

MANUAL TÉCNICO
BUENAS PRACTICAS DE CULTIVO EN CAFÉ
ORGÁNICO
(Dirigido a profesionales)



Costa Rica, enero de 2001

INDICE

1. INTRODUCCIÓN

Sostenibilidad y agricultura orgánica

2. AGRO ECOSISTEMA CAFÉ ORGÁNICO

3. CLIMA DE ZONA CAFETALERA DE COSTA RICA

3.1 Situación de Costa Rica

3.2 Orografía

3.3 Latitud y duración de la luz solar

3.4 Factor ístmico

3.5 *Sistemas atmosféricos*

3.6 *Régimen pluvial*

3.7 *Distribución espacial de la precipitación pluvial*

3.8 *Brillo solar*

3.9 *Régimen térmico*

4. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LAS PRINCIPALES REGIONES CAFETALERAS

4.1 *Características climáticas de la región valles del centro*

4.2 *Características climáticas de la región cuenca del río Térraba*

4.3 *Características climáticas de la región cuenca del río Reventazón*

5. CLIMA PARA CAFÉ ORGÁNICO

5.1 *Temperatura*

5.2 *Lluvia*

6. PROCESOS FISIOLÓGICOS DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO

6.1 *Tasas de fotosíntesis*

6.2 *Influencia de la luz y de la temperatura*

6.3 *Relaciones hídricas*

6.4 *Fotosíntesis de los frutos*

6.5 *Respiración y fotorrespiración*

7. FACTORES EDAFICOS EN EL CULTIVO DEL CAFETO

7.1 *Perfil del suelo*

7.2 *Suelos para el cafeto: Características, propiedades y manejo*

8. PERDIDA DE FERTILIDAD DEL SUELO EN EL CAFETAL

8.1 *Erosión del suelo*

8.2 *Propiedades químicas y mineralógicas*

8.3 *Medición de la erosión*

9. PROTECCIÓN DEL SUELO DEL CAFETAL ORGÁNICO

9.1 *Arrope o cobertura*

10. MANEJO DEL CAFETAL ORGÁNICO

10.1 *Distancias de siembra*

10.2 *Poda*

10.3 *La deshija*

10.4 *El cafeto*

11. LA SOMBRA EN EL CAFETO ORGÁNICO

11.1 *Arboles para sombra en cafetales orgánicos*

11.2 *Establecimiento de la sombra*

11.3 *Arreglo de la sombra*

11.4 *Arboles forestales*

12. NECESIDADES NUTRICIONALES DEL CAFETAL ORGÁNICO

12.1 *Pérdida de nutrientes en el suelo*

12.2 *Acidificación*

13. NECESIDADES NUTRICIONALES DEL CAFETO

13.1 *Macronutrientes*

13.2 *Micronutrientes*

14. ABONAMIENTO ORGÁNICO DEL CAFETAL

14.1 *La sombra como abono verde*

14.2 *Materiales de desecho como abonos orgánicos*

14.3 Ciclos de nutrimentos

15. PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS

15.1 Compostado

15.2 Bocasi

15.3 Vermicompost

16. EL ABONAMIENTO ORGÁNICO

BIBLIOGRAFÍA CITADA

1. INTRODUCCION

SOSTENIBILIDAD Y AGRICULTURA ORGANICA

Costa Rica, a pesar de ser un pequeño país, ha logrado ser el principal productor mundial de café por unidad de área. Es decir, el promedio de producción nacional, es cercano a 33 fanegas por hectárea, superando a países reconocidos mundialmente tales como Brasil y Colombia. (1 fanega equivale a 46 kilogramos)

Sin embargo, se debe analizar ¿Cuál es el precio que se paga por esta elevada productividad? ¿Qué sistema productivo se le está imponiendo a LA TIERRA, para que se convierta en una máquina de producir, con el riesgo de que quede estéril o contaminada cuando ya no sea rentable? Y peor aún, ¿Podrán nuestros hijos disfrutar de un ambiente sano, con alimentos saludables y seguir viviendo apropiadamente con los recursos económicos que produzca la finca agrícola?.

Efectivamente, la caficultura moderna que se utiliza en Costa Rica obliga al productor a aplicar altas dosificaciones de fertilizantes químicos, muchos de los cuales van a contaminar los ríos y mantos de agua subterráneos de los que surten los habitantes de nuestras ciudades.

Por otra parte, la inapropiada utilización de plaguicidas químicos que ponen en riesgo la salud de los campesinos y obreros agrícolas, afecta la vida de organismos benéficos que son controladores de plagas, contamina el ambiente (agua, suelo y aire) al igual que la flora y la fauna; y finalmente crea resistencia en los insectos y otras plagas obligando a los agricultores a usar productos más tóxicos o en mayores dosificaciones.

Se puede apreciar que en muchos de los cafetales tecnificados de alta productividad, no se utilizan árboles de sombra; no hay frutales que permiten la alimentación de aves y otras especies de animales; los suelos están compactados por el abuso de herbicidas y las mismas plantas de café tienen una vida útil muy corta. Por todos estos factores se tiene la obligación de buscar **alternativas o soluciones**.

La agricultura alternativa, es aquella que proporciona un medio ambiente balanceado, rendimiento y fertilidad del suelo sostenidos, así como control natural de plagas mediante el empleo de tecnologías auto-sostenidas.

Aquí se introduce un nuevo concepto que es el de **sostenibilidad**. ¿Qué significa este término?

Se define como **desarrollo sostenible**:

El manejo y conservación de los recursos naturales promoviendo el cambio tecnológico e institucional que asegure la continua satisfacción presente y futura de las necesidades humanas.

Desde ese punto de vista, no es aceptable que un caficultor esté logrando buenas cosechas, pero deje de herencia a sus hijos una finca con suelos estériles por la erosión o el abuso en aplicación de plaguicidas. Esta no es sólo responsabilidad de los agricultores sino también del Estado costarricense.

El café en Costa Rica posee tres atributos:

- a. Elevada sensibilidad social originada en la gran demanda de mano de obra que participa en todas las etapas del cultivo, así como la industrialización del producto.
- b. Alta sensibilidad económica, dada la participación de la caficultura en la generación de ingresos para agricultores, industriales y exportadores así como para el Estado costarricense.
- c. Gran sensibilidad ambiental, determinada por la gran extensión que ocupa el café en la geografía costarricense, al igual que por su capacidad de adaptación a terrenos de topografía accidentada, no aptos para otros cultivos o actividades pecuarias.

No obstante, algunos científicos afirman que en la década anterior la caficultura costarricense cayó en una de sus crisis más profundas, la cual se resume en tres aspectos:

- a. Crisis de precios originada en la eliminación del Convenio Internacional del Café, y en la sobreproducción que satura los mercados.
- b. Crisis tecnológica en la cual parece haberse alcanzado techo en la producción por hectárea.
- c. Crisis ecológica determinada por baja sostenibilidad, dependencia de insumos externos, así como contaminación ambiental.

Ante esas circunstancias, el café orgánico se presenta en la actualidad como mejor alternativa para intentar resolver esos problemas. El **Café orgánico ha sido definido como un sistema productivo que utiliza diversas tecnologías de fertilización, control de malezas y plagas, sin usar fertilizantes o plaguicidas de origen químico sintético.** Desde esa perspectiva no es café natural o abandonado, sino más bien un enfoque tecno-ecológico o ciencia de la agricultura que trabaja en armonía con el ambiente.

El marco general de la agricultura orgánica está determinado por los siguientes factores:

- a) Producción sostenible.

- b) Protección de la salud.
- c) Producción suficiente.
- d) Trabajo humano agradable.
- e) Ingreso razonable.
- f) Protección del ambiente, y
- g) Bienestar animal (según Elzakker, Bo van. Comp.).

En lo que se refiere específicamente a caficultura orgánica, se citan las siguientes características, las cuales se exponen detalladamente en este documento:

- a) Utilización de leguminosas como árboles de sombra. Estos proveen regulación del microclima, protección contra la erosión y prevención contra plagas y patógenos.
- b) Control natural de "malezas" o utilización de control físico o mecánico. Lo mismo que aprovechamiento de "malezas nobles".
- c) Uso de recursos naturales disponibles en el entorno para la producción de fertilizantes y control de plagas.
- d) En la medida de lo posible, asociación con especies frutales, y
- e) En condiciones ideales, participación de especies animales menores para cerrar los ciclos tróficos.

En resumen, la caficultura orgánica podría ser el elemento que contribuya a contrarrestar las deficiencias de la producción cafetalera costarricense, logrando menor dependencia de insumos importados y competir con éxito en los mercados internacionales.

En esta propuesta, consideramos el cafetal como un agro ecosistema artificial donde el manejo adecuado de todos sus recursos garantiza una producción eficiente y sostenible, económica, social y ambientalmente.

Desde el punto de vista anterior, declaramos que un sistema "orgánico", basado en la sustitución de insumos, preservando la propuesta convencional de nutrición y protección de cultivos, carece de sostenibilidad económica, social y ambiental. Solo reafirma los mecanismos de dependencia tecnológica, descapitalización y empobrecimiento sostenido de nuestros agricultores.

Fournier (1980) afirma que el mantenimiento de la producción en este agro ecosistema depende fundamentalmente de la capacidad que tengamos de aprovechar, de manera racional el ambiente del lugar, en beneficio de la especie, o especies cultivadas en ese sitio.

