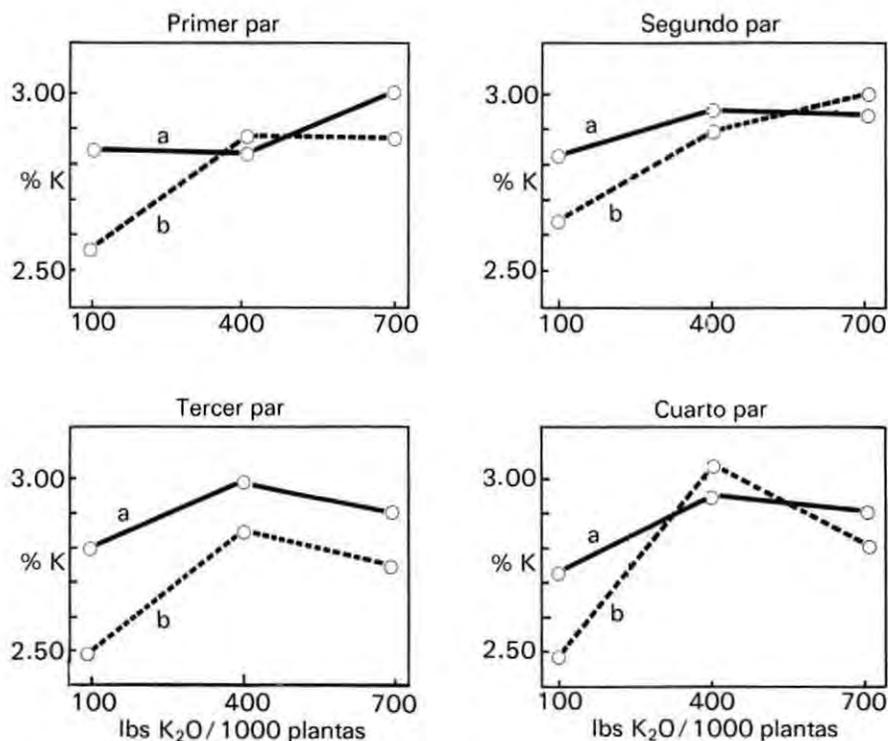


Figura 6.5 Relación entre el nivel de potasio aplicado al suelo y el contenido respectivo en las hojas del café. Las letras «a» y «b» indican las concentraciones individuales en las mitades superior e inferior de los arbustos, respectivamente [15].

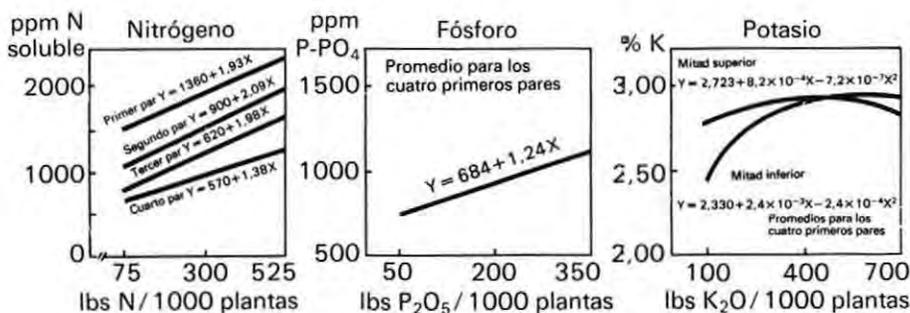


Figura 6.6 Ecuaciones de regresión. Niveles de aplicación de NPK al suelo versus concentración en las hojas del café [15].

mitad inferior de la planta; sin embargo, aparentemente el cuarto par ofrece ventaja para estudiar la nutrición por potasio. Para otros elementos se han sugerido otros pares. Por ejemplo, para magnesio, hasta donde se sabe, debe darse preferencia a la información que se obtiene en las hojas del sexto par y, por razones fisiológicas (movilidad en la planta), el hierro, el calcio y el boro deben ser analizados en las hojas más jóvenes [25, 42]. Para disminuir el error, en la práctica se deben descartar las hojas del primer par, para el análisis por NPK, por exhibir una mayor variación. Por razones técnicas se sugiere tomar en cada planta una muestra compuesta siempre por hojas de una misma edad fisiológica, orientadas respectivamente hacia los cuatro puntos cardinales, sin que en esto influya la variable que se pretende estudiar en cada caso (Foto 12).



*Foto 12* Las hojas recientemente maduras de ramas plagiotrópicas con cosecha, reflejan, al analizarlas químicamente, el estado de nutrición de la planta de café.

### *Tamaño de la muestra*

Las investigaciones efectuadas en Brasil [75] han indicado que para obtener una diferencia de un 20% de la media, se requieren solamente 17 hojas para analizar nitrógeno total, 49 para fósforo total y 29 para potasio, con lo que se consiguen coeficientes de variación de 9, 17 y 13%, respectivamente. Según cálculos estadísticos posteriores se llegó a la conclusión que la diferencia entre hojas de una misma

planta constituía la mayor fuente de variación. Con este concepto en mente, se concluyó que si cada parcela experimental cuenta con un número razonable de plantas, es posible tomar solamente cuatro hojas por arbusto. En la práctica conviene tomar un número mayor de hojas y más o menos constante (60 ó más) provenientes de arbustos representativos (15 ó más) de áreas no mayores de 5 hectáreas [22]. La superficie que representa cada muestra dependerá, además, de la topografía y fertilidad aparente. Se sugiere investigar más en este sentido.

### *Precauciones*

Cuando se ordena practicar un análisis por nitrógeno y fósforo soluble, no deben transcurrir más de unas dos o tres horas entre el tiempo de recolección de las muestras en el campo y el de entrega en el laboratorio [25]. Debe evitarse transportar las muestras en condiciones de alta temperatura. Sin embargo, resulta obvio que en predios retirados usualmente se dificulta el envío inmediato de las muestras; en tal situación, éstas deben permanecer refrigeradas (de preferencia congeladas) antes de traerlas al laboratorio. Para el análisis por totales, por potasio, calcio, magnesio o elementos menores, las precauciones apuntadas son innecesarias. Cada muestra debe llevar consigo algún número o información escrita en la bolsa que permita identificarla con facilidad.

### *Diagnóstico de disturbios nutricionales complejos*

La definición de la etiología de desórdenes fisiológicos difíciles de interpretar puede ser abordada mediante análisis químico de partes representativas de plantas sanas y subnormales [25]. En casos como éste, el interesado en el diagnóstico debe tomar dos muestras individuales, una procedente de las partes que manifiestan las anomalías en las plantas afectadas y otra en las sanas, en el entendido que ambas deben representar órganos (o tejidos) de edad fisiológica similar. Este procedimiento permite que el nutricionista, al comparar los resultados de los análisis, cuente con un asidero científico para respaldar su diagnóstico.

### *Niveles críticos o de suficiencia de nutrimentos en las hojas*

El contenido de nutrimentos, en su expresión total, exhibe cierta correspondencia en cafetos cultivados en distintos países, según se deduce de la compilación de los datos que sobre niveles de suficiencia se transcriben en el Cuadro 6.9.

El análisis químico por nitrógeno y fósforo total fue el único método que se usó por muchos años para estudiar las correlaciones que existen entre cualquier variable y la nutrición del cafeto. Posteriormente se introdujo el análisis por solubles [15, 19] que consiste en la determinación individual del contenido de nitrato y de nitrógeno orgánico soluble en agua [19]. Los aminoácidos, componentes del metabolismo intermedio, también han sido objeto de estudio [16, 51, 129], e inclusive los efectos de las deficiencias minerales han sido estudiados directamente en estos compuestos

Cuadro 6.9 Ambito de la composición mineral del cuarto par de hojas del cafeto en distintos países (*C. arábica*). Datos expresados en base seca [43]

Nutrimento	País			
	Costa Rica	Brasil	Colombia	Hawai
<i>Nitrógeno</i>	%	%	%	%
Alto	>2.8	>3	>3	>3.25
Medio	2.3-2.8	2.6-3	2.5-3	2-3.25
Bajo	2-2.3	2.0-2.5	2-2.5	-
Deficiente	<2	-	<2	-
<i>Fósforo</i>				
Alto	>0.2	>0.15	>0.15	-
Medio	0.12-0.2	0.13-0.15	0.11-0.15	0.08-0.15
Bajo	0.09-0.12	0.05-0.12	<0.11	-
Deficiente	<0.09	-	-	-
<i>Potasio</i>				
Alto	>2.7	>2.5	>1.8	>2
Medio	1.7-2.7	2.1-2.5	1.5-1.8	1-1.8
Bajo	1-1.7	1.5-2	1.1-1.5	0.8
Deficiente	<1	-	<1.1	<0.8
<i>Calcio</i>				
Alto	>1.7	>1.5	>1.3	-
Medio	1.1-1.7	1.3-1.5	1.3-1.7	0.8-1.8
Bajo	0.8-1.1	1-1.2	-	-
Deficiente	<0.8	-	-	-
<i>Magnesio</i>				
Alto	>0.35	>0.4	>0.39	>0.8
Medio	0.2-0.35	0.31-0.4	0.35	0.4
Bajo	0.1-0.2	0.1-0.3	0.16	-
Deficiente	<0.1	-	<0.16	-
<i>Azufre</i>				
Alto	-	>0.25	-	-
Medio	0.2*	0.16-0.25	-	-
Bajo	<0.2*	0.1-0.15	-	-
Deficiente	-	-	-	-

[51, 129] y en el contenido de azúcar y de otros ácidos orgánicos producto de la degradación oxidativa [129]. La metodología para el análisis por nitrógeno y fósforo soluble se publicó en 1965 [19].

Con excepción de la época de mayor crecimiento, en que la acumulación de  $N-NO_3$  y  $P-PO_4$  llega a niveles muy altos, el resto del año la concentración se mantiene más o menos constante. En los Cuadros 6.9, 6.10 y 6.11 se consignan los niveles de suficiencia encontrados en algunos países.

La variación estacional de los elementos esenciales investigada en Costa Rica, se transcribe con el propósito de ilustrar este aspecto requerido para la aplicación del método de «fertilización científica» que se presenta en este capítulo. Curvas semejantes han sido confeccionadas en otros países donde el análisis foliar se usa de

Cuadro 6.9 Ambito de la composición mineral del cuarto par de hojas del cafeto en distintos países (C. arábica). Datos expresados en base seca [43]

Nutrimento	País		
	Costa Rica	Brasil	Colombia
<i>Manganeso</i>	ppm	ppm	ppm
Alto	>150	>100	400
Medio	50-150	51-100	200
Bajo	25-50	10-50	-
Deficiente	<25	-	12
<i>Boro</i>			
Alto	>100	>90	-
Medio	60-100	41-90	-
Bajo	40-60	10-40	-
Deficiente	<40	-	-
<i>Hierro</i>			
Alto	-	?	-
Medio	75-275*	100-150	-
Bajo	<75*	70-100	-
Deficiente	-	-	-
<i>Zinc</i>			
Alto	>20	>20	-
Medio	15-20	11-20	-
Bajo	<15	5-10	-
Deficiente	5-10	-	-
<i>Molibdeno</i>			
Alto	-	?	-
Medio	-	0.15 (?)	-
Bajo	-	0.1 (?)	-
Deficiente	-	-	-
<i>Cobre</i>			
Alto	-	>10	-
Medio	6-12	6-10	-
Bajo	<6	5	-
Deficiente	-	-	-

\* Valores tentativos

Cuadro 6.10 Análisis por solubles en hojas del cafeto recientemente maduras (segundo-tercer par). Niveles de suficiencia estacionales de NPK investigados en Costa Rica\* [27]

Elemento	Concentración	Epoca del año
N-NO <sub>3</sub> .....	600 ppm	Enero, febrero, junio, octubre
P-PO <sub>4</sub> .....	800-900 ppm 400-500 ppm	Enero a mayo Junio a octubre
Potasio .....	1.75% 2.75%	Mayo a octubre Diciembre y febrero

\* Floración principal: Abril  
Epoca de cosecha: Diciembre-enero

Cuadro 6.11 Contenido de nutrimentos en las hojas del cafeto en Brasil, en el cultivar Mundo Novo, en relación a la época de la toma de la muestra [63]

Elemento	Verano	Otoño	Primavera
	%		
N .....	2.73	2.65	2.83
P .....	0.157	0.137	0.154
K .....	2.03	1.98	2.13
Ca .....	1.37	1.16	1.29
Mg .....	0.43	0.40	0.38
	ppm		
S-SO <sub>4</sub> .....	549	392	534
B .....	53	52	40
Cu .....	10.9	11.4	9.8
Fe .....	97	167	149
Mn .....	235	213	248
Mo .....	0.11	0.13	0.12
Zn .....	15	13	13.3
Al .....	39	78	107
Na .....	147	130	140

rutina como guía de la fertilización del cafeto (Figuras 6.7 a 6.14). En estas gráficas se nota que la aplicación de fungicidas a base de cobre o de compuestos de zinc para el control de estas deficiencias elevan el contenido del respectivo elemento en las hojas a tenores muy por encima del nivel crítico. En el Cuadro 6.11 se presenta la variación de la concentración de nutrimentos en las hojas de acuerdo con la estación del año en Brasil [63].

Los niveles de NPK establecidos por Loué [80, 82, 83] en la especie *C. canephora*, fueron determinados en el tercer par de hojas. En el Cuadro 6.12 se transcribe un resumen. Forestier [53] indica que el nivel de potasio en *C. canephora* debe estar comprendido entre 1.8% y 2.2% (en base seca) tendiendo hacia 2.2% en arbustos jóvenes (en hojas tomadas en ramas de 3 años de edad) y hacia 1.8% en las plantas más viejas. Considera que entre 1.5% y 1.8% existe deficiencia de potasio, más o menos marcada de acuerdo con las circunstancias; las plantas jóvenes son más susceptibles a la deficiencia. Por debajo de 1.5% estima que existe una deficiencia seria y que la producción disminuye considerablemente. Para ampliar datos sobre niveles de suficiencia se cuenta con la revisión de Müller [107].

#### Composición química de hojas deficientes en minerales

Cuando el cafeto sufre de deficiencia de minerales la planta muestra índices nutricionales *sui generis*, según el elemento presente en mínimo relativo [28]. En el Cuadro 6.13 se consignan datos pertinentes y en el Cuadro 6.14 las relaciones nutritivas (equilibrios) que se derivaron de estos estudios (página 222).