2. AGROECOSISTEMA CAFE ORGANICO

El agrosistema café orgánico está compuesto por un espacio geográfico sobre un suelo con características definidas y cambiantes, donde se ha sembrado una población de plantas de café, también con características definidas y cambiantes, asociado a otras plantas y árboles, sometido a condiciones climáticas determinadas por latitud, altitud y orografía de la cuenca o región en el país.

Las características ambientales (suelos, clima) y las características genéticas de la población de plantas de café y las poblaciones de seres vivos, grandes y pequeños, que la acompañan, definen la captación eficiente de la energía incidente y sus interacciones, necesarias para el crecimiento de este ecosistema.

La intervención humana hace que este sistema sea agrícolamente eficiente cuando: coloca las plantas adecuadas, en poblaciones óptimas, en el lugar geográfico requerido por sus exigencias genéticas (marginalidad ambiental); conduce las labores recomendadas para la conservación de los suelos y aguas, para el manejo del cultivo y plantas asociadas, para la conservación activa de la biomasa microbiana y repone las pérdidas de nutrimentos extraídos por la cosecha.

En este documento hacemos una propuesta de producción de café orgánico, basado en referencias de investigación, donde se toman en cuenta los principales factores que afectan la productividad del sistema.

3. CLIMA DE ZONA CAFETALERA DE COSTA RICA

Cerca del 90% de la producción de café ocurre en las regiones climáticas de los valles centrales, valle del General, valle de Coto Brus y cuenca del Reventazón, donde las alturas mínimas de 500 msnm en la región del Caribe y 700 msnm en la región del Pacífico, hasta 1700 msnm de altitud enmarcan la productividad potencial más eficiente.

Fuera de estas regiones, el área de producción es de poca extensión y fuera de las altitudes señaladas se da una alta marginalidad climática y de calidades inferiores.

Por lo anterior, la descripción del clima solo se refiere a las principales regiones, y se basa en la revisión realizada por W. Herrera en 1985.

El clima depende de la latitud, de los movimientos de las masas del aire, de las corrientes marinas, de la configuración orográfica y de la inclinación de los rayos solares.

3.1. SITUACION DE COSTA RICA

Costa Rica está ubicada entre los 08°02'26" y 11°13'12" de latitud Norte y los 82°33'48" y 85°57'57" de longitud Oeste.

3.2. OROGRAFIA

Un sistema montañoso central, divide al país en dos partes, las vertientes del Caribe y la del Pacífico. La vertiente del Caribe comprende un territorio de 24 115 km²; es cortada por una densa red de drenaje que desciende de la cordillera volcánica de Guanacaste, cordillera de Tilarán, cordillera volcánica Central y cordillera de Talamanca. El 51,2% del territorio de esta vertiente no alcanza los 300 m de altitud; el 48,8 % restante oscila entre los 300 y 3,819 m de altitud.

La vertiente del Pacífico comprende un territorio de 26 585 km² drenada por una red hídrica densa con marcado carácter estacional y alto poder erosivo. El 51,1 % del área está comprendida entre los 0 y 300 m de altitud. La superficie restante, 48,8 %, oscila entre los 300 m y la divisoria de aguas continental.

El sistema montañoso central, constituido por rocas volcánicas, sedimentarias e intrusivas, alcanza los 3 819 m de altitud en el cerro Chirripó. Este sistema montañoso y otras cadenas más pequeñas, paralelas a la costa, confieren un relieve muy empinado, con valles interiormentanos.

Los vientos húmedos, las fuertes precipitaciones y la densa red hídrica aceleran los procesos erosivos en las montañas y contribuyen a formar potentes conos de deyección al pie de colinas y montañas y extensas llanuras en el sureste, norte y este del país.

3.3. LATITUD Y DURACION DE LA LUZ SOLAR

El territorio costarricense tiene una latitud media de 10° Norte y se enmarca dentro de la faja tropical del Hemisferio Norte. Su latitud le asegura posiciones muy elevadas del sol sobre el horizonte y una duración de la luz solar de 12 horas diarias como promedio.

Los rayos solares, a medio día, alcanzan los 90° sobre el horizonte el 16 de abril y el 28 de agosto. El 21 de diciembre alcanzan su posición más baja (56°). La oscilación angular entre estos dos extremos es de 34°.

Además de posiciones altas del sol, el país goza de una iluminación poco variable en el año. El día más corto del año es el 21 de diciembre (Solsticio de invierno), y el día más largo es el 21 de junio (Solsticio de verano). Entre ambos meses existe una diferencia de 70 minutos de iluminación solar.

3.4. FACTOR ISTMICO

El factor ístmico incide en forma notoria en el clima. Por lo angosto del territorio (119 km longitud mínima y 464 km longitud máxima), los disturbios atmosféricos que se originan en el Mar Caribe pueden afectar no solo la vertiente oriental, sino la occidental y las regiones montañosas.

También disturbios que se desarrollan en el Pacífico afectan en la vertiente Caribe. Sistemas nubosos provenientes del Caribe atraviesan con facilidad los pasos de montaña y afectan sectores de la vertiente Pacífica, sobre todo en el valle Central Occidental, valle del Guarco y la cuenca del Golfo de Nicoya.

3.5. SISTEMAS ATMOSFERICOS

Costa Rica depende de los movimientos norte-sur de la zona de convergencia intertropical, que aporta lluvias torrenciales de mayo a diciembre en el sector Pacífico y de ondas del Este, u ondas de inestabilidad; los huracanes, las masas de aire polar modificadas, o frentes fríos, durante los meses de diciembre, enero y febrero; y circulaciones meteorológicas locales, tales como brisas tierra-mar y viceversa.

3.6. REGIMEN PLUVIAL

El territorio abarca una amplia gama de condiciones climáticas motivadas en la distribución desigual de su topografía, régimen térmico, régimen pluvial, etc.El

Instituto Meteorológico Nacional reconoce tres regímenes de precipitación bien definidos en Costa Rica: Régimen Pacífico, régimen Costero Atlántico y régimen Atlántico.

El régimen Pacífico está caracterizado por precipitación abundante en los meses de mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre. Los meses más lluviosos suelen ser septiembre y octubre. Las lluvias ocurren en el periodo vespertino y primeras horas de la noche. El régimen Pacífico es propio de las tierras ubicadas entre las cumbres de las montañas y la Costa Pacífica. También se presenta en las llanuras de los Guatusos (vertiente Caribe).

3.7. DISTRIBUCION ESPACIAL DE LA PRECIPITACION PLUVIAL

El pequeño territorio costarricense muestra, en distancias muy cortas, cambios bruscos de precipitación. La media anual oscila entre los 1 300 y 7 700 mm habiéndose registrado una máxima de 9 583,6 mm.

3.8. BRILLO SOLAR

En ausencia de nubosidad, la duración diaria de la luz solar es de 12 horas, aproximadamente. Sin embargo, los cielos nublados reducen a menos de 6 horas el brillo solar, especialmente en las montañas. Este hecho es de gran importancia climática, dado que facilita el descenso de la temperatura y favorece la saturación.

3.9. REGIMEN TERMICO

El régimen térmico del país exhibe una oscilación diaria mayor que la oscilación mensual. En las tierras bajas de Guanacaste, la variación entre la temperatura máxima y mínima del día es de 11°C, en el valle Central es de 8°C, en las tierras bajas y húmedas del Caribe la caída diaria es de 9°C. En las cumbres de las montañas la variación es de 6° a 10°C.

Las temperaturas más altas se dan en las fajas costeras y tierras bajas, especialmente en el Pacífico. En la vertiente Caribe la temperatura media a nivel del mar es de 26°C. En la vertiente Pacífica es de 27,6°C. Conforme aumenta la altitud, la temperatura decrece a razón de 0,57°C por cada 100 m de elevación en el Pacífico, y a razón de 0,52°C por cada 100 m en el Caribe.

Cuadro 1			
Variación de la temperatura media anual, con la altitud y la vertiente, en Costa Rica, en la región cafetalera (Herrera, 1985)			
Vertiente del Pacífico	Temperatura	Vertiente del Caribe	
<i>Altitud (msnm)</i>	<i>Media anual °C</i>	<i>Altitud (msnm)</i>	<i>Régimen térmico</i>
460	25	190	Muy caliente
800	23	570	Muy caliente
1160	21	953	Caliente
1400	19	1335	Caliente
1860	17	1718	Templado

Se atribuye a la influencia de la altitud algunas de las características más importantes del café, tales como el peso de la fruta madura y su rendimiento de conversión a café en oro, la dureza y aspecto del grano y las cualidades de infusión. La constitución del fruto no depende de la altura por sí sola, sino a las variaciones que a diversos niveles altitudinales pueden presentarse, en temperaturas, precipitación y radiación solar, principalmente. En general, las regiones más lluviosas y bajas del Caribe y Pacífico Sur, con cosecha durante la época lluviosa dan menores rendimientos de conversión a oro (Cleves, 1970).