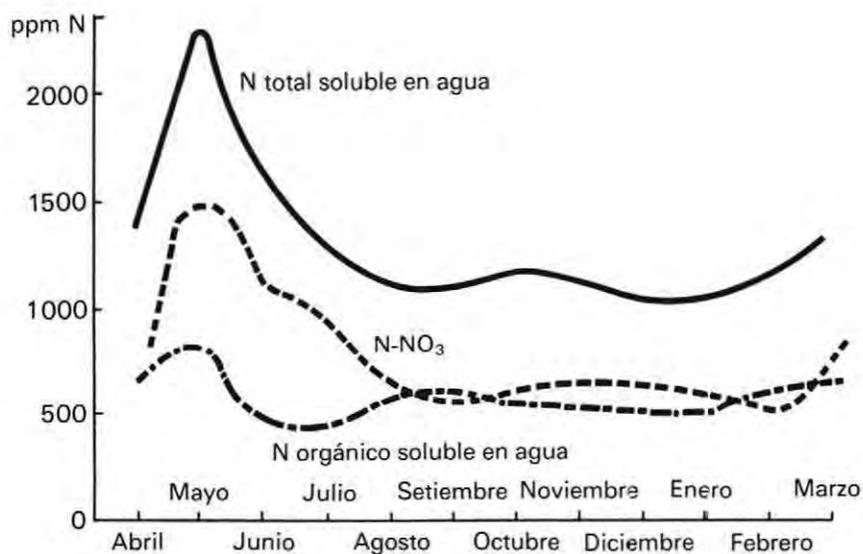


Figura 6.7 Variación estacional de las fracciones nitrogenadas solubles en agua presentes en los segundos pares de hojas del caféto (*C. arabica* cv. Bourbon [22]).

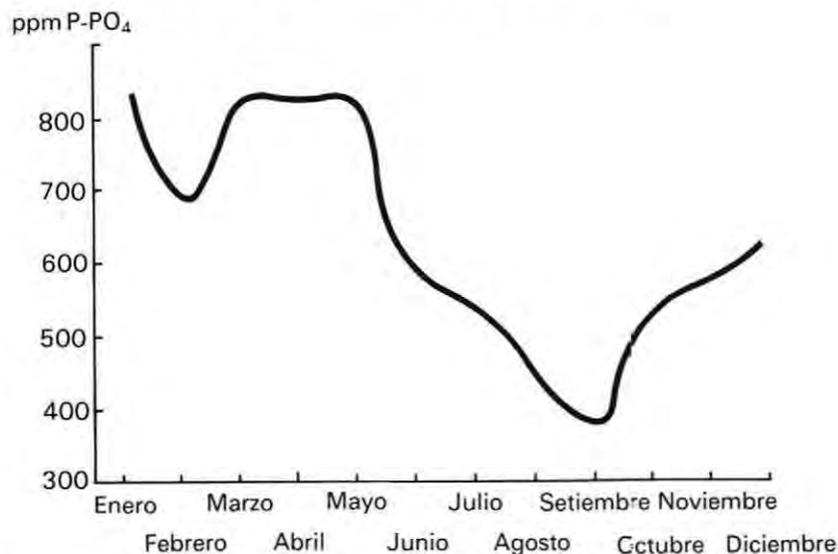


Figura 6.8 Variación estacional del contenido de fósforo soluble (P-PO<sub>4</sub>) en los segundos pares de hojas del caféto (*C. arabica* cv. Bourbon). Valores obtenidos en una plantación al sol, con aplicación de riego en la estación seca [22].

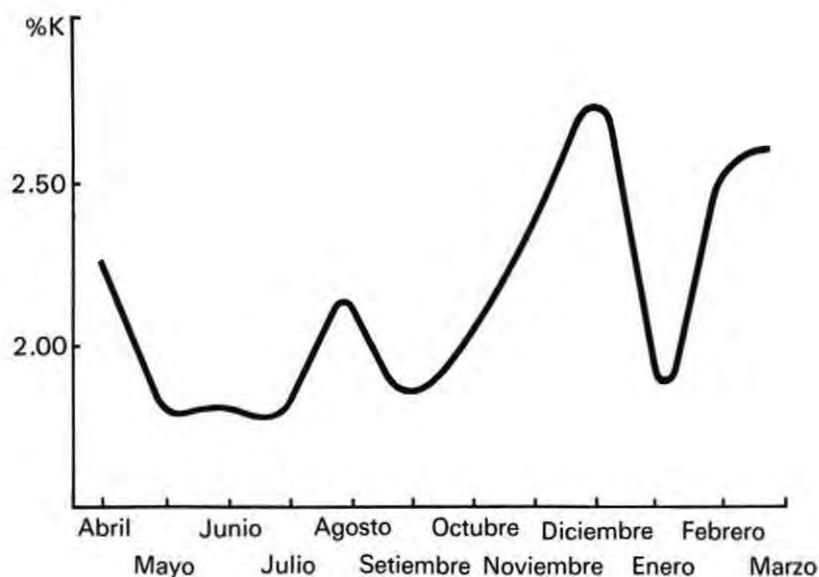


Figura 6.9 Variación estacional del contenido de potasio en los cuartos pares de hojas del café de la mitad inferior de los arbustos (*C. arabica* cv. Bourbon [22]).

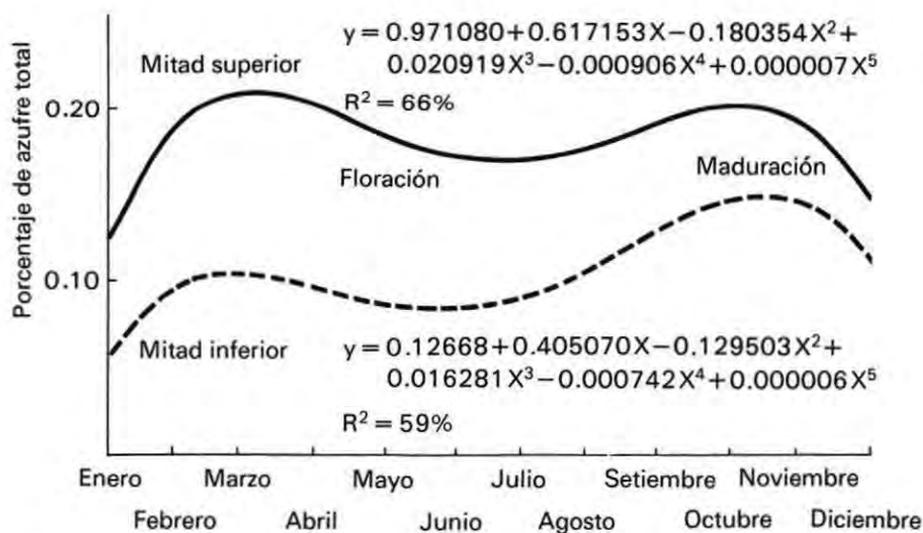


Figura 6.10 Variación estacional del contenido de azufre total en las hojas del café (*C. arabica* [95]).

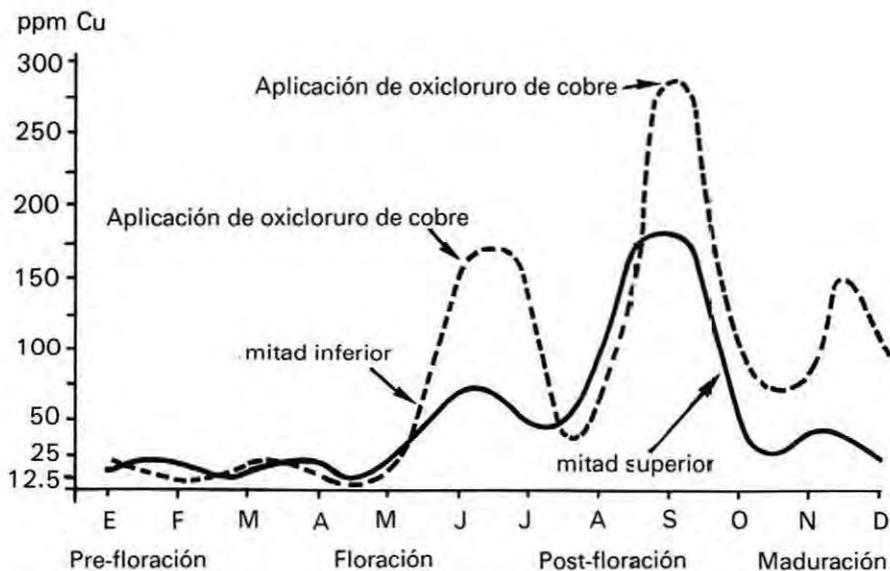


Figura 6.11 Efecto de la aplicación foliar de cobre sobre el contenido promedio de Cu en seis variedades de *C. arabica* [45].

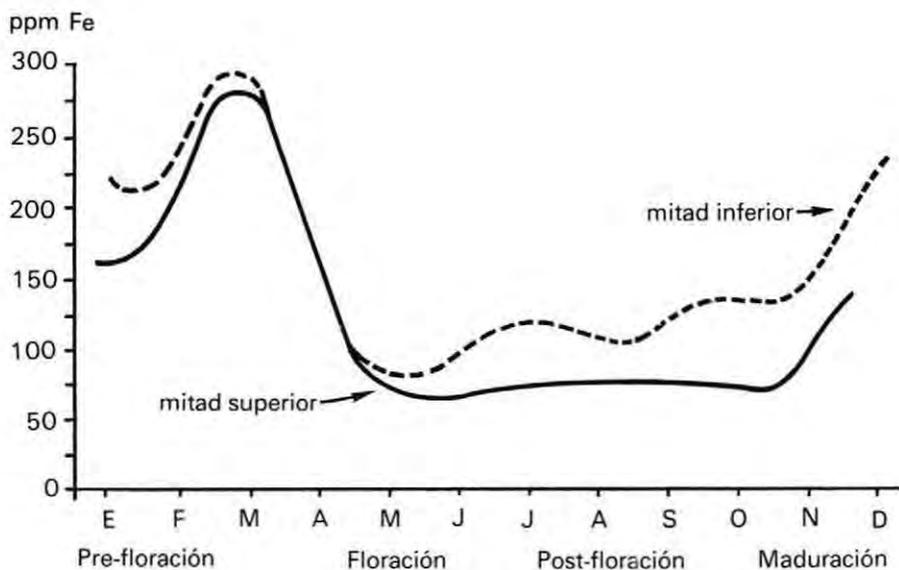


Figura 6.12 Variación estacional del contenido promedio de hierro en seis variedades de *C. arabica* [45].

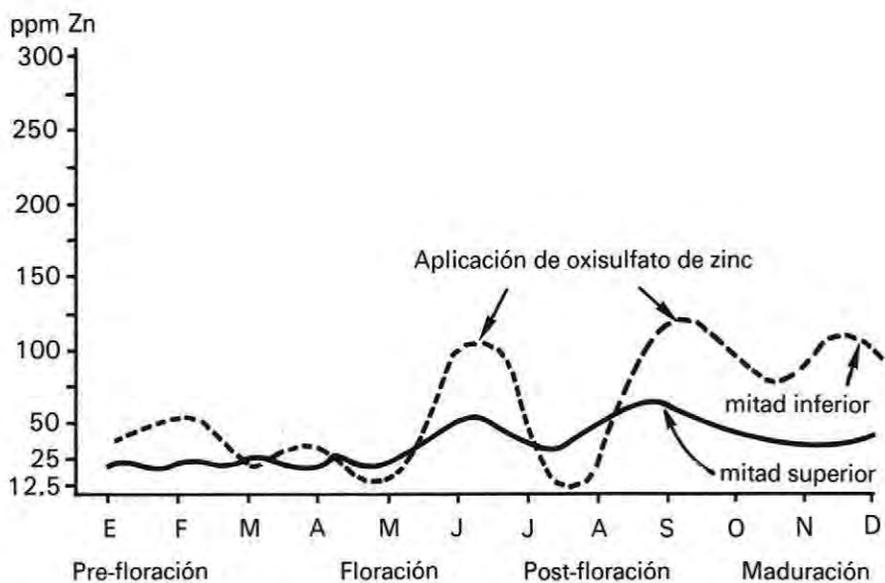


Figura 6.13 Efecto de la aplicación foliar de zinc sobre el contenido promedio de Zn en seis variedades de *C. arabica* [45].

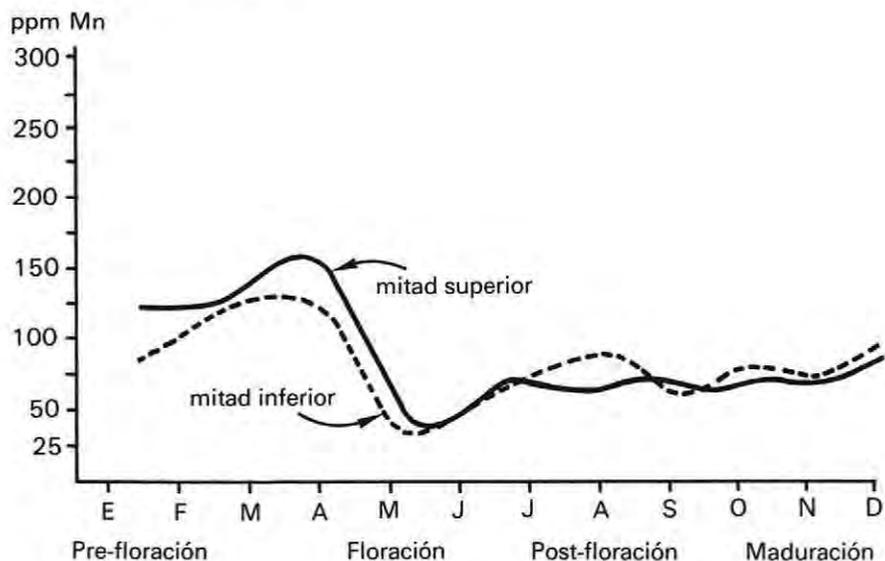


Figura 6.14 Variación estacional del contenido promedio de manganeso en seis variedades de *C. arabica* [45].

**Cuadro 6.12** Interpretación de los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en el tercer par de hojas en la especie *C. canephora* (Robusta) [80, 82, 83]

Elemento	Porcentaje en materia seca	Apariencia de las hojas e interpretación
Nitrógeno total	<1.8	Deficiencia severa, las hojas presentan síntomas
	1.8–2.5	Hojas color verde pálido o verde claro
	2.5–2.8	Zona de suministro necesario y particularmente rentable (Dosis, 50–60 g N/arbusto)
	2.8–3	Zona de buena cosecha
	3–3.3	Zona de muy buen rendimiento
	>3.3	Nitrógeno en exceso. Observar las relaciones N/P y N/K
Fósforo P	<0.09	Deficiencia severa. Existe respuesta a 50 g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /arbusto/año
	0.09–0.11	Zona de deficiencia. (Dosis: 40–50 g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /planta/año) Un contenido de 0,10% es insuficiente en la estación lluviosa pero es aceptable en la estación seca
	0.11–0.12	Zona media. Suministro moderado, 40 g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /arbusto
	0.12–0.13	Zona de buen rendimiento. Dosis: 40 g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /arbusto
	0.13–0.15	Zona de muy buenos rendimientos. Dosis: 30 g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /arbusto
	>0.15	Fósforo en exceso. Observar el cociente N/P
Potasio K	<0.3	Carencia de potasio. Se observa necrosis en los bordes de las hojas. Dosis: 150 kg K <sub>2</sub> O/ha
	0.3–0.8	Deficiencia grave. La necrosis se observa durante la estación seca. Dosis: 150 kg K <sub>2</sub> O/ha
	0.8–1.2	Zona de deficiencia, aunque no se observa necrosis en los bordes de las hojas. Dosis: 100–120 kg K <sub>2</sub> O/ha
	1.2–1.8	Deficiencia sin síntomas de necrosis o decoloraciones en los bordes de las hojas. Dosis: 100–120 kg K <sub>2</sub> O/ha
	1.8–2.5	Zona de nutrición normal. Dosis: 80–100 kg K <sub>2</sub> O/ha según los rendimientos
	2.5–3	Exceso de potasio. Puede sospecharse deficiencia de magnesio
	>3	Potasio en exceso. Puede acompañarse de deficiencia de calcio o magnesio*

\* Los niveles de calcio y magnesio en las hojas dependen de la nutrición potásica

Con fundamento en este principio, y tomando en consideración que teóricamente las ramas con cosecha muestran primero los síntomas de deficiencia, Müller [106] propuso la técnica de analizar hojas provistas de ramas con y sin cosecha, para cuantificar diferencias y derivar conclusiones respecto al estado nutricional de las plantaciones.

**Cuadro 6.13** Composición química de las hojas del caféto (segundos pares del tercio superior) en correspondencia con deficiencia en minerales [35a]

Tratamientos	Nitrógeno								
	NTSA ppm	NOSA ppm	N-NO <sub>3</sub> ppm	N-total %	P-PO <sub>4</sub> %	K %	Ca %	Mg %	S %
- N	680 <sup>e*</sup>	630 <sup>c</sup>	50 <sup>d</sup>	1.59 <sup>c</sup>	0.08 <sup>b</sup>	3.03 <sup>bc</sup>	0.70 <sup>d</sup>	0.26 <sup>c</sup>	0.26 <sup>a</sup>
- P	3360 <sup>b</sup>	2100 <sup>b</sup>	1250 <sup>b</sup>	3.28 <sup>b</sup>	0.04 <sup>c</sup>	2.73 <sup>c</sup>	1.08 <sup>c</sup>	0.29 <sup>b</sup>	0.18 <sup>b</sup>
- K	2390 <sup>c</sup>	1440 <sup>c</sup>	950 <sup>bc</sup>	2.96 <sup>b</sup>	0.08 <sup>b</sup>	0.36 <sup>d</sup>	1.30 <sup>b</sup>	0.35 <sup>a</sup>	0.17 <sup>c</sup>
- Ca	1400 <sup>d</sup>	970 <sup>d</sup>	430 <sup>cd</sup>	2.92 <sup>b</sup>	0.07 <sup>b</sup>	4.33 <sup>a</sup>	0.33 <sup>e</sup>	0.30 <sup>b</sup>	0.19 <sup>b</sup>
- Mg	2120 <sup>c</sup>	1480 <sup>c</sup>	640 <sup>bcd</sup>	3.44 <sup>ab</sup>	0.08 <sup>b</sup>	3.63 <sup>b</sup>	1.80 <sup>a</sup>	0.13 <sup>c</sup>	0.22 <sup>a</sup>
- S	6700 <sup>a</sup>	4000 <sup>a</sup>	2700 <sup>a</sup>	4.06 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	3.63 <sup>b</sup>	1.25 <sup>bc</sup>	0.33 <sup>a</sup>	0.09 <sup>d</sup>
Testigo	2520 <sup>c</sup>	1400 <sup>c</sup>	1260 <sup>b</sup>	3.55 <sup>ab</sup>	0.07 <sup>b</sup>	3.30 <sup>bc</sup>	1.06 <sup>c</sup>	0.23 <sup>d</sup>	0.20 <sup>b</sup>
C.V.	12.42	9.94	34.75	5.75	5.76	6.33	2.25	2.69	6.09

\* Los tratamientos con las mismas letras en cada columna, son estadísticamente iguales entre sí, según la prueba de *Duncan* al 1%

**Cuadro 6.14** Relaciones nutritivas derivadas de la composición química de hojas de café deficientes en minerales [35]

Tratamientos	N:P:K	K		NOSA S	Ca Mg	K Mg	K Ca	K Ca + Mg	N oxidado N reducido	N soluble % del total soluble
		N + P	S							
- N	19.8:1:37.8	1.81	6.11	0.24	2.7	11.6	4.3	3.12	0.07	4
- P	82 :1:68.2	0.82	18.22	1.16	3.7	9.4	2.5	2.08	0.59	10
- K	37 :1: 4.5	0.11	17.41	0.84	3.6	1.0	0.3	0.21	0.65	8
- Ca	41.7:1:61.8	1.45	15.36	0.51	1.1	14.4	13.1	6.92	0.44	5
- Mg	43 :1:45.3	1.03	15.63	0.67	13.8	27.9	2.01	1.93	0.43	6
- S	36.9:1:33	0.87	45.11	4.44	3.78	11.0	2.9	2.34	0.67	16
Testigo	50.7:1:47.1	0.91	17.75	0.70	4.6	14.3	3.1	2.62	0.90	7

### 6.3.3 Diagnóstico bioquímico

Ciertas enzimas son particularmente sensibles, en cuanto a su actividad se refiere, cuando algunos elementos esenciales afectan la nutrición de las plantas. Tales elementos limitan su síntesis o activación. Dentro de esta categoría se incluye a un número de enzimas específicas, la reductasa del nitrato, peroxidasa, la anhidrasa carbónica y la oxidasa del ácido ascórbico. El método ha sido ampliado con la determinación del contenido de agmatina y de putrescina como criterio de diagnóstico asociado muy de cerca a la deficiencia de potasio (aún pendiente de investigación en café). Este compuesto se acumula, en algunas especies, hasta 50 veces sobre la canti-

dad normal en plantas deficientes. La biosíntesis de la putrescina tiene origen en la arginina y la agmatina es uno de los compuestos intermedios. La determinación de la plastocianina, activada por cobre, también se incluye dentro de esta categoría. El uso de la determinación de la actividad de la reductasa del nitrato (aRN) ha sido sugerido en especial para definir la frecuencia de aplicación de nitrógeno en condiciones de campo, para cuya determinación inclusive se ha investigado un método semicuantitativo [31, 32, 133].

La investigación de la aRN en el café puede decirse que es exhaustiva, tanto respecto a investigación básica como en sus aspectos prácticos. El potencial de asimilación de nitrato  $aRN_{(inducida)}/aRN_{(basal)}$  ha sido tentativamente fijado en 1.22 por Villalobos y Carvajal en investigaciones de campo [132]. La aplicación de nitrógeno en dosis estratificadas, evaluada mediante el potencial de asimilación de nitrato que se manifiesta en plantas deficientes, ha permitido concluir que la aplicación de 100 kg/ha de N, o más, mantienen por aproximadamente 50 días un potencial de asimilación entre 1 y 1.33 [127]. Este «efecto de saturación» que se pone de manifiesto a partir de la aplicación de una cantidad mínima adecuada de nitrógeno, es muy importante en la práctica, pues da una clara idea de la dosis que el café requiere de acuerdo con su exigencia momentánea. La investigación en aRN en café ha abarcado los siguientes aspectos [7, 8, 31, 32, 35, 126, 127, 132, 133]:

- a. investigación básica sobre metodología analítica en el laboratorio
- b. precauciones en la toma de las muestras foliares en el campo y en su procesamiento en el laboratorio
- c. la influencia de alteraciones naturales (luz, humedad del suelo) en la actividad de la enzima
- d. determinación del potencial de asimilación de nitrato mediante la magnitud del cociente  $aRN_{(inducida)}/aRN_{(basal)}$
- e. variación estacional de la aRN y del potencial de asimilación de nitrato durante un ciclo anual
- f. el tiempo de inducción de la aRN por diferentes fuentes de nitrógeno aplicadas al suelo
- g. el «efecto de saturación» en la actividad de la enzima provocado por dosis escalonadas de nitrógeno
- h. la postulación de un método de campo para determinar el estado nutricional por nitrógeno y la frecuencia de su aplicación

En las Figuras 6.15 y 6.16 se representa esquemáticamente el potencial de asimilación de nitrato encontrado en plantaciones comerciales fertilizadas según se estila entre los caficultores de la región. Nótese que durante la época de recolección de la cosecha en ambas localidades investigadas las plantas manifestaron, «bioquímicamente», deficiencia de nitrógeno. Los análisis fueron practicados en hojas del segundo par procedentes de ramas plagiotrópicas. La deficiencia se asoció con una disminución del contenido de agua en el suelo.

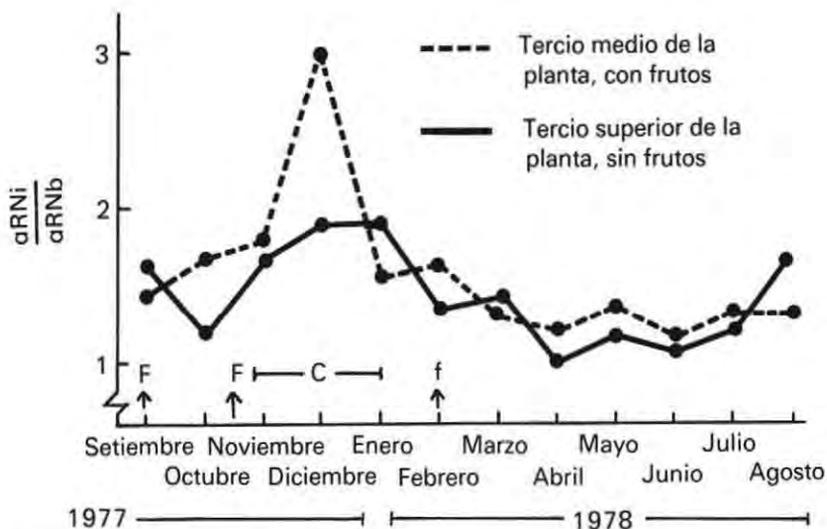


Figura 6.15 Potencial de asimilación de nitrato en condiciones de la Meseta Central de Costa Rica, bajo la influencia de la estación seca durante el período de la cosecha. Nótese el comportamiento del potencial cuando la cosecha se recolecta durante pocos meses [126]. F = fertilización; f = floración; C = época de cosecha.

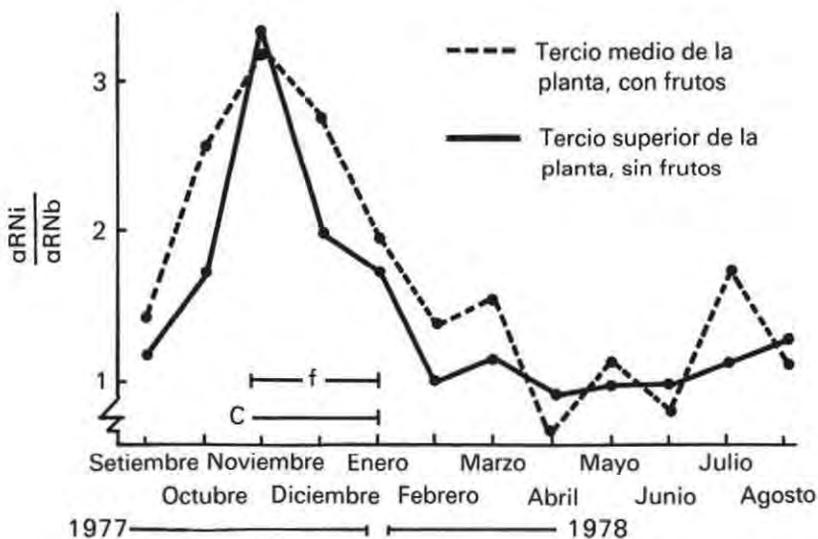


Figura 6.16 Potencial de asimilación de nitrato en condiciones de la Vertiente Atlántica de Costa Rica, bajo la influencia de una larga estación húmeda. Nótese el desplazamiento del índice durante el período de recolección de los frutos [126]. f = floración; C = época de cosecha.

### 6.3.4 Diagnóstico visual

El método de diagnóstico visual tiene aplicación cuando los cafetos sufren de deficiencias severas de nutrimentos. Fue el primer método que se sugirió usar en relación al diagnóstico del estado de nutrición de las plantas y aún continúa su uso. Su aplicación es muy común en los países en donde la tecnología de la caficultura científica aún no está muy desarrollada. Cuando existe un complejo de deficiencias múltiples, el método conduce a errores. Asimismo, la deficiencia de un elemento puede enmascarar o distorsionar el síntoma de otro. Varios autores que han investigado en el invernadero y en el campo los síntomas de deficiencia de minerales en el cafeto han confeccionado claves para la identificación de cada una.

Cuando la nutrición integral se controla adecuadamente, la sintomatología visible deja de ser un método de diagnóstico importante. Lo ideal es corregir las deficiencias antes de que se presenten los síntomas visuales.

### 6.3.5 Clave para la identificación de los síntomas de deficiencia

Los estudios de las características visibles de los síntomas de deficiencia que dieron base para elaborar la presente clave [13, 44] indican que la sintomatología obtenida en invernadero resulta coincidente con la que se observa en el campo, excepción hecha del síntoma de deficiencia de calcio que no ha podido ser corroborado por el autor, debido a que en la realidad no existe suelo deficiente a tal extremo como para que los cafetos que crecen muestren síntomas de deficiencia severa de este elemento. La sintomatología propia de las deficiencias de cobre y molibdeno, que forma parte de la clave, proviene de Brasil [93]. El lector que desee reunir más elementos de juicio sobre la identificación de síntomas de deficiencia en el campo tiene a su disposición otras claves [94a, 105].

La literatura en relación con la sintomatología que exhibe el cafeto por insuficiencia de minerales es muy completa y algunos de estos trabajos están muy bien respaldados por análisis químicos de los órganos afectados los que no sólo ratifican las anomalías que se presentan sino que dan luz respecto al equilibrio nutricional (absorción, acumulamiento) de otros elementos esenciales en la planta [36, 41, 55, 60, 81, 91]. Los estudios se han hecho extensivos a la descripción de síntomas de deficiencias simultáneas, tales como calcio-boro, calcio-magnesio y potasio-calcio [73]. La literatura mundial destaca muy bien los límites de suficiencia para cada nutrimento, según datos analíticos obtenidos por varios autores [93, 107]. La clave que a continuación se transcribe corresponde a una revisión de la primera versión [22].

#### Hojas con clorosis

##### – Nitrógeno

Las hojas adultas presentan una clorosis uniforme que avanza de la base hacia el ápice y de la vena central hacia los bordes. Cuando la deficiencia es severa la clorosis se torna más amarillenta y abarca todo el limbo. Hojas jóvenes pueden mostrar una



Foto 13  
Deficiencia de nitrógeno.

Foto 14  
Deficiencia de fósforo.

Foto 15  
Deficiencia de potasio.

Foto 16  
Deficiencia de calcio.

Foto 17  
Deficiencia de magnesio.