Acosta y Cleves (1964) señalan que la mejor calidad se da en las zonas estrictamente de altura SHB, entre 1200 y 1700 m de altitud, con estaciones secas y húmedas bien definidas; los tipos superiores GHB entre 1000 y 1200 m, con estaciones secas y húmedas bien definidas pero con mayor temperatura; los tipos corrientes, HB entre 800 y 1200 m en el Pacífico y HGA, entre 900 y 1200 m, en el Caribe, con lluvias durante la cosecha; y los tipos inferiores, MHB entre 500 y 1200 m en el Pacífico, MGA, entre 600 y 900 m en el Caribe, LGA, entre 150 y 600 m en tierras muy calientes en el Caribe, y P, entre 400 y 1000 m en tierras muy calientes del Pacífico.

4. CARACTERISTICAS CLIMATICAS DE LAS PRINCIPALES REGIONES CAFETALERAS

4.1. CARACTERISTICAS CLIMATICAS DE LA REGION VALLES DEL CENTRO

Con este término se designan tres valles ubicados en el centro del país: valle Central Occidental, valle de la Candelaria y valle de los Santos, en la vertiente del Pacífico.

Los siguientes son descripciones de diferentes regímenes climáticos que se encuentran en las diferentes regiones cafetaleras. Desde climas subhúmedos hasta climas muy húmedos. Son importantes para definir las prácticas de manejo adecuadas del cultivo y del agrosistema, para cada lugar, y muchos de los comportamientos fenológicos que se presentan.

a) *Clima subhúmedo seco, caliente, con un exceso moderado de agua*

Regiones representativas:	Santa Ana, Mora
Precipitación media anual (mm)	1 500 a 1 710
Temperatura media anual (°C)	22 a 26
Evapotranspiración potencial (mm)	1 565 a 1 710
Indice de humedad (%): moderado	16,7 a 33,3
Indice de aridez (%): muy grande	> 20
Indice hídrico (%): sub húmedo seco	-33,3 a 0
Epoca de exceso de agua:	Junio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

b) *Clima subhúmedo húmedo, caliente, con un déficit muy grande de agua*

Regiones representativas:	Palmares, San Ramón, Tarrazú
Precipitación media anual (mm)	1 565 a 2 052

Temperatura media anual (°C)	21 a 26
Evapotranspiración potencial (mm)	1 565 a 1 710
Indice de aridez (%): muy grande	> 20
Indice hídrico (%): sub húmedo	0 a 20
Epoca seca:	Desde la última semana de diciembre hasta la primera quincena de mayo.

c) Clima húmedo, caliente, con un déficit muy grande de agua

Regiones representativas:	Alajuela, Puriscal, Acosta
Precipitación media anual (mm)	1 900 a 2 400
Temperatura media anual (°C)	21 a 26
Evapotranspiración potencial (mm)	1 565 a 1 710
Indice de aridez (%):	> 20
Indice hídrico (%):	20 a 40
Epoca seca:	Se presenta al finalizar diciembre, y durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, algunas veces hasta fines de mayo.

d) Clima húmedo, caliente, con un déficit muy grande de agua

Regiones representativas:	Naranjo
Precipitación media anual (mm)	2 500 a 3 100
Temperatura media anual (°C)	21 a 23
Evapotranspiración potencial (mm)	1 565 a 1 710
Indice de aridez (%):	> 20
Indice hídrico (%)	60 a 80
Estación seca:	El déficit comienza en las postrimerías de diciembre y concluye a mediados de mayo.

e) Clima húmedo, templado, con un déficit moderado de agua

Regiones representativas:	Este del valle Central y valle del Guarco
Precipitación media anual (mm)	1 530 a 2 000
Temperatura media anual (°C)	15 a 19
Evapotranspiración potencial (mm)	1 275 a 1 420
Índice de aridez (%):	10 a 20
Índice hídrico (%):	20 a 40
Época seca:	Enero, febrero, marzo y abril. En la estación seca suelen presentarse lluvias y lloviznas de corta duración que atenúan el déficit de agua.

f) Clima húmedo, templado, con un déficit moderado de agua

Regiones representativas:	Este del valle Central, Ochomogo, valle de Los Santos
Precipitación media anual (mm)	1 800 a 2 300
Temperatura media anual (°C)	15 a 18
Evapotranspiración potencial (mm)	1 275 a 1 420
Índice de aridez (%)	10 a 20
Índice hídrico (%):	40 a 60
Estación seca:	El déficit de humedad en el suelo se inicia en enero y concluye en abril. En el valle Central ocasionalmente se prolonga hasta mayo.

4.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN CUENCA DEL RÍO TERRABA

Su región cafetalera abarca la región media y piedemonte de dos valles importantes: Valle del río El General y el valle del Río Coto Brus. Su variedad climática es determinada en parte por las cadenas montañosas que delimitan la cuenca: La cordillera de Talamanca y la cordillera Costeña. Estas montañas

favorecen la llegada de humedad proveniente del Pacífico e impide la incursión directa de los vientos alisios.

Las lluvias son muy elevadas y torrenciales en toda la cuenca. La estación seca es corta en la región de Coto Brus y larga en la región central del valle de El General.

4.2.1. Valle de El General

Clima húmedo, muy caliente, con déficit moderado de agua

Regiones representativas:	San Isidro
Precipitación media anual (mm)	2 400 a 2 740
Temperatura media anual (°C)	23 a 27
Evapotranspiración potencial (mm)	> 1 710
Índice de aridez (%):	10 a 20
Índice hídrico (%):	40 a 60
Estación seca:	La estación seca sobreviene al finalizar diciembre y concluye el inicio de mayo.

4.2.2. Valle de Coto Brus

Clima muy húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua o sin déficit

Regiones representativas:	San Vito
Precipitación media anual (mm)	3 130 a 6 840
Temperatura media anual (°C)	21 a 23
Evapotranspiración potencial (mm)	1 565 a 1 710
Índice de aridez (%):	0 a 10
Índice hídrico (%):	100 a 300
Estación seca:	El déficit de humedad se presenta desde la última semana de enero y concluye a finales de marzo.

4.3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA REGIÓN CUENCA DEL RÍO REVENTAZÓN

La cuenca del río Reventazón drena los valles del Guarco (Valle central oriental) y el valle de Turrialba. Es una cuenca con gran heterogeneidad climática.

Las faldas del volcán Irazú, en la vertiente norte del valle del Guarco, están expuestas a las masas nubosas empujadas por los vientos alisios durante todo el año.

En las áreas centrales y bajas el régimen pluvial es de tipo pacífico, con una estación seca de diciembre a mayo y un corto veranillo en julio (Cartago). Al sur del valle de Turrialba, en las estribaciones del cerro Cuericí el régimen pluvial es caribe, con lluvias abundantes todo el año. Esta región montañosa está expuesta a los vientos alisios que incursionan por la depresión de la Angostura.

La precipitación anual es muy alta en la región citada, especialmente entre los 1,200 y 2,000 m, de 5,000 a 8,000 mm, y decrece abajo de los 1,200 m (Turrialba, Cachí, Orosi, Tucurrique).

Los climas húmedos son aquellas regiones donde la precipitación anual es igual, o a lo sumo dos veces mayor que la evaporación potencial anual, el exceso de agua que se produce en el año es igual o mayor que el déficit, en mm.

4.3.1. Valle del Guarco

Clima subhúmedo seco, caliente, con exceso moderado de agua

Regiones representativas:	Cartago, Linda Vista, El Guarco, cuenca del Candelaria
Precipitación media anual (mm)	1 300 a 1 565
Temperatura media anual (°C)	18 a 21
Evapotranspiración potencial (mm)	1,420 a 1,565
Índice de humedad (%) moderado	16,7 a 33,3
Índice de aridez (%):	muy grande > 20
Índice hídrico (%):	- 33,3 a 0
Epoca de exceso de agua:	Desde la segunda quincena de mayo hasta finales de noviembre.
Estación seca:	El déficit de humedad se presenta desde la última semana de enero y concluye a finales de marzo.

Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua

Regiones representativas:	Orosi, valle de Turrialba
Precipitación media anual (mm)	1 700 a 2 200
Temperatura media anual (°C)	18 a 21

Evapotranspiración potencial (mm)	1 420 a 1 565
Índice de aridez (%):	< a 10
Índice hídrico (%):	20 a 40
Estación seca:	En febrero, marzo y abril.

Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua

Regiones representativas:	Cachí, cuenca del Reventazón
Precipitación media anual (mm)	2 000 a 2 500
Temperatura media anual (°C)	18 a 21
Evapotranspiración potencial (mm)	1 420 a 1 565
Índice de aridez (%):	< a 10
Índice hídrico (%):	40 a 60
Estación seca:	En febrero, marzo y abril. Ocasionalmente puede presentarse déficit de agua en el suelo a finales de enero. Lluvias intermitentes y esporádicas atenúan la estación seca.

4.3.2. Valle de Turrialba

Clima húmedo, muy caliente, con déficit pequeño de agua

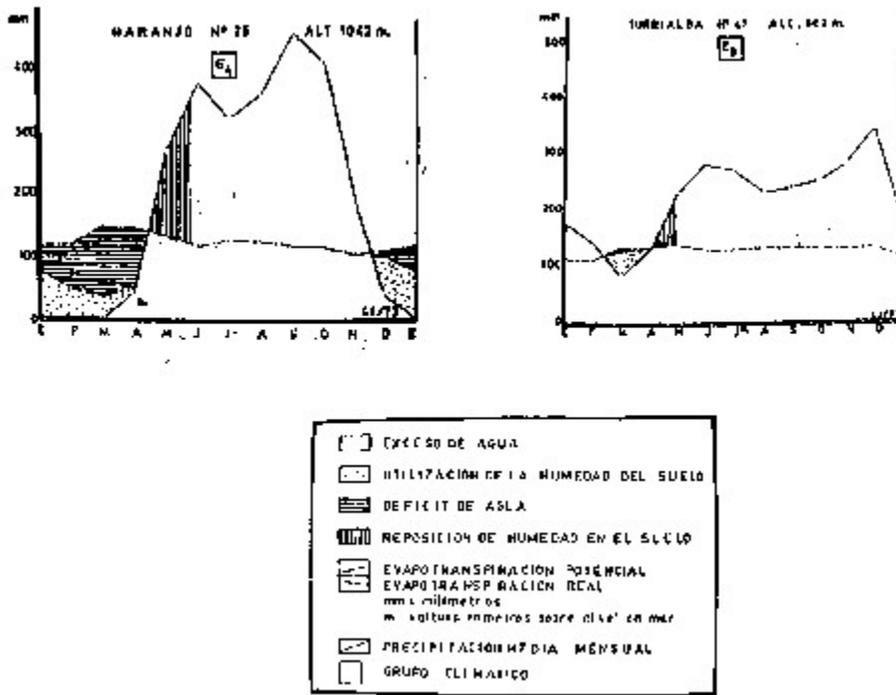
Regiones representativas:	Tucurrique, Turrialba
Precipitación media anual (mm)	2 300 a 2 800
Temperatura media anual (°C)	22 a 26
Evapotranspiración potencial (mm)	1 420 a 1 565
Índice de aridez (%):	< a 10
Índice hídrico (%):	60 a 80
Estación seca:	Se presenta déficit de humedad en el suelo durante marzo y abril.

Clima húmedo, caliente, con un pequeño déficit de agua

Regiones representativas:	San Antonio de Turrialba
Precipitación media anual (mm)	2 840 a 6 260

Temperatura media anual (°C)	18 a 22
Evapotranspiración potencial (mm)	1 420 a 1 565
Indice de aridez (%):	0 a 10
Indice hídrico (%):	100 a 300
Estación seca:	Se presenta déficit de humedad en el suelo durante marzo y abril, o no se presenta.

En general el país posee abundante luz y precipitación para el cultivo del café en las regiones con régimen térmico adecuado. Sin embargo, hay un exceso de humedad por las altas precipitaciones, casi todo el año, en las cuencas del Reventazón y Coto Brus, y en los meses de septiembre y octubre en los valles del centro, con lo que el suelo permanece saturado en la etapa de mayor crecimiento de la planta y su cosecha. En algunas regiones del sur y oeste de los valles del centro se presentan deficiencias hídricas, coincidentes con la floración, aunque casi nunca son limitantes de la producción. Las zonas más bajas de estos valles presentan una mayor evapotranspiración a causa de las altas temperaturas ambientales predominantes.



Gráfica 1. Comparación de regímenes lluviosos en las vertientes del Caribe y Pacífico de Costa Rica (Herrera, 1985)

5. CLIMA PARA CAFE ORGANICO

5.1. TEMPERATURA

Las temperaturas altas inhiben el crecimiento del cafeto, ya que arriba de 24°C comienza a disminuir la fotosíntesis neta, tornándose insignificante a 34°C. El cafeto no tolera variaciones muy amplias de temperatura, donde los promedios abajo de 16°C y sobre 23°C no son adecuados, y el óptimo está comprendido entre 18° y 21°C (Maestri y Barros).

La influencia de la sombra en la reducción de la temperatura se da al interceptar la energía radiante que incide sobre las plantas, calentando sus tejidos y reduciendo la fotosíntesis neta durante el día. También influye en la reducción de la temperatura nocturna del cafetal, esto ocurre al reducir la energía radiante directa sobre el suelo, impidiendo su absorción que luego sería liberada, en forma de calor, elevando la temperatura nocturna, aumentando la tasa de respiración del cultivo y reduciendo el índice asimilación/respiración.

Esta reducción de la temperatura del suelo y del agrosistema, se puede lograr con densidades de siembra altas, con uso de coberturas vivas o muertas sobre el suelo, en todos los casos. O'Connell (1999) indica que los cultivos de cobertura incrementan la reflexión de la radiación incidente y sombream la superficie del suelo subyacente. Las coberturas también remueven agua de las capas superiores del suelo y reducen la conductividad térmica y la capacidad calórica del suelo superficial. Entonces el almacenamiento de calor en el suelo durante el día es reducido cuando un cultivo de cobertura está presente.

De igual manera, dejar los residuos de podas y deshierbas en el suelo reduce la temperatura del huerto. Como los cultivos de cobertura, los residuos de poda teóricamente reducirán la cantidad de radiación solar que alcanza la superficie del suelo. Entonces, la ausencia de cultivo de cobertura y residuos de poda pueden aumentar el almacenamiento de calor diurno en el suelo.

Fournier (1988) cita a Glätti et al quienes al estudiar el efecto de la temperatura sobre la fotosíntesis neta y la respiración celular en la oscuridad, con plantas de *C. arabica* var. Bourbon de 18 meses de edad, encontraron que la tasa promedio de respiración celular en la oscuridad varía entre 0,05 mg CO₂/dm²/hora a 15°C, y 0,47 mg CO₂/dm²/hora a 35°C.

Carvajal (1972) cita a Mes quien encontró que en condiciones controladas las plantas de café mantenidas a 23°C durante el día y 17°C durante la noche aparecieron más saludables y vigorosas.

Lo anterior es de especial importancia, pues en regiones muy bajas y calientes ocurren "muertes misteriosas" de plantas, que dada su baja capacidad fotosintética, por las altas temperaturas, sucumben con las primeras cosechas, pues no logran acumular suficientes reservas alimenticias.

5.2. LLUVIA

Alegre, citado por Maestri y Barros (1978), sugiere que la precipitación anual óptima está entre 1,200 a 1,800 mm anuales. En Costa Rica, en gran parte de la región cafetalera, la precipitación supera los 2,000 mm anuales. Hay indicios de que el cafeto puede soportar bien un periodo con deficiencia hídrica de hasta 150 mm, en especial cuando ella no se extiende hasta la fase de floración.

Una buena distribución de la lluvia y la existencia de un periodo seco corto favorecen el crecimiento del café. Los periodos secos son importantes para el crecimiento de la raíz, para la maduración de las ramas formadas en la estación lluviosa precedente, para la iniciación floral y la maduración de los frutos.

Las lluvias a lo largo de todo el año, como sucede en Turrialba, no permiten que las yemas florales del cafeto experimenten un periodo de reposo durante su desarrollo, aspecto indispensable para que ocurra una floración sincronizada. La cosecha es más difícil, ya que siempre existen frutos verdes en crecimiento junto con frutos en maduración, en la misma planta.

Las floraciones son más dispersas en la región de Turrialba, El General y Coto Brus, en relación con la presencia de un periodo seco y de su duración, en los valles del centro. A veces en algunas regiones más secas y calientes, al oeste del valle central, es necesario regar para completar la floración.

En los periodos secos (enero a abril) los árboles de sombra, y otros asociados, compiten por humedad. En los periodos de precipitación alta (septiembre y octubre) los árboles de sombra y asociados, colaboran con el cafeto extrayendo agua del suelo.

Cuadro 2
Valor aproximado de la
evapotranspiración anual (mm) de
algunos cultivos (según Doorenbos y
Prunit)

Banano	600	a	1,500
Frijol	250	a	400
Café	800	a	1,200
Arboles deciduos	700	a	1,050
Naranja	600	a	950
Maíz	400	a	700
Tomate	300	a	600

6. PROCESOS FISIOLÓGICOS DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO

6.1. TASAS DE FOTOSÍNTESIS

Se hicieron pocas estimaciones de tasas fotosintéticas del café y los valores varían desde 0,7 en condiciones de campo, hasta 16,0 mg CO₂/dm²/hora, en condiciones controladas (Rena y Maestri, 1987).

6.2. INFLUENCIA DE LA LUZ Y DE LA TEMPERATURA

El *Coffea arabica* L. es una especie adaptada a la sombra en su lugar de origen, aunque la mayoría de las plantaciones sean actualmente conducidas a pleno sol. Rena y Maestri (1987) citan a Kumar y Tieszen quienes compararon las tasas fotosintéticas de cafetos crecidos a la sombra y a plena luz solar y observaron que la irradiación saturante fue de 300E/m²/s, en las plantas a la sombra y de 600E/m²/s en las plantas al sol. Con todo, las plantas sombreadas presentaron tasas fotosintéticas sustancialmente mayores. Cuando la temperatura fue mantenida constante en 25°C, no se observó reducción de la fotosíntesis, aún a 1 200E/m² /s. Ellos concluyeron, con base en esos resultados, que el café es más adaptado a plantíos densos, donde el sombreado mutuo proporciona bajas intensidades luminosas y bajas temperaturas foliares, condiciones ideales para la fotosíntesis y el crecimiento más eficientes.

La temperatura óptima para la asimilación del CO₂ en el café varía de 20 a 30°C. Rena et al determinaron la fotosíntesis neta de plantas jóvenes de Catuaí, Caturra y de las progenies UFV-1603 y UFV-1359 de Catimor, en diversos periodos de tiempo durante el día, en condiciones de laboratorio. Las plantas fueron permanentemente iluminadas con radiación fotosintéticamente activa saturante de 580E/m² /s.