*Foto 18*  
Deficiencia de azufre.



*Foto 19*  
Deficiencia de hierro.

*Foto 20*  
Deficiencia de boro.



*Foto 21*  
Deficiencia de manganeso.

clorosis a lo largo de los bordes, la que se destaca a manera de una cinta amarilla, de aproximadamente 1 mm de ancho (Foto 13).

– *Fósforo*

Hojas con clorosis leve, uniforme, color verde limón opaco, que se torna más amarillenta en hojas más viejas. Estas a menudo muestran una clorosis lobular entre las venas.

– *Potasio*

Las hojas adultas más viejas presentan una clorosis amarillenta, a manera de una banda cerca del borde; las venas pueden mostrar igual coloración. Un halo amarillento limita la necrosis del borde y del ápice foliar (*leaf scorch*) que a menudo se observa (Foto 15).

– *Calcio*

Las hojas jóvenes presentan un color verde pálido cerca de los bordes; a lo largo de la vena central permanece el color verde. Entre las dos zonas se destaca una zona bronceada de límites difusos. Las hojas adultas pierden su condición de erectas, de modo que, sin llegar hasta la abscisión, quedan colgando hacia abajo (Foto 16).

– *Magnesio*

Las hojas adultas exhiben una clorosis que en casos severos se torna de color amarillo paja, mate, que se destaca en la región comprendida entre la venación primaria (Foto 17).

– *Azufre*

Hojas jóvenes de color verde citrino, angostas. Las nervaduras secundarias aparecen hundidas y las secciones que limitan sobresalen en relieve cóncavo. En hojas de mayor tamaño la clorosis se torna amarillenta (Foto 18).

– *Hierro*

Hojas jóvenes, de tamaño mayor que el normal, muestran una clorosis generalizada color verde amarillento hasta blanquecino, sobre la que se destacan, nítidamente, las nervaduras color verde (Foto 19).

– *Boro*

Hojas adultas presentan clorosis color verde aceituna, mate, que se extiende del ápice hacia la base, abarcando un tercio o más de la hoja; la parte que retiene el color verde típico mantiene el brillo. El sistema venal aparece en este caso poco llamativo. Hojas jóvenes, producto del crecimiento en «palmilla», pueden aparecer cloróticas, permaneciendo las venas verdes (Foto 20).

– *Manganeso*

Hojas jóvenes de tamaño desmesurado presentan una clorosis parcial o total sobre la que se destaca un retículo formado por una banda fina color verde que contiene las venas secundarias y terciarias (Foto 21).

– *Zinc*

Hojas jóvenes de tamaño normal o de menor tamaño muestran una clorosis color verde pálido, uniforme y un retículo verde a veces difuso. Cuando la deficiencia progresa las hojas aparecen angostas y ocurre crecimiento en roseta; la clorosis se acentúa y se localiza especialmente entre las venas secundarias (Foto 22).

## Hojas con necrosis

– *Fósforo*

Algunas hojas adultas presentan áreas y puntos necróticos en el ápice y en los bordes; los puntos se distribuyen irregularmente y los de mayor diámetro aparecen rodeados de una aureola amarilla. Cuando la deficiencia es muy severa una necrosis café rojizo avanza considerablemente y se extiende del ápice hacia el interior de la lámina. Un déficit hídrico severo provoca una necrosis muy semejante a la que produce una deficiencia avanzada de fósforo (Foto 14).

– *Potasio*

Las hojas adultas se desprenden con facilidad y muestran áreas necróticas color café rojizo diseminadas en todo el limbo, o más típicamente una quema en los bordes (*leaf scorch*) limitada hacia el interior de la hoja por un halo verde amarillento (Foto 15).

– *Magnesio*

Las hojas adultas presentan puntos necróticos de color bronceado diseminados en todo el limbo.

– *Boro*

Las hojas más jóvenes presentan áreas necróticas en el haz, pequeñas, de color café rojizo y forma angular. Algunas de éstas coalescen y producen deformaciones típicas en el crecimiento del limbo (Foto 20).

– *Calcio*

El color de las hojas jóvenes se afecta por la presencia de puntos necróticos de tamaño diminuto y de un color rojo ladrillo (bronceado) localizados en el haz, entre una zona verde pálido hacia los bordes y una verde típico cerca de la vena central. Al coalescer los puntos necróticos hacen sobresalir la nervadura central y las secundarias que mantienen el color verde.

– *Cobre*

Las hojas presentan nervaduras salientes (costillas), clorosis leve y manchas pardas asimétricas. Las hojas más jóvenes aparecen distorsionadas, con una forma en S por falta de crecimiento de los nervios y pierden su color verde. Las manchas necróticas, más bien grandes, aparecen en los márgenes.

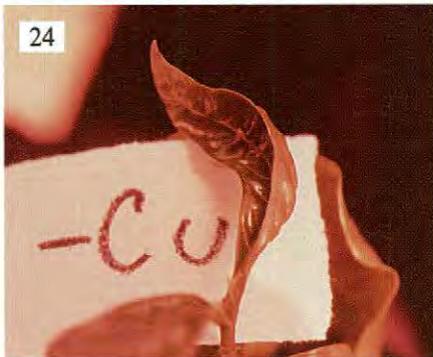


Foto 22  
Deficiencia de zinc.

Foto 23  
Deficiencia de molibdeno.

Foto 24  
Deficiencia de cobre.

(Fotos 23 y 24 por cortesía del Prof. Dr. E. Malavolta, ESALQ, Universidad de São Paulo/Brasil)

#### – Molibdeno

Inicialmente, se desarrollan manchas amarillas cerca de los márgenes, volviéndose amarillo pardas y necróticas primeramente en el centro. Desde la parte central sucede un rizamiento de las hojas, de manera que los lados opuestos se tocan por debajo. Las hojas subterminales son las primeras afectadas (Foto 23).

#### Hojas de forma atípica

##### – Boro

Hojas jóvenes pequeñas, corrugadas, de consistencia coriácea, con los bordes deformados. En estado incipiente la coalición de áreas necróticas produce deformaciones en el crecimiento del limbo. Crecimiento en palmilla (Foto 20).

##### – Cobre

Las hojas más jóvenes aparecen distorsionadas y adoptan una forma de S, provocada por la falta de crecimiento de los nervios (Foto 24).

– *Zinc*

Hojas más pequeñas que las normales, lanceoladas, muy angostas, de bordes lisos, a veces encorvados a manera de cartucho. Crecimiento en roseta (Foto 22).

– *Calcio*

Hojas jóvenes de bordes apreciablemente lisos, lo que las hace adoptar una forma cóncava o convexa, con los bordes encorvados.

– *Hierro, Manganeso*

Hojas jóvenes de tamaño anormalmente grande, con clorosis leve hasta severa y retículo prominente.

### **Formación de corcho en las hojas**

– *Boro*

Hojas adultas de tamaño normal presentan suberización de la vena central y las secundarias; la presencia de corcho es más notable en la región abaxial.

### **Muerte de meristemas apicales**

– *Boro, calcio*

Las regiones meristemáticas apicales mueren y se observa el progreso de la muerte descendente (*die-back*).

Respecto a la ocurrencia de muerte descendente, Müller [105, 107] asocia las deficiencias de nitrógeno y potasio con la aparición de necrosis apical (*die-back*) en las ramas con fruto. La deficiencia de boro, con la muerte de la yema caular y de las correspondientes a las ramas laterales principales. Añade que con frecuencia la deficiencia de zinc produce un síntoma igual en las ramas viejas.

La zona bronceada de límites difusos asociada a la deficiencia de calcio solamente se ha observado en investigaciones de invernadero. En el campo la clorosis típica se circunscribe al empaldecimiento de los bordes al tiempo que las hojas jóvenes encorvan los bordes hacia abajo, dando la apariencia de una hoja convexa o cóncava [105].

La presencia de antocianina que se observa en plantas mal nutridas, se asocia con estados de deficiencia de nitrógeno, fósforo y magnesio.

### **6.3.6 Respuesta a la aplicación de nutrimentos**

La aplicación de nutrimentos se realiza en dos sentidos: al suelo, mediante la adición de nutrimentos simples o compuestos, y al follaje mediante atomización o espolvoreo. Una variante consiste en la aplicación de inyecciones al tallo o de otros tratamientos de efecto similar, que se usan para identificar las deficiencias cuando

existen problemas de disponibilidad de nutrimentos en el suelo que impiden una utilización rápida. La absorción foliar de sales nutrientes (o de quelatos), ocurre con rapidez.

La técnica que corresponde a la aplicación al suelo de elementos en dosis escalonadas, ha sido la más usada en los países en desarrollo en la experimentación a largo plazo. La mayor parte de las recomendaciones de fertilizantes que se hacen, corresponden a resultados obtenidos en el campo.

En las Figuras 5.1, 5.3, 5.5 y 5.6 se aprecian ejemplos de resultados que se han obtenido mediante esta técnica, con la que se ha logrado definir la dosificación óptima de los nutrimentos.

En Brasil continúan investigando con éxito la corrección de la deficiencia de zinc mediante la aplicación del elemento al suelo. En las investigaciones realizadas en un principio se encontró que el pH ideal es de  $\approx 5.0$ ; que la presencia de calcio, hierro y boro estimulan su absorción, mientras que la de cobre y manganeso ejercen un efecto antagónico [62].

## 6.4 Correlaciones entre dosis de fertilizantes, análisis foliar y cosecha

Algunos investigadores han estudiado la relación que existe entre el contenido de nutrimentos en el follaje y la cosecha. La información en este particular a pesar de ser tan importante, desafortunadamente no es muy vasta, pero es concluyente. Las Figuras 6.17, 6.18, 6.19 y 6.20, se refieren a las regresiones y correlaciones halladas en especímenes de *C. arabica* en Puerto Rico, Brasil, El Salvador y la India [1, 50, 94, 118]. Las relaciones indican que a medida que los porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio aumentan en la planta de café, la producción efectiva es mayor, de lo que se concluye que la cosecha guarda una proporción con la nutrición del arbusto. Por otro lado, los coeficientes de correlación señalan que existe una correspondencia positiva (factor de predicción) entre el contenido de NPK en las hojas y la producción del cafeto.

*Malavolta [94]* señala que los tenores de nutrimentos en las hojas, por sí solos no siempre reflejan un estado nutricional estrictamente confiable. Por lo tanto, sugiere algunas relaciones que considera pueden ayudar a una interpretación más correcta:

$$N/P = 21-23$$

$$N/S = 13$$

$$K/Ca = 1.25-1.77$$

$$K/Mg = 4-6$$

Las correlaciones entre dosis de fertilizantes y producción han sido enfatizadas en el Capítulo 5. También se ha informado acerca de correlaciones entre el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio del suelo y la composición de las hojas del café [113, 130]. Estudios similares aun cuando con algunas variantes han sido realizados en *Coffea canephora* [109, 110].

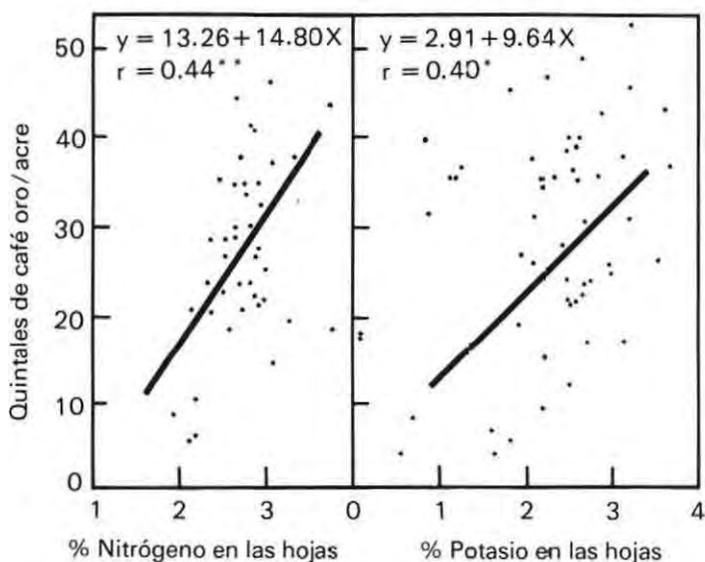


Figura 6.17 Relación entre el contenido de nitrógeno y potasio en las hojas del café y la cosecha [1].

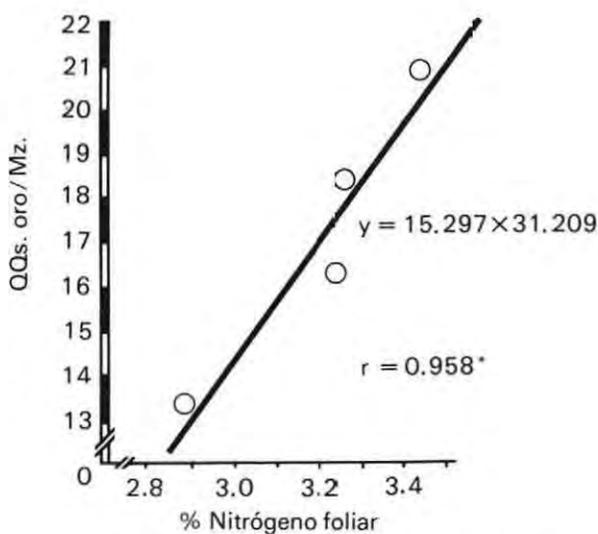


Figura 6.18 Correlación entre el contenido de nitrógeno en las hojas del café en la estación lluviosa y la producción [50].

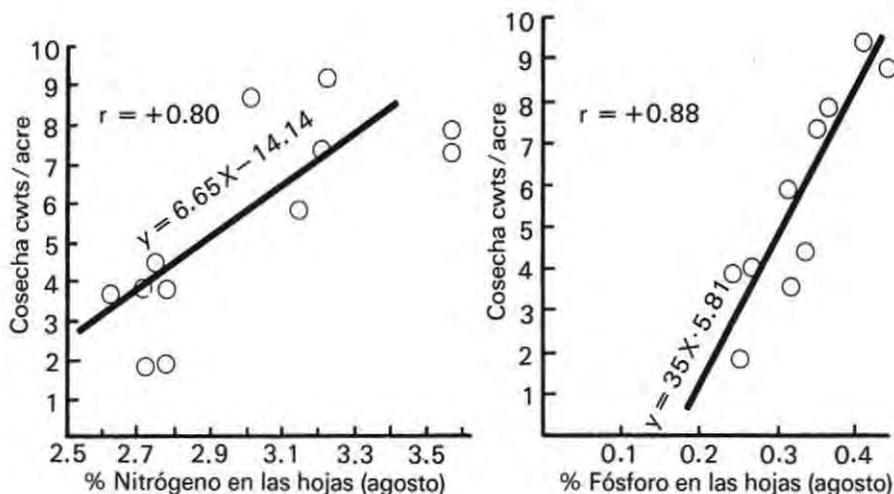


Figura 6.19 Curvas de regresión entre los contenidos de nitrógeno y fósforo en las hojas del café y la cosecha. Los coeficientes de correlación ( $r$ ) indican el valor promedio de ramas con y sin fruto [118].