La temperatura foliar durante las determinaciones siguió la variación natural de la temperatura del ambiente, de las 11 horas de la mañana hasta las 22 horas. Máximos fotosintéticos fueron obtenidos en el periodo de la mañana, cuando la temperatura foliar estuvo entre 28° y 30°C y en el periodo correspondiente a la noche, cuando ella bajó a valores entre 23° y 25°C. Entre 12 h y 16 h, cuando la temperatura foliar fue superior a 30°C, alcanzando hasta 33°C, la fotosíntesis neta fue mínima, llegando igual a valores negativos de cambio de CO₂. Ese balance negativo en el cambio de CO₂ en las horas más calientes del día, es probablemente consecuencia de los altísimos valores de la resistencia foliar total observada en esas plantas, no permitiendo la compensación de las pérdidas

respiratorias y fotorespiratorias. Esos resultados confirman la idea de que el cafeto puede realizar fotosíntesis máximas a temperaturas próximas de 30°C, pero que en las temperaturas sobre este valor hay grandes diferencias entre variedades (Rena y Maestri, 1987).

6.3. RELACIONES HIDRICAS

Rena y Maestri (1987) señalan que bajo condiciones de campo, donde las variaciones de temperatura están siempre relacionadas con el proceso de deshidratación foliar, la variación de la conductancia mesofílica puede también desempeñar un papel importante en la regulación de la asimilación del CO₂, a medida que el potencial hídrico foliar disminuye. La disminución de la conductancia mesofílica, asociada a la deshidratación, aparentemente tiene como causas fundamentales la inhibición del transporte de electrones y la reducción de la actividad enzimática, durante el proceso fotosintético.

Ellos citan a Kumar y Tieszen, quienes determinaron que la fotosíntesis de la hoja de café no es afectada por potenciales hídricos de hasta -1,0MPa, reduciéndose de apenas 25% cuando el potencial cae a -2,0 MPa.

Lo mismo estando el suelo en la capacidad de campo, en las horas más calientes del día, el potencial hídrico foliar puede alcanzar valores próximos de -1,5 MPa, no difiriendo mucho del suelo con 50% de agua disponible. Ese resultado indica que no hay necesidad de irrigar el cafeto en cuanto el contenido de agua en el suelo no alcanza la mitad de la capacidad de campo.

Esas informaciones sugieren que el cafeto es una especie relativamente resistente a la sequía.

6.4. FOTOSINTESIS DE LOS FRUTOS

Los frutos verdes en la fase de crecimiento, tienen estomas funcionales y pueden representar 20 a 30% de la superficie fotosintética total de un árbol con buena carga. De acuerdo con Cannell, hay evidencia de que los frutos son responsables por hasta 30% de su ganancia en materia seca y que la tasa de fotosíntesis de las hojas de café está regulada por la fuerza de los drenes, de los cuales los frutos son los principales representantes (Rena y Maestri, 1987).

6.5. RESPIRACION Y FOTORESPIRACION

Las hojas iluminadas de las plantas C₃ presentan un tipo adicional de oxidación de compuestos orgánicos, conocido como fotorespiración, el cual representa una pérdida extra de materia seca del orden de 25 a 50%. El café es una planta C₃ y posiblemente la fotorespiración sea una de las principales causas de la baja fotosíntesis neta del café.

El proceso fotorespiratorio aumenta mucho con la elevación de la temperatura foliar, lo que ocurre, p. ej. cuando la hoja del café es fuertemente iluminada. En esas condiciones, el punto de compensación de CO₂ (la concentración externa de CO₂ en que la fotosíntesis se iguala a la respiración más la fotorespiración), que normalmente ya es muy elevada en el café, se vuelve aún mayor.

Esta es la principal razón por la cual el café, y la mayoría de las plantas C₃ se adaptan mejor a las condiciones de temperaturas amenas y de la luminosidad más baja (Rena y Maestri 1987).

7. FACTORES EDAFICOS EN EL CULTIVO DEL CAFETO

En el suelo se presenta una interdependencia entre la litosfera, la atmósfera y la biosfera, con mucha influencia de todos estos elementos en sus propiedades. La disponibilidad de agua, nutrientes y aire, entre otros, varía bastante en los suelos.

Las recomendaciones de abonamiento generalmente se basan en las propiedades químicas, pero la cantidad de nutrientes extraída por las plantas depende también de la influencia de las propiedades físicas y biológicas del suelo.

En las relaciones del café con el suelo, siempre se debe tener presente que las raíces de café carecen de pelos radicales, por lo cual es muy dependiente de las buenas características físicas y microbiológicas del suelo en que crece.

7.1. PERFIL DEL SUELO

Sáenz Maroto (1981) describe el perfil del suelo hipotético formado por un horizonte A_{oo} y A_o, compuesto por residuos orgánicos caídos sobre la superficie en diferentes estados de descomposición; un horizonte A, suelo propiamente, o zona de eluviación; un horizonte B, o subsuelo, o zona de iluviación, y un horizonte C constituido por el material madre.

El horizonte A está fuertemente influenciado por el ambiente y la actividad biológica, y es el asiento de las raíces. De las características de los horizontes A y B depende la fertilidad del suelo para el cultivo.

Buckman y Brady (1965) indican que las capas superiores del perfil de un suelo contienen generalmente considerables porcentajes de materia orgánica, desde 1 hasta 5 o 6 %, y son oscuras por su acumulación; es la zona con mayor desarrollo de raíces, contiene aproximadamente un 50% de espacios porosos.

Con humedad óptima, un 25% del espacio poroso está lleno de agua (poros pequeños que retienen humedad) y el otro 25% está lleno de aire (poros grandes de aireación), y una gran actividad biológica.

Los mismos autores señalan que los subsuelos son bastante diferentes. Los subsuelos son bajos en contenido de materia orgánica y tienden a ser más compactados y poseen mayor porcentaje de poros pequeños, por lo que tienen aireación pobre, y escasa actividad biológica.

De acuerdo con esta definición, muchos de los cafetales están situados en superficies que por su contenido de materia orgánica, actividad biológica, compactación, deficiencia de poros grandes y dificultad en el desarrollo de raíces (corchosis), y presencia de horizontes superficiales con altos contenidos de hierro y aluminio, se les puede identificar como subsuelos.

7.2. SUELOS PARA EL CAFETO: CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES Y MANEJO

7.2.1. Características físicas del suelo

- Profundidad

La profundidad efectiva de un suelo para café es de alrededor de 120 cm, con textura media a arcillosa, que no tenga más de un 15% de piedras y posea una estructura granular o semigranular, con media a buena estabilidad en agua de los agregados. Por estar desprovista de pelos radicales, la raíz del café es extremadamente exigente en la buena aireación del suelo, de su textura, estructura y la cantidad y relación entre los macro y microporos (Küpper, 1981).

Se acepta en forma muy general que la mayor densidad de raíces absorbentes del cafeto, cerca del 90 % del total, se presentan en los primeros 30 cm de profundidad del suelo (Malavolta, 1981).

Un suelo ideal para el cultivo del cafeto debería tener, en volumen, alrededor de 50% de porosidad, 45% de substancia mineral y 5% de materia orgánica. El espacio poroso se compone de macro y microporos. El agua contenida en los macroporos es fácilmente drenada y su espacio ocupado con el aire. El agua contenida en los microporos es el agua disponible a las plantas. Un suelo bien drenado y con buena permeabilidad tiene alrededor de 1/3 de espacio poroso en la forma de macroporos y 2/3 con microporos (Suárez de Castro, 1982).

Las características físicas estructurales de los suelos son mejoradas por la incorporación de la materia orgánica y sus contenidos, y por la actividad biológica de los microorganismos y fauna menor, como las lombrices, que mejoran la estabilidad en agua de los agregados, reducen la densidad aparente, aumentan los espacios porosos y la humedad disponible (Sánchez, 1976).

7.2.2. Características químicas del suelo

Para un buen crecimiento, el cafeto requiere una cierta cantidad de elementos nutritivos. Aunque los componentes inorgánicos que proveen esos elementos tienen que ser absorbidos del suelo en grandes cantidades, ellos no deben estar

presentes en concentraciones muy altas porque esto puede ocasionar daños al cultivo.

En el suelo están presentes varios sistemas de amortiguamiento que regulan la concentración de los nutrientes en la solución de suelo. Los aniones nitrato, sulfato y parcialmente fosfato son regulados por la materia orgánica viva o muerta o por el llamado amortiguador de aniones. Por la formación y descomposición de varios compuestos orgánicos la concentración de estos aniones, en la solución de suelo, es mantenida dentro de ciertos límites. Los iones fosfato, sin embargo, son mantenidos en equilibrio por medio de un sistema de fosfatos insolubles. Por medio de la disolución y precipitación de estos compuestos es mantenida una cierta concentración constante de fosfato en la solución de suelo (Schuffelen, 1972).

Los cationes son regulados principalmente por un sistema de reacciones de intercambio. Estas reacciones controlan el equilibrio entre las fases sólidas y líquidas del suelo y así reducen las fluctuaciones en la concentración de los cationes en la solución de suelo (Schuffelen, 1972).