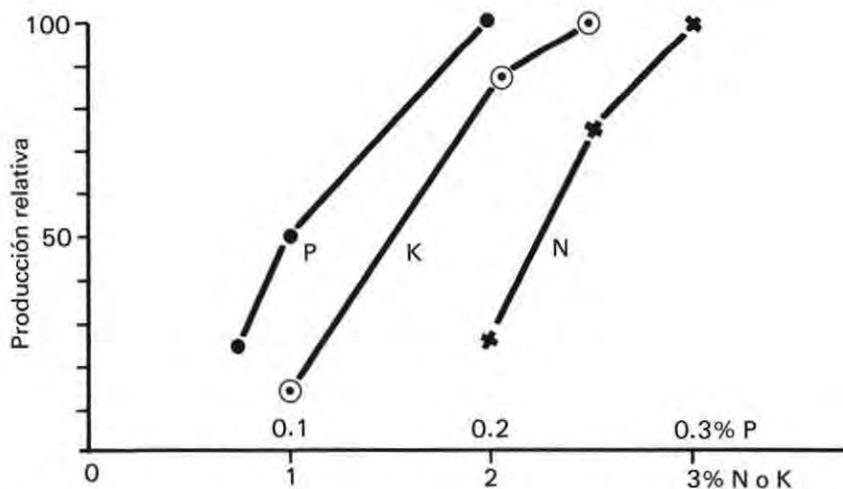


Figura 6.20 Relación entre la concentración foliar de NPK y la producción del café [94].

## 6.5 Dosificación racional de los fertilizantes y equilibrio de las fórmulas

Los fertilizantes deben ser añadidos de acuerdo a la exigencia de la planta de café [26]. La dosis anual de nitrógeno se sugiere subdividirla idealmente en 3 ó 4 dosis parciales aplicadas cada 60 días según la duración de la estación húmeda. Las aplicaciones deben coincidir con los períodos de mayor intensidad de crecimiento que experimenta la planta. El ciclo anual concluye hacia el final de la estación lluviosa. El suministro en este momento incrementa en las hojas la magnitud del potencial hídrico [26, 69, 126] y disminuye el déficit de nitrógeno que provoca la maduración de la cosecha. En cuanto a dosis/arbusto, esta debe estar comprendida entre 20 y 60 g de N/aplicación, dependiendo del porte de la variedad, la especie, la estimación de la cosecha y la densidad de siembra (a mayor densidad menor dosis). El suministro total/año debe ser de 120–300 kg/ha para la obtención de óptimas cosechas, depen-

*Cuadro 6.15* Equilibrios sugeridos de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O en las fórmulas de fertilizantes para café en producción cuando existen en el suelo cantidades variables de fósforo y potasio, en función de la magnitud de la relación Ca + Mg/K, a un pH óptimo [103]

Potasio (K)	Fósforo (P)*		
	Bajo <15 ppm	Medio 15–30 ppm	Alto >30 ppm
<i>Bajo</i>			
a) <0.2 me %K o,	15-15-15	16-8-16	18-0-18
b) 0.2–0.4 me %K, si $\frac{Ca+Mg}{K} = >10$			
<i>Medio</i>			
a) 0.2–0.4 me %K,	18-18-9	20-10-10	20-0-10
si $\frac{Ca+Mg}{K} = 10$ ó menor, o			
b) 0.4 me %K, si $\frac{Ca+Mg}{K} = >10$			
<i>Alto</i>			
>0.4 me %K, si $\frac{Ca+Mg}{K} = 10$ ó menor	20-20-0	20-10-0	Fuente nitrogenada en función del pH y el requerimiento de azufre

\* Valores sujetos a cambio de acuerdo con el método de calibración que haya sido usado. Los equilibrios, N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O, corresponden a valores promedio. Pueden adoptarse fórmulas por aproximación. Las fórmulas pueden ser complementadas con 3–6% de MgO y 1–2% de B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. De preferencia deben ser preparadas a base de sulfatos. El uso de cloruros en altas dosis puede provocar trastornos. Las primeras observaciones en este sentido fueron hechas en Colombia [74].

diendo del «sistema de producción». En cuanto a fósforo, la aplicación total debe ser hecha en una o dos dosis/año, comprendida entre ~10 y 50 g de  $P_2O_5$ /planta/aplicación. La dosis depende del grado de deficiencia, la edad de las plantas, el porte de la variedad y la especie. *C. arabica* es menos exigente a fósforo que *C. canephora*. La aplicación/año/hectárea debe ser de 40–100 kg de  $P_2O_5$ .

La dosificación del potasio debe estar comprendida entre 20 y 40 g de  $K_2O$ /arbusto/aplicación, para totalizar 90–200 kg/ha/año, según el grado de respuesta. La dosis anual puede ser suministrada al inicio del gran período de crecimiento y, en casos calificados, en dos aplicaciones, la primera en la época mencionada y la segunda conjuntamente con la extra de nitrógeno ligeramente antes del período de maduración, antes del inicio de la estación seca. Esta recomendación la sugieren las investigaciones de Carvajal et al. y de Kumar et al. [26, 69]. El potasio aplicado en esta época ayuda a mantener mejores relaciones hídricas en la plantación durante la estación seca [69].

En el Cuadro 6.15 se destaca la importancia del equilibrio  $\frac{Ca+Mg}{K}$  para el pronóstico del grado de deficiencia de potasio. *El equilibrio nutricional del suelo, debe ser establecido en función del porcentaje de saturación de bases de cada grupo de suelos. La aplicación de los cationes complementarios que sugiere cada caso particular, debe propender a que el suelo llegue a alcanzar finalmente el equilibrio ideal a un nivel de saturación de bases comprendido entre 40 y 60%, a mantener un equilibrio óptimo ( $\frac{Ca+Mg}{K} \approx 10$ ) y una concentración de nutrimentos disponibles oscilando en torno al nivel crítico.* Cuando el suministro de abonos eleva por encima del nivel crítico la concentración de nutrimentos en el suelo, el abonamiento, no solamente no es rentable, sino que inclusive la cosecha puede disminuir si se insiste en fertilizar en exceso.

La literatura menciona que para la mayoría de las plantas cultivadas la relación K:Mg:Ca del suelo debe estar entre 1:3:9 y 1:5:25 [70].

## 6.6 Índice de frecuencia de la aplicación de nitrógeno

La frecuencia de aplicación de nitrógeno puede ser guiada en la práctica mediante análisis foliar, en función de los niveles críticos o de suficiencia de  $NO_3^-$ , NTSA o de N total, investigados entre 1950 y 1970. El método de diagnóstico bioquímico ha sido propuesto recientemente como el más apropiado para investigar la frecuencia de aplicación de nitrógeno en las plantaciones comerciales, con fundamento en investigaciones efectuadas en el campo mismo adelantadas en Costa Rica [31, 32, 126, 133]. Hasta ahora no se conoce otro método más apropiado ni más confiable. Basta con decir que la medición cuantitativa de la aRN es tan sensible a la presencia o ausencia de nitrato que su determinación tiene mayor significado que la de cualquiera otra fracción de nitrógeno en las hojas, en especial cuando lo que se evalúa es el potencial de asimilación de nitrato en la forma como se mencionó en párrafos anteriores (acápite 6.3.3). Este parámetro es muy sensible a las variaciones en la ecología que prevalece en el momento de su medición (déficit hídrico, falta de ilumina-

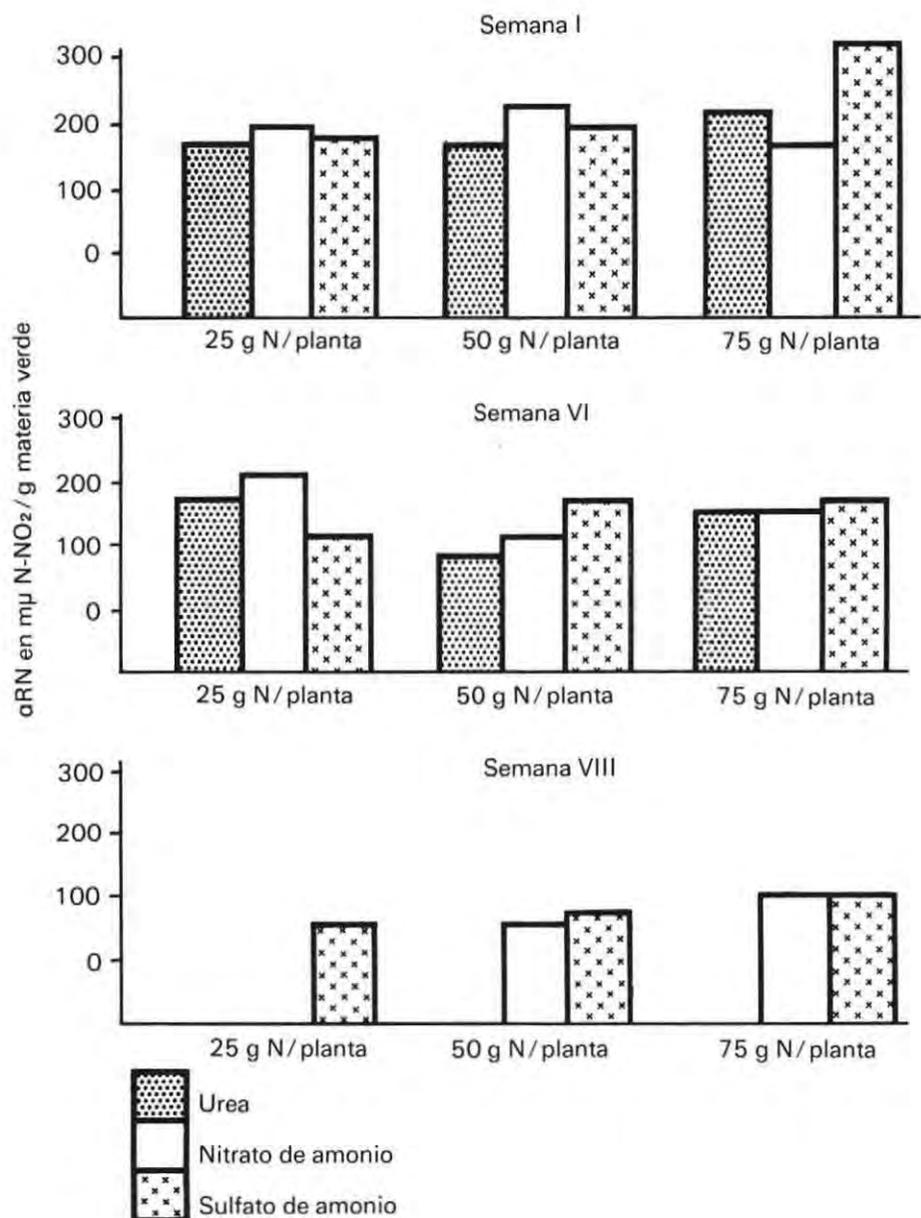


Figura 6.21 Actividad de aRN en plantas fertilizadas con urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio en tres dosis: 25, 50 y 75 g de N durante la I, VI y VIII semanas [31].

ción, lluvia, nubosidad persistente, etc.) [31, 32]. Más aún, la prueba de fuentes de nitrógeno en condiciones de campo, con dosis comprendidas entre 25 y 75 g de N/arbusto aplicado como  $\text{NH}_4\text{SO}_4$ , úrea o  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ , al usar la medición de la aRN como parámetro de evaluación de las dosis y fuentes, puso de relieve que 25 g de nitrógeno/arbusto inducían una actividad enzimática igual a 75 g (efecto de saturación), y que la inducción de la enzima era prácticamente la misma, excepto que la úrea y las dosis bajas de nitrato de amonio aparentemente dejaban de suplir nitrato tiempo antes que la otra fuente. Estos hallazgos fueron obtenidos en estudios realizados en plantas adultas de *Coffea arabica* cv. Caturra, con un historial de buena fertilización durante los cuatro años precedentes. Una reproducción comparativa de los datos obtenidos en este trabajo se presenta en la Figura 6.21. La medición se hizo durante un lapso de 60 días, período sugerido como más adecuado para espaciar en la práctica la aplicación de fertilizantes en las plantaciones de café.

En síntesis, la determinación del potencial de asimilación de nitrato constituye al presente la guía más sofisticada para definir la frecuencia de aplicación de nitrógeno en plantaciones comerciales. La evaluación se recomienda hacerla a intervalos de 7 semanas después de que se aplica la primera dosis. El método tiene la ventaja de no depender de nivel crítico alguno, para su interpretación (método de diagnóstico bioquímico). Cuando la relación  $\text{aRN}_i/\text{aRN}_b$  es significativamente mayor que 1.22 se debe aplicar una fuente nitrogenada que supla entre 50 y 100 kg/ha de N, según la época del año y la exigencia del estado fisiológico que experimenta la plantación.

## 6.7 Método científico de fertilización del café

*Sylvain* incluye al método de fertilización científica del café propuesto en 1972, como una de las innovaciones agrotécnicas importantes de los últimos tiempos [27, 125]. La experiencia del autor acumulada en 25 años, sumada a la de muchos colegas, sirvió de substrato analítico para culminar con la proposición del método que a continuación se presenta.

### 6.7.1 Aspectos valederos y limitaciones del análisis foliar aplicado al café

#### Nitrógeno

La respuesta a los tratamientos nitrogenados puede ser valorada por medio del análisis por nitrógeno total o soluble practicado en las hojas.

#### *Nitrógeno en la planta vs. nivel de fertilización*

1. El análisis por totales no es un buen indicador del nivel de nitrógeno en el substrato, a no ser que el contenido de éste sea muy bajo.
2. La composición de las hojas, respecto a nitrógeno total, varía muy poco entre hojas de distinta edad.

3. El contenido de  $N-NO_3$  disminuye consistentemente a medida que aumenta la edad de las hojas. El tenor aparece estadísticamente significativo entre los pares 1 al 4.
4. El contenido en las hojas de  $N-NO_3$ , refleja, en cualquier momento, la capacidad de suministro de nitrógeno por parte del sustrato.
5. Hojas deficientes en nitrógeno presentan concentraciones de calcio inferiores al óptimo. La concentración de potasio también disminuye.

#### *Nitrógeno en la planta vs. estación del año*

1. El tenor de  $N-NO_3$  en las hojas marca un período de acumulación durante la época de auge del período de crecimiento.
2. La fracción nítrica marca, asimismo, con singular claridad, el efecto del riego durante la estación seca.
3. El contenido de N total muestra muy poca variación durante el año.

#### *Nitrógeno en la planta vs. deficiencia de otros nutrimentos*

1. El contenido normal de nitrógeno soluble,  $N-NO_3$  y NOSA (nitrógeno orgánico soluble en agua), se altera sensiblemente cuando coexisten deficiencias de otros minerales.
2. El análisis de las dos fracciones de nitrógeno soluble mencionadas, sirve para definir, en ausencia de síntomas visibles, si es necesaria la determinación del tenor de otros elementos.