Estos tres sistemas de control son de gran importancia en la eliminación de altas concentraciones, inmediatamente después de la aplicación de fertilizantes y para el suplemento de iones conforme se agotan en la solución de suelo (Schuffelen, 1972).

La pérdida de materia orgánica, la acidificación, el aumento de la solubilidad del hierro y aluminio, y la presencia de arcillas de baja actividad en los suelos tropicales, reducen la capacidad de estos tres sistemas de control de intercambio de aniones, y los suelos reducen su fertilidad.

Figuras 1, 2 y 3

El cuadro 3 muestra los valores de contenidos de adecuados nutrimentos en la solución de suelo, para un buen crecimiento del cultivo de café, según el Laboratorio de Suelos del Ministerio de Agricultura, citado por Bertsch (1987).

Cuadro 3			
Características adecuadas de suelo para el cultivo del café			
(MAG, laboratorio de suelos, Bertsch, 1987)			
Característica	Bajo	Optimo	Alto
	igual o menor de		igual o mayor de
pH (H ₂ O)	5,0	5,5 - 6,5	7,0
Al (meq/100ml)		0,3	1,5
Ca (meq/100ml)	4,0	4 - 20	20
Mg (meq/100ml)	1,0	1- 10	10

K (meq/100ml)	0,2	0,2 - 1,5	1,5
P (ug/ml)	10	10 - 40	40
Cu (ug/ml)	1,0	1 - 20	20
Zn (ug/ml)	3,0	3 - 15	15
Fe (ug/ml)	10	10 - 50	50
Mn (ug/ml)	5,0	5 - 50	50
	Desbalance		Desbalance
Ca/Mg	2	2 - 5	5
Mg/K	2,5	2,5 - 15	15
Ca+Mg/K	10	10 - 40	40
Ca/K	5	5 - 25	25

7.2.3. Organismos del suelo

En el suelo viven gran número de organismos, grandes y pequeños, que participan activamente en los procesos de transformación de la materia orgánica y transferencia de energía.

La lombriz de tierra es el animal más importante por su influencia en la transformación e incorporación de materia orgánica al suelo, debido a la gran cantidad de suelo que pasa a través de su tracto digestivo, mejorando la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. Los suelos excretados por la lombriz son más ricos en materia orgánica, en nitrógeno total y en nitratos, en calcio y magnesio intercambiables, fósforo asimilable, pH y porcentaje de saturación de bases y capacidad de cambio (Buckman y Brady, 1965).

Los agujeros dejados en el suelo sirven para aumentar la aireación y el drenaje, muy importantes en el desarrollo del suelo, ellos mezclan y granulan el suelo e incorporan materia orgánica en las capas de éste.

La microflora está compuesta por varios organismos importantes en la transformación de la materia orgánica, en la mejora de la estructura del suelo y en la asimilación de nutrientes por las raíces del cultivo.

Las algas microscópicas, verde-azules, verdes y diatomeas, viven en la superficie del suelo, son autótrofas y contribuyen al contenido orgánico del suelo.

Los hongos forman un papel importante en la transformación de la materia orgánica del suelo, especialmente celulosas y formas complejas, sobre todo en

suelos ácidos donde la actividad de las bacterias y hongos es reducida, y son muy importantes en la estabilización del suelo y formación de agregados.

Algunos tipos de hongos especializados infectan, o se asocian, a las raíces de algunas plantas formando micorrizas. Las raíces aumentan así su superficie y su capacidad de absorción de nutrimentos menos disponibles como el fósforo.

Los actinomicetes son formas similares a las bacterias, por su tamaño y por ser unicelulares, se desarrollan bien en suelos húmedos, bien aireados y pH ligeramente ácido o neutro. Son de gran importancia en la disolución de la materia orgánica del suelo y la liberación de nutrientes. Reducen aún los compuestos resistentes como las ligninas. Su capacidad de simplificar el humus es importante en la liberación de nitrógeno.

Las bacterias del suelo, son los organismos más abundantes, y de muy rápida reproducción. Cumplen papeles importantes en la nitrificación, oxidación del azufre y la fijación de nitrógeno. Sin la presencia de las bacterias, las raíces del cafeto tienen una baja capacidad de asimilación de nutrientes por su carencia de pelos radicales. Las bacterias disuelven los minerales y la materia orgánica, haciendo disponibles los elementos nutritivos para la raíz, de aquí su gran importancia en la producción de los cultivos.

Higa y Parr (1994) clasifican los suelos de acuerdo con sus propiedades microbiológicas. Los organismos del suelo se dividen en descomponedores y sintetizadores. Los organismos descomponedores se subdividen en grupos que actúan en condición aeróbica (oxidadores) y en condición anaeróbica (fermentadores). Los fermentadores se separan en dos grupos: los que hacen fermentación útil, y los que hacen fermentación perjudicial, o putrefacción. Los organismos sintetizadores pueden ser divididos en grupos que tienen la habilidad fisiológica de fijar el nitrógeno de la atmósfera para producir proteínas, o fijar el carbono atmosférico para la síntesis de moléculas orgánicas por medio de la fotosíntesis.

Ellos indican que los suelos se pueden clasificar de acuerdo con su microflora dominante, la cual actúa desarrollando reacciones y procesos de putrefacción, fermentación, síntesis o zimogenesis. En la mayoría de los suelos estas acciones se realizan simultáneamente, cada uno con una tasa y extensión determinada por el tipo y número del microorganismo asociado:

7.2.3.1. Suelos favorecedores de enfermedades

En estos suelos los microorganismos patogénicos como *Fusarium spp.* pueden alcanzar de 5 a 20 % de la población total. La materia orgánica fresca agregada es incompletamente descompuesta, produciendo malos olores y subproductos tóxicos a las plantas en crecimiento. Estos suelos generalmente tienen propiedades físicas deficientes, compactados y poco aireados. Los nutrientes

para las plantas también son inmovilizados en formas no disponibles. Probablemente el 90% de los suelos cultivados tienen estas características, y presentan frecuentes infestaciones de patógenos e insectos dañinos.

7.2.3.2. Suelos supresores de enfermedades

La microflora de estos suelos está dominada por microorganismos antagonistas que producen grandes cantidades de antibióticos. Incluye hongos de los géneros *Penicillium*, *Trichoderma* y *Aspergillus* y actinomicetes del género *Streptomyces*.

Los antibióticos que producen pueden tener efectos biostáticos y biocidas sobre los patógenos del suelo, incluyendo *Fusarium*, cuya población no alcanza el 5% de incidencia. La materia orgánica fresca aplicada, aún con altos contenidos de nitrógeno, no produce sustancias putrefactas, es muy baja y los suelos tienen buen olor ("a tierra de bosque"). Pocas veces las plantas sembradas en estos suelos son atacadas por enfermedades e insectos.

Estos suelos por lo general tienen propiedades físicas excelentes, rápidamente forman agregados estables en agua, están bien aireados y tienen una alta permeabilidad al agua y el aire.

7.2.3.3. Suelos zimogénicos o fermentadores

Estos suelos son dominados por microorganismos que pueden realizar fermentaciones favorables, como la transformación de moléculas complejas orgánicas. Estos organismos pueden ser anaeróbico facultativos u obligados. Cuando se aplican materiales orgánicos al suelo, su número y actividad se multiplica y sobrepasan la microflora indígena por un periodo de tiempo indefinido.

Mientras estos organismos permanezcan dominantes, el suelo se puede clasificar como zimogénico, el cual se caracteriza por tener olores agradables fermentados, especialmente cuando son cultivados; propiedades físicas del suelo favorables, como aumento en la estabilidad de los agregados, mayor permeabilidad, aireación y menor resistencia a las herramientas de cultivo; grandes cantidades de nutrimentos inorgánicos, aminoácidos, carbohidratos, vitaminas y otras sustancias bioactivas las cuales pueden estimular, directa o indirectamente, el crecimiento, la producción y calidad de las cosechas; baja presencia de patógenos y baja producción de gases invernadero como metano, amoníaco y dióxido de carbono.

7.2.3.4. Suelos sintetizadores

Estos suelos contienen poblaciones significativas de microorganismos que son capaces de fijar nitrógeno atmosférico y dióxido de carbono en moléculas complejas como aminoácidos, proteínas y carbohidratos. Con buenos

contenidos de humedad estable, estos suelos pueden mantener en gran medida su fertilidad con la adición de cantidades pequeñas de materiales orgánicos. Poseen una baja presencia de patógenos, son del tipo supresivo de enfermedades, y producen pocos gases.

Esta clasificación es muy importante para entender una serie de prácticas recomendadas para el manejo de la fertilidad del cafetal.

8. PERDIDA DE FERTILIDAD DEL SUELO EN EL CAFETAL

La pérdida de fertilidad de los suelos ocurre de varias formas de manera acelerada, una vez que es ocupado por actividades agrícolas o ganaderas.

El suelo, el más básico de los recursos, no es renovable. Una vez perdido es difícil de recuperar en un futuro predecible. La formación de nuevo suelo, el desarrollo de un suelo fértil de la roca parental, es un proceso lento que se mide en una escala de tiempo geológico. Requiere de cientos a miles de años para desarrollar el equivalente.

En contraste, la erosión del suelo es drástica y rápida. El equivalente de 1 cm de suelo puede perderse en una simple tormenta. Literalmente, el suelo formado durante cientos o miles de años puede ser arrastrado o lavado durante un simple evento climático.

8.1. EROSION DEL SUELO

La erosión del suelo implica la remoción del suelo superficial por varios agentes: La caída de las gotas de agua, el movimiento del agua sobre y a través del perfil del suelo, la velocidad del viento y la fuerza gravitacional. El proceso de desgaste hídrico implica la remoción de materiales solubles e insolubles. La erosión física requiere de la separación y transporte de partículas insolubles del suelo, arena, limo, arcilla y materia orgánica.

El transporte puede ser lateral, sobre la superficie del suelo, o vertical, dentro del perfil, a través de vacíos, rupturas y grietas. La remoción de materiales solubles, como sustancias disueltas es llamada erosión química. Esta también puede suceder por la escorrentía superficial o por el flujo subsuperficial, donde el agua se mueve de una capa a otra dentro del perfil. Los procesos de erosión y pérdida de suelos tienen efectos adversos sobre la agricultura porque ellos agotan la productividad potencial de los suelos y disminuyen el recurso base (El-Swaify y Dangler, 1982).

8.1.1. Efectos de la erosión

La erosión reduce la productividad del suelo *in situ* al reducir la profundidad de desarrollo de las raíces, agotando los nutrimentos y las reservas de humedad.

En los trópicos, los daños de la erosión del suelo son muy graves por la baja fertilidad del subsuelo.

8.1.2. Agentes, factores y causas de la erosión de los suelos

Los agentes de erosión son los acarreadores o el sistema de transporte en el movimiento del suelo. Los factores de erosión son aquellos parámetros naturales o artificiales que determinan la magnitud de la perturbación, clima, topografía, suelo, vegetación y manejo. La erosión puede no ocurrir aún cuando los agentes y los factores de erosión estén presentes. Son las causas de erosión las que estimulan los efectos de los agentes y factores de erosión y aceleran los diferentes procesos involucrados. Las causas de erosión incluyen las actividades humanas, las prácticas culturales como la preparación de los suelos, deforestación y los sistemas de cultivo.

8.1.2.1. Erosividad climática

Se refiere a la agresividad climática. Los factores climáticos que afectan la erosividad son la precipitación, velocidad del viento, el balance hídrico, las temperaturas promedio anual y estacional, etc. Precipitación y escorrentía son componentes importantes de la erosividad climática. La agresividad de la lluvia acompañada con vientos difiere de aquella sin ellos.

8.1.2.2. Erodabilidad del suelo

La susceptibilidad del suelo a la erosión. Es una propiedad inherente del suelo e influenciada por sus características, que incluyen textura, estructura, permeabilidad, contenido de materia orgánica, minerales de arcilla, y contenidos de óxidos de hierro y aluminio. Algunos factores climáticos también influyen la erodabilidad, p. ej. temperatura del aire y suelo y balance hídrico.

8.1.2.3. Paisaje

La topografía afecta la erosión del suelo por la longitud y el grado de la pendiente, su forma y su aspecto.

8.1.2.4. Humanos

Entre las causas de erosión, las humanas juegan un papel mayor en la erosión de los suelos, a través del uso y abuso de los recursos naturales.

Actividades humanas importantes en relación con la erosión son la deforestación, pastoreo, abuso de la tierra arable, sistemas agrícolas erróneos e intensidad del cultivo.

8.1.2.5. Tipos de erosión

Los agentes principales de erosión sobre la tierra arable en los trópicos. La gravedad como agente de erosión es relevante en los suelos empinadas.

El salpique, o erosión entre surcos, es causada por el impacto de la lluvia. La erosión laminar es la remoción de una capa delgada y uniforme de partículas de suelo. La erosión por surcos es erosión en pequeños canales de pocos milímetros de ancho y profundidad. Los surcos son transformados en cárcavas cuando no son desechos por la labranza normal. Erosión por túneles es causada por el paso rápido subterráneo del agua. El movimiento masivo del suelo es causado por la gravedad.

8.1.3. Erosión del suelo y degradación

Es importante distinguir entre tres fenómenos relacionados pero diferentes: Erosión, agotamiento y degradación. La erosión del suelo reduce su productividad a través de la pérdida física de la capa superior, reduciendo la profundidad del área de raíces, remoción de nutrientes para las plantas y pérdida de agua. Es un proceso rápido.

El agotamiento del suelo significa pérdida o reducción de la fertilidad debido a la remoción por los cultivos, o por eluviación por el paso del agua a través del perfil.

Es un proceso menos drástico y se puede remediar con facilidad por medio de prácticas de cultivo y por la adición de enmiendas adecuadas. La degradación es un término de significado amplio. Implica la reducción en su calidad a través del deterioro de sus características físicas, químicas y biológicas. La erosión acelerada del suelo es uno de los procesos que llevan a su degradación.

La degradación del suelo es causada por la erosión acelerada, el agotamiento por el uso excesivo, el deterioro de la estructura, los cambios en el pH, lixiviación, aumento de elementos como aluminio o manganeso a cantidades tóxicas, o inundaciones excesivas que llevan a condiciones reducidas y aireación pobre (El-Swaify y Dangler, 1982).

8.1.3.1. Erosión de los suelos en Costa Rica

Siempre las consecuencias de la erosión son drásticas en las regiones tropicales. La drástica reducción causada en la productividad en los trópicos se debe parcialmente al clima severo y particularmente a la baja fertilidad y pobre calidad del subsuelo. Es por la baja productividad del subsuelo expuesto que la erosión es más severa en los suelos del trópico que en los de las zonas templadas (Sánchez, 1976; El-Swaify y Dangler, 1982).

Cuadro 4 Porcentaje de tierras seriamente erosionadas o degradadas en América Central. INCEP, Guatemala 1992 (MIDEPLAN, 1996)	
Costa Rica	17%
Belice	1%
Guatemala	25 - 35%
El Salvador	45%
Honduras	7%
Nicaragua	5 - 10%
Panamá	17%

En Costa Rica, según el World Resources Institute (WRI) y el Centro Científico Tropical (CCT), se estima una erosión de 188,6 millones de toneladas de suelo en 1989. El volumen principal de erosión un 61%, del total del periodo estudiado (1970-1989) provino de tierras con cultivos anuales, el 33,8% de tierras en pastos y solamente 5,1% provino de las tierras con cultivos permanentes (MIDEPLAN, 1996).

Cuadro 5
Area afectada por la erosión hídrica por regiones en Costa Rica, 1981 (MIDEPLAN, 1996)

Grado de erosión	Vertiente del Caribe		Vertiente del Pacífico	
	km²	%	km²	%
Total territorio 50 831 km ²	23		27	
	724		107	
Tolerable (geológica)	18	77,0	11	41,2
	256		180	
Ligera a moderada	4 366	18,4	8 039	29,7
Severa	981	4,1	6 320	23,3
Muy severa	121	0,5	1 568	5,8

En el cuadro 5 vemos como la región del Caribe presenta grados de erosión más bajos debido a que mantiene los suelos húmedos más tiempo, y permanentemente presentan una cobertura de vegetación que protege el suelo del impacto de la lluvia, sus raíces amarran el suelo, y sus tallos y follaje

detienen la velocidad del agua impidiendo que tome velocidad y fuerza de arrastre de materiales.

En la región del Pacífico, la sequía prolongada desnuda el suelo y lo expone a la desecación y el calor.

Las partículas secas al humedecerse se deshacen por la falta de cohesión, el impacto de la lluvia las separa, el agua de escorrentía encuentra menos obstáculos en su carrera, acumulando mucha fuerza de arrastre. Además, se forma una costra impermeable que impide la absorción del agua con aumento de la escorrentía.

Cuadro 6
Pérdida del suelo por erosión por cultivo en Costa Rica. Periodo 1984
(CCT, WRI) (MIDEPLAN, 1996).

<i>Actividad</i>	<i>Area total miles de ha</i>	<i>Erosión total t·106</i>	<i>Porcentaje %</i>	<i>Promedio t./ha/año</i>
Total	2 435,3	224,1	100,0	92,0
Cultivos anuales	412,8	125,5	56,0	304,0
Cultivos perennes	252,3	14,2	6,3	56,3
Pastos (ganadería)	1 770,2	84,4	37,7	47,6

En el cuadro 6 vemos cómo los cultivos anuales inducen grados de erosión muy superiores a los de los cultivos permanentes y pastos.

El cuadro 7 ilustra lo mismo en el estudio de un caso, en Cerbatana de Puriscal, donde el pasto, a pesar de la alta escorrentía, presentó la menor pérdida de suelo.

Esto se debe a la remoción constante del suelo y de su exposición a los meteoros. Un cafetal es un cultivo permanente, pero que en muchos casos es sometido a prácticas inadecuadas que expone el suelo a los agentes de erosión: Raspas, suelo limpio, gavetas, tanques, canales a desnivel, paredones y caminos desprotegidos, gotera por la sombra alta, etc. Si se mantiene una buena cobertura del suelo y se remueve éste, lo menos posible, la erosión es mínima.