### **Fósforo**

La evidencia experimental indica que el contenido de fósforo de las hojas exhibe sensibilidad diferente, según se trate del contenido total o de la fracción soluble ( $P-PO_4$ ).

#### *Fósforo en la planta vs. nivel de fertilización*

1. El análisis por P total en las hojas aparece como menos sensible que la fracción  $P-PO_4$  para valorar la fertilización fosfórica.
2. El contenido de  $P-PO_4$  es similar en los primeros cuatro pares de hojas.
3. Hojas deficientes en fósforo denotan concentraciones menores de potasio.

#### *Fósforo en la planta vs. estación del año*

1. La curva de concentración de  $P-PO_4$  en las hojas no presenta valores semejantes todo el año, pues denota con claridad el período de auge del crecimiento.

### **Potasio**

El contenido de potasio exhibe características *sui generis* cuando se aplica como medio de diagnóstico del estado de nutrición del café.

### *Potasio en la planta vs. potasio disponible*

1. La concentración de potasio aparece diferente en la mitad superior con respecto a la inferior del arbusto. En la mitad superior la concentración es más alta.
2. El tenor es similar en los primeros cuatro pares de hojas, ya sea de la mitad superior o inferior (dentro de los límites de concentración respectivos).
3. Hojas deficientes en potasio exhiben un mayor contenido de calcio y magnesio y un tenor de nitrógeno inferior al óptimo.

### *Potasio en la planta vs. estación del año*

1. El contenido de potasio en las hojas denota un acumulamiento marcado, en cultivo de secano, durante los meses de noviembre y diciembre (época de cosecha) y posteriormente en febrero y marzo (bajo condiciones climáticas de Costa Rica).

## **Calcio**

### *Calcio en la planta vs. estación del año*

1. La concentración foliar de calcio en las hojas varía según la estación del año.

### *Relación con otros nutrimentos*

1. El contenido de Ca muestra correlación negativa con las concentraciones de boro, potasio y magnesio, por lo que las relaciones con estos nutrimentos deben tomarse en cuenta al interpretar el estado de nutrición integral.
2. Hojas deficientes en calcio muestran una disminución del contenido de nitrógeno.

## **Magnesio**

La deficiencia de magnesio se presenta en las hojas correspondientes al crecimiento del año anterior, en ramas con cosecha.

### *Relación con otros nutrimentos*

1. La deficiencia de magnesio en las hojas pone de relieve un incremento de calcio y potasio.

### *Variación estacional*

1. El tenor de magnesio en las hojas experimenta muy poca variación durante el año.

## **Azufre**

A pesar de que el azufre es un elemento móvil, el síntoma de deficiencia se localiza en las hojas jóvenes.

### *Variación estacional*

1. El contenido de S-SO<sub>4</sub> varía en las hojas según la estación del año.

### Formas químicas

1. El tenor de  $S-SO_4$  refleja con mayor rapidez que el contenido de S total, la aplicación de azufre al suelo.

## 6.7.2 Metodología

El uso de los análisis de suelo y de planta como guía de una fertilización económica, en la forma como a continuación se describe, tiene fundamento en los siguientes hechos [22]:

- a) La adición de fertilizantes tiene un efecto residual que varía con la calidad y la dosis, el tipo de suelo y las condiciones ambientales que prevalecen [17, 131].
- b) El café no absorbe todos los elementos en igual intensidad relativa a través del año [21, 23, 26].
- c) Existen formas químicas de nitrógeno y fósforo en las hojas muy sensibles a la capacidad de suministro respectiva por parte del suelo [15].
- d) Los fertilizantes en dosis demasiado altas o desequilibradas (unilaterales) no producen aumentos en la cosecha; por el contrario, a menudo disminuyen la producción y alteran el balance del medio nutritivo.
- e) La acumulación de nutrimentos en la «banda de fertilización», varía según la fuente de abonos que se aplica y, cuando positiva, exhibe un decaimiento relativamente lento, lo que permite en determinados casos suprimir parcial o totalmente, por algún período, la adición de fórmulas de fertilizantes completos.

A continuación se explica en detalle la secuencia de pasos que se recomienda adoptar con el propósito de que el nutricionista cuente con mejores elementos de juicio en favor de un abonamiento más económico [22, 24]:

### A. Primer Paso: *Análisis del suelo*

1. Al final de la estación lluviosa, inmediatamente después de la cosecha o antes de las lluvias del año siguiente, se debe tomar una muestra de suelo de la «entrecalle»\* y otra de la «banda de fertilización» ambas de profundidad 0–20 cm, para analizarlas por nitrógeno, fósforo y potasio, calcio y magnesio intercambiables. Se determina el grado de acidez (pH), la capacidad de intercambio de cationes, el porcentaje de saturación de bases y se complementa con un análisis por micronutrimentos y aluminio disponible. El análisis de una muestra de suelo de profundidad 20–60 cm tomada en la entrecalle, para conocer las características del subsuelo, es también de utilidad en esta primera etapa\*.

2. Con fundamento en las diferencias entre ambos análisis, en cuanto al equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinotérreos y entre el contenido neto de calcio, magnesio y boro y en la suma de los cationes nutrientes mayoritarios ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $K^{+}$ ), se diseña el programa de fertilización del año (máximo para un trienio). Cuando se considera que es necesario un suministro de calcio, este debe ser hecho inmediatamente antes del inicio de la estación lluviosa. Si se requiere de magnesio y boro se

\* Esta muestra debe ser tomada a intervalos de cuatro años

debe optar por adquirir fórmulas que contengan estos nutrientes. La adición de zinc puede ser hecha mediante atomización al follaje o en aplicación directa al suelo de sulfato de zinc.

#### B. Segundo Paso. *Análisis foliar*

1. Se toman muestras de hojas aproximadamente 50 días después de haber aplicado los fertilizantes, de la manera siguiente: hojas del segundo par (sin contar el primer par de hojas pequeñas inmaduras), para analizar nitrógeno y fósforo soluble ( $\text{N-NO}_3$  y  $\text{P-PO}_4$ , respectivamente), y los micronutrientes boro, zinc, manganeso, hierro y cobre. En esta muestra puede ser analizado también el contenido de azufre ( $\text{S-SO}_4$ ). Como alternativa puede ser analizado el contenido de nitrógeno total soluble en agua (NTSA) en lugar de  $\text{N-NO}_3$ . Se toma una muestra adicional de hojas del cuarto par, de la mitad inferior de los arbustos, para potasio, y una tercera del sexto par para el análisis de magnesio, de ramas con cosecha.

Las concentraciones halladas se comparan con las que corresponden, según la época, en las «curvas de suficiencia» locales que deben haber sido previamente investigadas (figuras representativas de variación estacional de nutrientes) o con los valores de los niveles críticos respectivos que han sido encontrados experimentalmente. En un libro de registro se anotan los valores encontrados y su interpretación.

2. Si se concluye que la dosis de nutrientes que se aplicó en la primera fertilización (inicio de la estación lluviosa y del gran período de crecimiento) necesita de algún suplemento, este es el momento de suministrarlo (aproximadamente 60 días después de la primera aplicación).

#### C. Tercer Paso: *Continuación del análisis foliar*

1. Se toman muestras foliares como en el aparte B, a premaduración de la cosecha, y se analizan por nitrógeno y potasio. El análisis de magnesio es optativo en este momento y los de fósforo y micronutrientes pueden ser descartados.

2. El resultado de este análisis debe servir de guía para definir si la dosificación de nitrógeno y potasio que se usó, fue suficiente. Si no, se debe ordenar un suministro de una cantidad adicional no menor de 20 g de nitrógeno (N) y 20 g de potasa ( $\text{K}_2\text{O}$ ) por arbusto. La dosis puede ser mayor dependiendo de la cantidad de cosecha por unidad de superficie, el porte de la variedad y la densidad de siembra. Si se juzga necesario aplicar magnesio, puede ser añadido mediante atomización, junto con úrea, pues la absorción de este elemento, vía raíz, aparentemente es baja durante este período.

#### D. Cuarto Paso: *Continuación del análisis del suelo*

1. Se toma una nueva muestra de suelo en alguna de las épocas sugeridas en el aparte A, únicamente de la «banda de fertilización» de 0–20 cm de profundidad.

2. Se toma nota del efecto residual de los fertilizantes aplicados y de los equilibrios y cambios inducidos y acto seguido se planea el abonamiento del año venidero, anotando todo en un libro de registro.

### 6.7.3 Análisis complementarios

La muestra de suelo que se toma en la «banda de fertilización» del cafeto, debe ser analizada periódicamente desde el punto de vista fitosanitario. La presencia de nemátodos parásitos, jobotos (*Phyllophaga*), hongos patógenos, etc. resulta de gran utilidad a la luz del conocimiento que hoy se tiene sobre el concepto del cultivo científico integral del cafeto, el cual debe incluir la evaluación periódica de los parámetros ecológicos.

La disponibilidad de datos sobre precipitación anual y su distribución mensual, unido a la información sobre temperaturas locales máximas y mínimas, por día, mes y año, debe formar parte de la información con que el nutricionista y el caficultor deben contar para interpretar correctamente las variables que conforman el cultivo.

## 6.8 Factores que afectan la nutrición

Los factores que influyen en la nutrición del cafeto son de índole diversa y deben ser tomados en cuenta para la interpretación correcta de los datos que emanan del laboratorio [33, 52, 107]. Estos factores se agrupan en dos categorías:

a) Intrínsecos (v. gr., diferencias varietales; edad de los cafetos y de las ramas productoras; acumulación y redistribución de nutrimentos; interacciones; correlaciones entre acumulación de minerales y producción; variación diurna o estacional de los nutrimentos y de los metabolitos).

b) Extrínsecos (v. gr., ambiente; prácticas culturales; condiciones fitosanitarias). Se concluye que son muchos los factores que deben ser valorados dentro de las categorías mencionadas para una interpretación correcta del estado de nutrición del cafeto. El método de trabajo que se describe como guía de una fertilización cada vez más económica, puede ser llevado a la práctica en cualquier país caficultor.

## 6.9 Logística de la metodología propuesta

La metodología científica que se sugiere usar como guía de una fertilización racional y económica del cafeto, tiene por objetivo promover el uso de los fertilizantes en todo el ámbito de la caficultura de cada país.

Por tratarse de una metodología cuyo seguimiento escapa al alcance del profano, su implementación requiere de la contribución de los siguientes factores:

a. asesoría técnica especializada

b. laboratorios idóneos, desde el punto de vista de equipo humano y de infraestructura.

Idealmente, las recomendaciones que finalmente se ponen en manos del caficultor deben emanar de computadoras previamente alimentadas con programas elaborados y revisados periódicamente por el conjunto de especialistas que demanda la aplicación de una metodología de esta clase [29, 30].

## 6.10 Aplicaciones prácticas

La fertilización del cafeto mediante el empleo de un método científico, aun cuando *a priori* puede aparecer como muy sofisticado, implícitamente apunta hacia la consecución de un número de aspectos prácticos, por lo tanto beneficiosos, a saber:

- a) Permite conocer el equilibrio nutricional del suelo
- b) Sirve de guía para ajustar tal equilibrio mediante la adición de fertilizantes y enmiendas
- c) Con su empleo se fertilizan las plantaciones cada vez más racional y económicamente, evitando el desperdicio
- d) Permite conocer, con certeza, si se debe elevar la fertilidad potencial del suelo
- e) Los síntomas de deficiencia de minerales desaparecen a corto plazo, pues los aspectos nutricionales reciben atención integral
- f) Con su empleo se consigue, no solamente preservar, sino también elevar la fertilidad potencial del suelo
- g) Una vez puesto en práctica, el método garantiza un óptimo retorno/unidad de fertilizante aplicado.

Se concluye que mediante la adopción de esta tecnología, únicamente quedan, como factores complementarios a considerar, los hereditarios, el manejo de la plantación y los aspectos ecológicos que influyen en la producción y productividad del cafeto.

De la información que consta en los capítulos 5 y 6 se pueden hacer algunas inferencias que discrepan, por contraste, de algunos criterios sobre formulaciones de fertilizantes hasta ahora no considerados. Con el propósito de evitar la práctica de una fertilización unilateral, o incompleta, se sugiere lo siguiente:

- a. Debe existir disponibilidad de fuentes de nitrógeno con contenidos sustanciales de magnesio, boro, azufre y zinc.
- b. La aplicación extra de nitrógeno antes de la salida del período lluvioso, debe incluir potasio, en procura de mejores relaciones hídricas durante la estación seca.
- c. Se debe promover la manufactura de fertilizantes para café a base de NK, con contenidos medios y altos de potasio, de aplicación según el país. Idealmente deben incluir sulfatos, magnesio, boro y zinc.
- d. La manufactura de fertilizantes a base de NP, con contenidos medios y altos de fósforo, con la inclusión de azufre, magnesio, boro y zinc, es de utilidad para aplicación especialmente en plantas de 1 a 4 años de edad.
- e. Las fórmulas tradicionales a base de NPK, con elementos secundarios y menores, deben incluir zinc.
- f. El control de las deficiencias minerales que por razones técnicas no pueden ser corregidas por abonamiento al suelo, debe ser practicado mediante aplicación de fórmulas de abonos asimilables por el follaje.

Es un hecho fisiológicamente incuestionable que toda planta bien nutrida utiliza al máximo su capacidad genética para producir biomasa.

## 6.11 Referencias

1. *Abruña, F., Vicente-Chandler, J., Becerra, L.A. y Bosque, R.*: Effects of liming and fertilization on yields and foliar composition of high-yielding sun-grown coffee in Puerto Rico. *Journal of Agriculture*, University of Puerto Rico 49, 413-428 (1965)
2. *Åslander, A.*: Nutritional requirements of crop plants. *Encyclopedia of Plant Physiology* 4, 977-1025 (1958)
3. *Anstead, R.D. y Pittock, C.K.*: The varying composition of the coffee berry at different stages of its growth and its relation to the manuring of coffee estates. *Planter's Chronicle* 8 (36), 455-460 (1913)
4. *Baker, R.M. y Robinson, J.B.D.*: Progress with the leaf analysis technique in coffee research. I. General principles and choice of suitable indices of plant nutrient status. Lyamungu, Tanganyika. Coffee Research Station. Research Report pp. 39-52, 1963
5. *Beaumont, J.H. y Fukunaga, E.T.*: Factors affecting the growth and yield of coffee in Kona. *Hawaii Agr. Exp. Sta. Bul.* 113, 39 p. (1958)
6. *Bénac, R.*: Etude des besoins en éléments majeurs du caféier arabica en pays Bamoun (Cameroun). Institut Français du Café et du Cacao (I.F.C.C.), Bulletin N° 8, Dec. (1967)
7. *Brealy, O.*: La actividad de la reductasa del nitrato como guía de la fertilización nitrogenada del café. Universidad de Costa Rica, Departamento de Química. Tesis, 1970
8. *Brealy, O. y Carvajal, J.F.*: La actividad de la reductasa del nitrato como guía de la fertilización nitrogenada del café. Resúmenes IV Simposio Latinoamericano de Fisiología Vegetal. Lima, Perú (1971)
9. *Briceno, J.A. y Carvajal, J.F.*: El equilibrio entre los metales alcalinos y alcalinotérreos en el suelo, asociado con la respuesta del café al potasio. *Turrialba* 23 (1), 56-71 (1973)
10. *Cain, J.C.*: Absorption and metabolism of urea by leaves of coffee, cacao and banana. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 67, 279-286 (1956)
11. *Carvajal, J.F.*: Nutrición mineral del Café. Requerimientos de la cosecha. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias STICA. Información Técnica N° 9, 16 p. (1959)
12. *Carvajal, J.F.*: Respuesta del café a diversos métodos de aplicación de fertilizantes fosfatados. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias STICA. Proyecto 30. Informe Anual, pp. 2-4 (1959)
13. *Carvajal, J.F.*: Estudio de las deficiencias de nitrógeno, potasio, magnesio, boro y manganeso en plantas de café (*Coffea arabica* var. *typica*). *Rev. Biol. Trop.* 8 (2), 165-179 (1960)
14. *Carvajal, J.F.*: Leaf sampling of coffee for diagnostic purposes. *Coffee*, 5, 17-23 (1963)
15. *Carvajal, J.F. y López, C.A.*: Hojas representativas para el análisis de nitrógeno, fósforo y potasio para fines de diagnóstico en plantas de café. *Fitotecnia Latinoamericana* 1 (1), 1-14 (1964)
16. *Carvajal, J.F. y Machicado, M.*: El metabolismo del nitrógeno en las hojas del café durante la floración. *Fitotecnia Latinoamericana* 1 (2), 59-70 (1964)
17. *Carvajal, J.F. y López, C.A.*: Acumulación de nutrimentos en el suelo en función de la fertilización periódica. Universidad de Costa Rica. Laboratorio de Investigaciones Agronómicas. Informe Anual 1964, pp. 13-16 (1965)
18. *Carvajal, J.F.*: Importancia de estudiar el nivel crítico de los nutrimentos en plantas tropicales de cultivo perenne. I Simposio Latinoamericano de Fisiología Vegetal. Centro de Pesquisas do Cacao, Itabuna, Brasil, 1965
19. *Carvajal, J.F.*: El diagnóstico del estado de nutrición del café (*Coffea arabica* L.) con base en la acumulación de nitrógeno y fósforo soluble en las hojas. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Documento de Trabajo Ce/65/2. Río de Janeiro, Brasil, 14 p., 1965
20. *Carvajal, J.F.*: La toma de muestras de suelo en plantaciones de café. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía Boletín Informativo N° 1, 12 p. (1966)
21. *Carvajal, J.F., Acevedo, A. y López, C.A.*: Nutrientes tomados por la planta de café durante el ciclo anual. Venezuela. VII Reunión Latinoamericana de Fitotecnia, Maracay, Venezuela. Resumen de los trabajos científicos: pp. 49-50 (1967)

22. *Carvajal, J.F.*: Cafeto. Introducción al cultivo. Israel, Servicio de Extensión Agrícola-Israel. Departamento de Capacitación para el Extranjero. 72 p., 1967
23. *Carvajal, J.F.*: Absorption of nutrient elements in relation to the ontogeny of plants. Agriculture Course. Crop Plants in a Tropical Environment. Organization for Tropical Studies (O.T.S.), Costa Rica, 19 p., 1968
24. *Carvajal, J.F.*: Diagnostic techniques for assessing the nutritional status of plants. Agriculture Course. Crop Plants in a Tropical Environment. Organization for Tropical Studies (O.T.S.), Costa Rica, 20 p., 1968
25. *Carvajal, J.F.*: La toma de muestras foliares en cafetos para fines de diagnóstico. Universidad de Costa Rica. Facultad de Agronomía. Boletín Informativo N° 2 (1969)
26. *Carvajal, J.F., Acevedo, A. y López, C.A.*: Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. Turrialba 19 (1), 13-20 (1969)
27. *Carvajal, J.F.*: Cafeto, Cultivo y Fertilización. Instituto Internacional de la Potasa, Berna, Suiza, 1972
28. *Carvajal, J.F. y Cavallini, J.A.*: Nitrate reductase activity in coffee trees as affected by mineral deficiency. American Society of Agronomy. Annual Meeting, Miami, U.S.A. (1972)
29. *Carvajal, J.F.*: Diagnóstico del estado de nutrición de los cultivos. Agronomía Costarricense (Costa Rica) 2, 175-183 (1978)
30. *Carvajal, J.F.*: Fertilizantes y nutrición del café. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas - OEA. Zona Norte. PROMECAFE. Boletín N° 10, pp. 4-7 (1981)
31. *Castillo, L.D.*: Algunos factores que afectan la actividad de la reductasa del nitrato en el café. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Tesis, 1974
32. *Castillo, L.D. y Carvajal, J.F.*: Algunos factores que afectan la actividad de la reductasa del nitrato en el café. In: II Congreso Agronómico Nacional. San José, Costa Rica. Anales y Resúmenes, 1, 65-66 (1976)
33. *Catani, R.A. y de Moraes, F.R.P.*: A composição química do cafeeiro. Quantidade e distribuição de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CaO e MgO em cafeeiro de 1 a 5 anos de idade. Rev. de Agr. (Brasil) 33 (1), 45-52 (1958)
34. *Catani, R.A., Arruda, H.C., Pellegrino, D. y Bergamin, H.*: Absorção de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e silício pela cana de açúcar Co. 419 e o seu crescimento em função da idade. Anais da ESALQ (Brasil) 16, 167-190 (1959).
35. *Cavallini, J.A.*: Deficiencia de minerales vs. actividad de la reductasa del nitrato en el café. Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Tesis 65 p., 1972
- 35a *Cavallini, J.A. y Carvajal, J.F.*: Mineral nutrition and nitrate reductase activity in coffee trees affected by mineral deficiency. Turrialba 28 (1), 61-66 (1978)
36. *Cibes, H. y Samuels, G.*: Mineral deficiency symptoms displayed by coffee trees grown under controlled conditions. Agr. Exp. Sta., University of Puerto Rico. Tech. Paper 14, 21 p. (1955)
37. *Cooil, B.J. y Nakayama, M.*: Carbohydrate balance as a major factor affecting yield of the coffee tree. Hawaii Agr. Exp. Sta., Progress Notes No. 91, 16 p. (1953)
38. *Cooil, B.J.*: Leaf composition in relation to growth and yield of coffee in Kona, Hawaii. Coffee Information Exchange. Kona, Polygraphed, 15 p., 1954
39. *Cooil, B.J., Fukunaga, E.T. y Awada, M.*: Fertilization of coffee in Kona with special reference to nitrogen nutrition. Hawaii Agr. Exp. Sta., Univ. of Hawaii. Progress Notes No. 117, 18 p. (1958)
40. *Crocorno, O.J. y Neptune Menard, L.*: Estudo sobre a distribuição do S<sup>35</sup> em cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Bourbon). Anais da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz» (Brasil), 18, 169-182 (1961)
41. *Culot, J.P.*: Symptômes de déficience nutritive du caféier Robusta dans la cuvette congolaise. Congo Belge. (INEAC), Bulletin d'Information 8 (3), 189-199 (1959)
42. *Chanchay, A.G.*: Efecto de la aplicación de magnesio al suelo y a las hojas sobre la concentración foliar de este elemento en el café. Turrialba 17 (2), 182-187 (1967)
43. *Chaverri, G., Bornemiza, E. y Chaves, F.*: Resultados del análisis foliar del café en Costa Rica. Servicio Técnico Interamericano de Cooperación Agrícola. Información Técnica N° 3, 39 p. (1957)

44. Chaverri, G. y Carvajal, J.F.: Síntomas de deficiencia de los elementos fósforo, calcio, azufre y hierro en el café producido en invernadero. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias STICA. Información Técnica N° 8, 14 p. (1959)
45. Chinchilla, M.A.: Variación estacional de cobre, hierro, manganeso, y zinc en las hojas del café (*Coffea arabica* L.). Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. Tesis 60 p., 1973
46. Chinchilla, M.A. y González, M.A.: Variedades del contenido de cobre, hierro, manganeso y zinc en seis cultivares de café (*Coffea arabica* L.). In: II Congreso agrónomo Nacional (Costa Rica). Resúmenes 1, 63 (1976)
47. Dean, L.A. y Beaumont, J.R.: Soil and fertilizers in relation to the yield, growth and composition of the coffee tree. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 36, 28–35 (1939)
48. Espinosa, F.: El análisis foliar en el diagnóstico del estado nutricional del café. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café. Boletín Informativo. Suplemento N° 2, 20 p. (1960)
49. Espinosa, F.: Resultados preliminares del análisis foliar del café *Coffea arabica* L. var. Bourbon (B. Rodr.) Choussy en El Salvador. Café de El Salvador 30 (48–349), 663–672; 31 (350–351), 9–17 (352–353), 141–157 (1960–1961)
50. Espinosa, Flora M.: Comunicación personal. Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, 1968
51. Fargas, J.: Influencia de algunas deficiencias minerales sobre el contenido de sustancias nitrogenadas simples en hojas de café. Turrialba, Costa Rica. Centro Tropical de Investigación y Enseñanza para Graduados. Tesis Mag. Agr. 44 p., 1963
52. Forestier, J.: Valeur du diagnostic foliaire du caféier Robusta. Café, Cacao, Thé 6(3), 191–206 (1962)
53. Forestier, J.: Potassium and the Robusta coffee tree. Fertilité N° 30, pp. 3–63 (1968)
54. Franco, C.M.: Influence of temperature on growth of coffee plant. Brazil, IBEC Research Institute, Bulletin 16, 21 p. (1958)
55. Franco, C.M. y Mendes, H.C.: Síntomas de deficiências minerais no Cafeeiro, Bragantia 9, 165–173 (1949)
56. Frankart, R. y Croecaert, J.: Contribution a l'étude de la nutrition minérale du caféier Robusta en Uele. Publications de l'Institut National pour l'Etude Agronomique du Congo Belge. Série Scientifique N° 80, 107 p. (1959)
57. García, A. y Carvajal, J.F.: Respuesta al fósforo y al azufre en algunos suelos cañeros de Costa Rica. In: II Congreso Agrónomo Nacional (Costa Rica). Anales y Resúmenes 1, 59 (1976)
58. González, C.A. y Camacho, C.: Síntomas de deficiencia de boro en el café. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. Boletín Técnico N° 11, 12 p. (1952)
59. González, C.A., Camacho, C. y Guevara, L.: Informe preliminar sobre el efecto del sulfato de zinc en la corrección de ciertas formas de crecimiento anormal del café. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. Boletín Técnico N° 7, 8 p. (1952)
60. Haag, H.P. y Malavolta, E.: Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. III Efeito das deficiências dos macronutrientes no crescimento e na composição química do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Bourbon) cultivado em solução nutritiva. Rev. de Agric. (Piracicaba) 35, 273–289 (1960)
61. Haag, H.P. y Malavolta, E.: Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. IV. Efeito dos excessos de macronutrientes no crescimento e na composição química do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Bourbon [B. Rodr.] Choussy) cultivado em solução nutritiva. Rev. de Agric. (Piracicaba) 35 (4), 328–337 (1960)
62. Haag, H.P. y Sarruge, J.R.: Absorção de zinco por raízes destacadas de cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Mundo Novo). Estudos Agronômicos (Portugal) 6, 133–140 (1965)
63. Hiroce, R.: Diagnose foliar em cafeeiro. In: Nutrição e Adubação do Cafeeiro. Ed. T. Yamada, Instituto da Potassa (EUA) – Instituto Internacional da Potassa (Suíça). Brasil, 1981
64. Hoppe, H.: Report on variability in chemical analysis of coffee leaves at Finca Chocola, Guatemala. Informe Poligrafiado, 25 p., 1952

65. Huerta, A.: Composición mineral foliar, fertilización y producción del café. *Cenicafé 13* (4), 195-210 (1962)
66. Huerta, A.: Par de hojas representativo del estado nutricional del cafeto. *Cenicafé 14* (2), 111-128 (1963)
67. Huerta, A.: Efectos de la fertilización del suelo en la composición mineral foliar del cafeto. *Café 5* (18), 49-59 (1963)
68. Huerta, A.: Época del muestreo y par de hojas representativo del estado nutricional del cafeto. *Turrialba 14* (2), 63-70 (1964)
69. Kumar, D., Teshu, A.J. y Akunda, E.M.W.: The uptake and some physiological roles of potassium in coffee. Proc., Int. Potash Workshop (Nairobi) pp. 126-144, 1979
70. Küpper, A.: Factores climáticos e edáficos na cultura cafeeira. In: *Nutrição e Adubação do Cafeeiro*. Ed. T. Yamada, Instituto da Potassa & Fosfato (EUA) - Instituto Internacional da Potassa (Suiza), Brasil, 1981
71. Liebscher, G.: Der Verlauf der Nährstoffaufnahme und seine Bedeutung für die Düngerehre. *J. Landw. 35*, 335-518 (1887)
72. Loehwing, W.F.: Mineral nutrition in relation to the ontogeny of plants. In: *Mineral Nutrition of Plants*. Ed. E. Truog, The University of Wisconsin Press, pp. 343-358, 1953
73. López, C.A., Pereira, J.F. y Carvajal, J.F.: Síntomas de deficiencias minerales combinadas en plantas de café (*Coffea arabica* var. *typica*). *Rev. Biol. Trop. 12* (2), 208-223 (1964)
74. López, M.: Fertilization with potassium chloride and potassium sulphate in coffee plantation. 1. Assessment of the uptake of K, Cl and sulphate ions by means of leaf analysis. *Potash Review*, Int. Potash Institute, Bern (Switzerland), Subject 16, 6 p. (1968)
- 74a López, M.: Problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia. Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas en América Latina. Turrialba, Costa Rica, 1969
75. Lott, W.L., Nery, J.P., Gallo, J.R. y Medcalf, J.C.: Leaf analysis technique in coffee research. Brazil, IBEC Research Institute. *Bulletin No. 9*, 26 p. (1956)
76. Lott, W.L., McClung, A.C. y Medcalf, J.C.: Sulfur deficiency in coffee. Brazil. IBEC Research Institute, *Bulletin 22*, 21 p. (1960)
77. Lott, W.L., McClung, A.C., de Vita, R. y Gallo, J.R.: Estudio de cafetales de San Pablo y Paraná mediante el análisis foliar. Brasil IBEC Research Institute. *Boletín 26*, 67 p. (1961)
78. Loué, A.: Comparative application of foliar diagnosis to the coffee tree in the Caloa and Bingerville districts. Centre de Rech. Agron., *Bulletin du Gouvernement Général de l'A.O.F.* pp. 7-19 s.f.
79. Loué, A.: Étude de la nutrition du caféier par la méthode du diagnostic foliaire. Bingerville, Côte d'Ivoire. Centre Rech. Agron. *Bulletin N° 8*, pp. 97-156 (1953)
80. Loué, A.: La nutrition minérale du caféier en Côte d'Ivoire. Bingerville. Centre de Rech. Agron. *Gouvernement Général de l'A.O.F.* 205 p. (1957)
81. Loué, A.: Studies on the inorganic nutrition of the coffee tree in the Ivory Coast. Int. Potash Institute. Bern (Switzerland) 68 p., 1957
82. Loué, A.: La nutrition minérale du caféier Robusta et sa fertilisation en Côte d'Ivoire. *Fertilité N° 5*, pp. 27-59 (1958)
83. Loué, A.: Etude des carences et déficiences en potassium, calcium et magnésium chez le caféier Robusta. *Bul. N° 4 de l'Institut Français du Café et du Cacao*, 48 p. (1962)
84. Machado, A.: Los fertilizantes para el cafeto y el diagnóstico foliar. Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café 7, 123-136 (1956)
85. Machado, A.: Algunos resultados experimentales con fertilizantes en cafetos. *Cenicafé 9* (7-8), 157-198 (1958)
86. Malavolta, E., Pimentel Gomes, F. y Coury, T.: Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro (*Coffea arabica* L., variedade Bourbon Vermelho). 1. Resultados preliminares. Brasil. Escola Superior de Agricultura, «Luiz de Queiroz». *Boletim N° 14*, 16 p. (1958)
87. Malavolta, E., Pimentel Gomes, F. y Coury, T.: Estudio de la alimentación mineral del cafeto (*Coffea arabica* L., variedad Bourbon Roja) *Fertilité N° 5*, 15-25 (1958)

88. Malavolta, E., Neptune Menard, L. y Lott, W.L.: Estudos sôbre alimentação mineral do cafeeiro. II. Absorção do superfosfato radioactivo pelo cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Bourbon amarelo) em condições de campo. Anais da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz» N° 16, 101-111 (1959)
89. Malavolta, E., Neptune Menard, L., Arzolla, J.D.P., Crocomo, O.J., Haag, H.H. y Lott, W.L.: Tracer studies in the coffee plant (*Coffea arabica* L.). Anais da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz» N° 16, 65-78 (1959)
90. Malavolta, E., Haag, H.P., Mello, F.A.F. y Brasil Sobr<sup>o</sup>, M.O.C.: On the mineral nutrition of some tropical crops. Int. Potash Institute, Berne (Switzerland) 155 p., 1962
91. Malavolta, E. y Haag, H.P.: Estudos sôbre a alimentação mineral do cafeeiro. VI. Efeitos das deficiências de micronutrientes en *Coffea arabica* L., var. Mundo Novo cultivado en solução nutritiva. Anais da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz» N° 18, 147-167 (1961)
92. Malavolta, E. y Pimentel Gomes, F.: Foliar diagnosis in Brazil. In: Plant Analysis and Fertilizer Problems. American Institute of Biological Sciences, Wash., 6, D.C. (U.S.A.). pp. 180-189, 1961
93. Malavolta, E.: Nutrição do cafeeiro. In: Cultura e Adubação do Cafeeiro. Instituto Brasileiro de Potassa, São Paulo, Brasil, pp. 159-190, 1963
94. Malavolta, E.: Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro. Ultrafertil (Petrobras) Brasil, 1978
- 94a. Malavolta, E.: Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. Passado, presente e perspectivas. In: Nutrição e Adubação do Cafeeiro. Ed. T. Yamada, Instituto da Potassa & Fosfato (EUA) - Instituto Internacional da Potassa (Suíça) (Brasil), 1981
95. Marvez, R.T.: Contenido y variación estacional del azufre en seis variedades de café (*Coffea arabica* L.). Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. Tesis 47 p., 1972
96. Marvez, R.T. y López, C.A.: Contenido y variación estacional del azufre en seis variedades de café (*Coffea arabica* L.). In: II Congreso agrônomico Nacional (Costa Rica). Resúmenes 1, 62-63 (1976)
97. McColloch, R.C., Bingham, F.T. y Aldrich, D.G.: Relation of soil K and Mg to nutrition of citrus. Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. 21, 85-88 (1957)
98. Medcalf, J.C., Lott, W.L., Teeter, P.B. y Quinn, L.R.: Experimental programs in Brazil. IBEC Research Institute. Boletín 6, 59 p. (1965)
99. Medcalf, J.C.: Preliminary study on mulching young coffee in Brazil. IBEC Research Institute. Boletín 12, 47 p. (1956)
100. Medcalf, J.C. y Lott, W.L.: Metal chelates in coffee. IBEC Research Institute. Boletín 11, 49 p. (1956)
101. Mehlich, A.: Chemistry. Soil fertility and plant nutrition. Coffee Research Foundation, Kenya. Annual Report, 1965/66. pp. 32-40 (1966)
102. Mehlich, A.: Coffee soils in Kenya and their characteristics in relation to the mineral nutrition of Arabica coffee. Coffee Research Foundation, Kenya. Annual Report 1966/67. pp. 5-17 (1967)
103. Mehlich, A.: Coffee nutrition and the possible use of compound fertilizers in Kenya. Kenya Coffee, pp. 59-65 (1968)
104. Müller, L.E.: Observación y control de las deficiencias de elementos menores en el cafeto. Turrialba 8 (4), 126-135 (1958)
105. Müller, L.E.: Algunas deficiencias minerales comunes en el cafeto (*Coffea arabica* L.). Turrialba. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Boletín Técnico N° 4, 40 p. (1959)
106. Müller, L.E.: La aplicación del diagnóstico foliar en el cafeto (*Coffea arabica* L.). para una mejor fertilización, Turrialba 9 (4), 110-122 (1959)
107. Müller, L.E.: Coffee nutrition. In: Temperate to Tropical Fruit Nutrition. Ed. N.F. Childers. Somerset Press, Inc. Somerville, New Jersey (U.S.A.). pp. 685-776, 1966
108. Neptune Menard, L., Crocomo, O.J., Pimentel Gomes, F. y de Campos, H.: Pulverização foliar en cafeeiro (*Coffea arabica* L.) II. Aplicação de adubos potássicos. Anais da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz» N° 18, 277-285 (1961)

109. *Otomoso, T.I. y Olojola, A.*: The effect of macronutrients on the growth and leaf composition of *Coffea canephora* Pierre. Turrialba 22, 53-60 (1972)
110. *Otomoso, T.I.*: The effect of fertilizer and irrigation on the leaf macronutrient composition of *Coffea canephora* Pierre during a year. Turrialba 24, 315-318 (1974)
111. *Parra, J., McCormick, A. y Arcilla F.*: Sitio óptimo para fertilizar el café. Estudio con radiofósforo. Cenicafé 13 (3), 115-124 (1962)
112. *Parra, H. y McCormick, A.*: Cómo aprovecha el café los fertilizantes. Estudio con radiofósforo. Cenicafé 14 (2), 95-110 (1963)
113. *Parra, J.*: Correlaciones entre los contenidos de nitrógeno y fósforo del suelo y la composición del tejido vegetal en café y pasto. Cenicafé 22, 18-26 (1971)
114. *Pereira, J.F., Crafts, A.S. y Yamaguchi, S.*: Translocation in coffee plants. Turrialba 13, 64-79 (1963)
115. *Pérez, V.M., Chaverri, G. y Bornemisza, E.*: Algunos aspectos del abonamiento del café con boro y calcio en las condiciones de la Meseta Central de Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias - STICA. Información Técnica N° 1, 14 p. (1956)
116. *Pérez, V.M.*: Algunas deficiencias minerales del café en Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias - STICA. Información Técnica N° 2, 27 p. (1957)
117. *Pérez, V.M. et al.*: Nutrición del café en Costa Rica (Informe de progreso de 5 años de investigación). Ministerio de Agricultura e Industrias - STICA. Boletín Técnico N° 43, 35 p. (1963)
118. *Raju, L.J. y Subramanian, T.R.*: Studies on leaf analysis in the NPK nutrition of Arabica coffee. Turrialba 19, 49-56 (1969)
119. *Ramaiah, P.K., Hao, M.V.K. y Chokkanna, N.G.*: Zinc deficiency and the amino acids of coffee leaves. Turrialba 14 (3), 136-139 (1964)
120. *Ramírez, G.*: Análisis químico del suelo como guía para la fertilización del café. Noticiero del Café Costa Rica 6 (187), 1-4 (1980)
121. *Robinson, J.B.D. y Baker, R.M.*: Progress with the leaf analysis technique in coffee research. II. Comparison of major nutrient levels in the whole coffee leaf with those in different parts of the leaf. Lyamungu, Tanganyika. Coffee Research Station. Research Report 1962, pp. 50-52 (1963)
122. *Robinson, J.B.D.*: The critical relationship between soil moisture content in the region of wilting point and the mineralization of natural soil nitrogen. J. Agr. Sci. 49, 100-105 (1957)
123. *Rodríguez, S.J.*: The chemical composition of green coffee beans and coffee leaves as related to soil and foliar applications of secondary and minor elements. U.S.A. Department of Horticulture, Michigan State University. Ph.D. Thesis, 100 p., 1961
124. *Suárez de Castro, F. y Rodríguez, C.A.*: Distribución de las raíces del café. In: Investigaciones sobre la erosión y la conservación de los suelos en Colombia. Federación Nacional de Cafetaleros de Colombia, pp. 303-328, 1962
125. *Sylvain, P.G.*: Innovaciones Agrotécnicas en Caficultura. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas OEA-PROMECAFE. Publicación Miscelánea N° 202, 35 p. (1979)
126. *Taleisnik, E., Briceño, J.A. y Carvajal, J.F.*: Variación estacional de la reductasa del nitrato en el café. Turrialba 30 (3), 330-337 (1980)
127. *Taleisnik, E. y Pacheco, R.*: Evaluación de dosis crecientes de nitrato sobre la actividad de la reductasa del nitrato; nitrógeno derivado del fertilizante en café. Turrialba 30 (1), 29-34 (1980)
128. *Uram, M.*: El análisis de hojas y la respuesta de los cafetos a algunos fertilizantes. Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café 4 (42), 36-38 (1953)
129. *Valencia, G.*: Deficiencias minerales en relación con el metabolismo intermediario en el café. *Coffea arabica* L. Cenicafé 19 (2), 55-79 (1968)
130. *Valencia G. y Arcila, J.*: Efecto de la fertilización con N, P, K, a tres niveles en la composición mineral de las hojas del café. Cenicafé 28, 119-138 (1977)
131. *Verlière, G.*: Effets de trois sources d'azote sur l'évolution du sol, la nutrition minérale et le rendement du caféier. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Documento de Trabajo Ce/65/32. Río de Janeiro, Brasil, 6 p. (1965)

- 131a *Verlière, G.*: Fertilité des sols tropicaux. Evolution de la recherche sur la fertilisation en caféiculture en Côte d'Ivoire. Symposium de Madagascar, 1968
132. *Villalobos, E. y Carvajal, J.F.*: La actividad de la reductasa del nitrato como guía de la fertilización nitrogenada en cinco especies agrícolas. *Agronomía Costarricense 1* (1), 57-63 (1977)
133. *Villalobos, E. y Carvajal, J.F.*: Un método para analizar la actividad de la reductasa del nitrato en condiciones de campo. *Agronomía Costarricense 2* (1), 69-81 (1978)
134. *Walsh, I. y Donohoe, T.P.O.*: Magnesium deficiency in some crop plants in relation to the level of potassium nutrition. *J. Agric. Sci.* N° 4, pp. 254-263 (1945)



# 7. Apéndices

## 7.1 Glosario del café

*Café almendra* = café oro

*Café bellota* = fruto completo secado al sol

*Café beneficiado* = fruto que ha sufrido la separación de cáscara y pergamino, café oro

*Café blanco* = café pergamino en Puerto Rico

*Café caracol* o *caracolillo* o *café perla* = grano pequeño de café, de forma aovada, que llena la cereza por haber abortado uno de los óvulos (de baja productividad, muy buena calidad en taza)

*Café crudo* = café oro

*Café despulpado* = grano al que se le ha quitado la pulpa para el proceso de fermentación antes de ser lavado

*Café en casca* = café pergamino

*Café en cereza* = fruto maduro del cafeto o «uva» (unos 500 kg de ésta dan aproximadamente 100 kg de café oro)

*Café en coco* = café bellota o cereza seca (fruto seco con todas sus envolturas)

*Café lavado* = café despulpado por vía húmeda

*Café limpio* = café oro

*Café natural* = café sin lavar, preparado por vía seca, es decir, sin fermentación y sin pasar por el estado de pergamino

*Café oro* = café despergaminado, listo para torrefacción (tostadura). Sinónimo, a veces, con café verde («green coffee»)

*Café para liga* = *café para mezclar*, y así obtener café de sabor uniforme al que se habitúan grupos de consumidores

*Café pasilla* o «*resaca*» = de calidad inferior, no apto para exportación

*Café pergamino* = grano despulpado, sin mesocarpio ni mucílago, seco pero sin pulir

*Café pintón* = café en cereza, cosechado antes de su plena madurez

*Café pulido* = grano de café desprovisto de la película plateada («silver skin») o espermodermis debajo del pergamino

*Café ripio* = café en cereza de la última recolección (Puerto Rico). Este término define en Colombia las calidades inferiores de un beneficiado inapropiado

*Café trillado* = grano desprovisto de la cáscara cuando se trata de café sin lavar o del pergamino cuando se trata de café lavado

*Café verde* = café en cereza, cosechado en estado verde. Llamado también así cuando está listo para comercialización = café oro.

### El café como bebida:

*Café negro* = *café solo* (Cuba) = *café tinto* (Colombia) = *cafezinho* (Brasil)

*Café con leche* = *café perico* (Colombia)

## Referencias

- Leyes y reglamentos usuales sobre café. Edición revisada y actualizada. Oficina del Café. Costa Rica, 1981
- Rochac, A.: Diccionario del Café. Oficina Panamericana del Café. New York, N.Y., EUA, 1964

## 7.2 Pesos y medidas

*Carga (2 sacos)* = 125 kg de café maduro, en Colombia

*Fanega* = medida equivalente a 400 litros = aprox. 255 kg, en Costa Rica

*Hundredweight (cwt)* = 112 libras inglesas = 50.8 kg, en Hawai, Kenya y Puerto Rico

*Quintal (Q)* = 100 libras españolas = 46 kg

*Acre (ac)* = 4050 m<sup>2</sup>, en Hawai, Kenya y Puerto Rico

*Hectárea (ha)* = 2.47 acres = 1.43 manzanas

*Manzana (Mz)* = 6989 m<sup>2</sup>, en Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y Nicaragua

*Q/Mz* = Quintal por manzana = 65.8 kg/ha

*Q/ac* = Quintal por acre = 113.6 kg/ha

*Cwt/ac* = Hundredweight por acre = 125.5 kg/ha