Cuadro 7
Promedio anual de pérdida de suelo y escorrentía, con diferentes cultivos, con una pendiente del 60% y precipitación promedio anual 2 280 mm, en Cerbatana de Puriscal. (Barrantes et al. 1997)

<i>Práctica o cultivo</i>	<i>Erosión promedio anual t/ha</i>	<i>Escorrentía promedio mm</i>
Café con sombra (5 años)	1,2	28,6
Café al sol (5 años)	0,8	26,8
Pasto (90% cobertura)	0,7	76,4
Tabaco-maíz-frijol	6,5	18,7

El café al sol mantiene mayor cantidad de malezas cubriendo el suelo. Y, si la sombra es muy alta, su gotera compacta y separa partículas del suelo. Los suelos más compactados tienen menor tasa de infiltración, por lo tanto mayor escorrentía.

8.1.4. Factores de erosión de los suelos

Porque los efectos del clima, hidrología, paisaje, y las propiedades del suelo pueden ser controlados y manipulados a través del manejo, esos factores son designados "pasivos".

8.1.4.1. Clima

En relación con la erosión, los dos factores climáticos más importantes que tienen acción directa son la precipitación y la velocidad del viento. Otros factores climáticos tienen un efecto indirecto, como el balance hídrico, evapotranspiración, temperatura y la humedad relativa.

Los factores indirectos afectan la erosividad de la lluvia alterando el régimen de humedad del suelo y la proporción de la lluvia que se transforma en un exceso que fluye en la superficie.

8.1.4.2. Lluvia

El efecto de las lluvias en la erosión no es constante y varía con el tipo de suelo, del relieve y de la vegetación dominante. Es la lluvia efectiva la que influencia la cantidad y tasa de la escorrentía superficial. En erosión de suelos, la lluvia efectiva se refiere a la proporción que alcanza la superficie del suelo directamente, infiltra en la tierra, y no contribuye el flujo superficial. La efectividad de la lluvia depende de la cantidad de lluvia y la intensidad, y de otros factores físicos, p. ej. suelo, cobertura vegetal, pendiente y evaporación.

La amplia categoría de regímenes de humedad (p. ej. húmedo, subhúmedo, semiárido, y árido) dependen de las proporciones relativas de precipitación y evapotranspiración. La erosión por agua es siempre severa en las regiones subhúmedas y semiáridas, caracterizadas por una estación seca prolongada. Después de un prolongado periodo seco, intensos aguaceros caen sobre el suelo desprovisto de protección vegetal y causan erosión severa. La erosión por agua es severa en las regiones húmedas solo cuando la cobertura vegetal existente es removida.

8.1.4.3. Distribución del tamaño de gota

Lluvias intensas son causadas por gotas grandes, más gotas por unidad de área, por unidad de tiempo, o ambos. El tamaño de gota es un factor importante en la erosividad de la lluvia.

El tamaño de la gota en una tormenta varía considerablemente. El límite superior de tamaño de gotas en una tormenta natural, sin embargo, es de cerca de 6 mm; mayores son inestables y se rompen en más pequeñas.

Las lluvias en la región tropical están caracterizadas por un mayor tamaño relativo de gotas que aquellas de la región templada. Las lluvias más intensas tropicales, de corta duración, tienen mayor tamaño relativo de gotas.

8.1.4.4. Intensidad de la lluvia

La misma cantidad de lluvia caída en un corto periodo de tiempo causa más erosión que cuando es distribuido en un periodo largo y cae como una lluvia suave de baja intensidad.

El segundo factor que afecta la intensidad de la lluvia es el número de gotas. Si el tamaño de gota permanece igual, a mayor intensidad, mayor número de gotas por unidad de tiempo.

8.1.4.5. Velocidad final de la gota de lluvia

La velocidad final de una caída también depende del tamaño de la gota. En condiciones naturales, la velocidad final aumenta con el aumento del tamaño de la gota. La mayoría de las gotas alcanzan su velocidad final a unos 10 m de caída por gravedad.

Cuadro 8
Relación entre el tamaño de gota y velocidad terminal (Wischmeir and Smith, 1958)

<i>Tamaño de gota</i>	<i>Velocidad terminal</i>	<i>Caída para alcanzar 95% de la velocidad final</i>
<i>mm</i>	<i>m/s</i>	<i>m</i>
0,25	1,0	
0,50	2,0	
1,00	4,0	2,2
2,00	6,5	5,0
3,00	8,1	7,2
4,00	8,8	7,8
5,00	9,1	7,6
6,00	9,3	7,2

El cuadro 8 nos muestra la influencia de la altura en la velocidad de caída y por ende la magnitud del impacto de las gotas. El uso de árboles muy altos como sombra en cafetales, suelen ser muy perjudiciales si el suelo bajo ellos se mantiene libre de coberturas que lo protejan.

8.1.5. Erodabilidad del suelo

8.1.5.1. Textura y distribución del tamaño de las partículas

La textura del suelo implica la apariencia visual y tacto de un suelo. Distribución del tamaño de partícula se refiere al diámetro de las partículas del suelo que es determinado por análisis de laboratorio. En relación con la erosión del suelo, la distribución del tamaño de partículas puede ser caracterizado como: Gravas (> 2mm), arena gruesa (2 a 0,2 mm), arena fina (0,2 a 0,02 mm), limo (0,02 a 0,002 mm) y fracción arcillosa (< de 0,002 mm).

La distribución del tamaño de las partículas es importante en el desprendimiento de los sedimentos y transporte. La textura también determina la facilidad con la cual un suelo puede ser dispersado. Los suelos que contienen bajas cantidades de arcilla son fácilmente dispersados. El tamaño de las partículas también determina el umbral de fuerza requerido para arrancar y arrastrar. Entre más grande la partícula, más fuerza es necesaria para el transporte. El tamaño de la partícula, primaria o secundaria, más fácilmente erodada es de cerca de 0,1 mm o la equivalente. La textura del suelo influencia la erosión del suelo porque las partículas gruesas requieren una mayor fuerza de arrastre (viento o agua) que las partículas pequeñas. En general, las partículas de arcillas y limos se

adhieren para formar agregados grandes y pesados. En algunos suelos tropicales, sin embargo, la fracción de limos es relativamente baja.

8.1.6. Estructura

8.1.6.1. Agregación

En la erosión, la estructura del suelo puede comprender las siguientes características: Unión de las partículas y resistencia a la dispersión por el agua, porcentaje de agregados estables en el agua, peso promedio y diámetro de los agregados, facilidad de aceptación de la lluvia y habilidad para transmitir agua a través del perfil, proporción relativa de los macroporos, y estabilidad de los poros y continuidad. En relación con la estabilidad estructural, la cantidad de material agregado en el suelo es importante. El material adherente consiste de materia orgánica, la arcilla y los sesquióxidos.

8.1.6.2. Tamaño de agregados

El tamaño de los agregados estables en agua también tiene su importancia sobre la erosión. Entre más grandes los agregados, más resisten la erosión. Suelos altamente estructurados resistentes a la erosión son aquellos con un alto porcentaje de agregados de 0,25 a 5 mm.

La habilidad de un suelo para resistir la erosión está relacionada con el porcentaje de agregación y la distribución de agregados estables.

La primera fuerza en la separación de partículas de suelo viene del impacto de las gotas de lluvia.

8.1.6.3. Encostrado

La formación de una costra y un sello superficial es el factor mayor responsable de una tasa alta de escorrentía en los suelos tropicales. Los suelos estructuralmente inestables son rápidamente aflojados y forman una costra superficial semi o lentamente permeable. La formación de costra es particularmente severa en suelos con bajos contenidos de materia orgánica.

8.1.6.2. Propiedades de resistencia

Los parámetros de resistencia de los suelos son de relevancia particular a la erosión por el agua que fluye. La densidad volumétrica determina la porosidad total y de aquí la tasa a la cual la lluvia es aceptada. Entre mayor el peso volumétrico, menor la tasa de infiltración.

Los suelos compactados, caracterizados por una alta densidad volumétrica más allá de cierto mínimo, son más propensos a la erosión que los suelos no compactados.

8.1.7. Propiedades hidrológicas

Las propiedades hidrológicas de un suelo se refieren a las propiedades de retención y transmisión del agua.

8.1.7.1. Retención del agua del suelo

Los suelos con un alto porcentaje de materiales contenidos, materia orgánica y arcillas, tienen una alta capacidad de retención de humedad. La resistencia del suelo al arrastre por fluidos es también influenciado por el contenido inicial o antecedente de humedad. Un suelo más seco es más susceptible a la erosión hídrica o eólica que un suelo húmedo. La humedad del suelo provee cohesión entre las partículas e influencia la resistencia del suelo y la tasa de infiltración.

8.1.7.2. Transmisión del agua en el suelo

Se refiere a la facilidad con la que el agua es transferida de la frontera suelo-aire al suelo y de una capa a otra dentro del suelo. Un rango de propiedades del suelo es usado para caracterizar la transmisión del agua en el suelo, incluyendo la conductividad hidráulica (saturado e insaturado) y la tasa de infiltración. La tasa de infiltración es una propiedad importante en relación con la erosión del suelo por el agua.

8.1.7.3. Infiltración

Se refiere a la entrada descendente del agua, desde la superficie en el perfil del suelo. La tasa de infiltración es la tasa máxima a la cual el agua puede entrar en un suelo cuando el agua disponible en la superficie es ilimitada. La tasa máxima de infiltración en equilibrio es también llamada capacidad de infiltración.

La diferencia entre la tasa de precipitación y la tasa de infiltración, llamado el índice de infiltración, es una característica del suelo calculada de datos de campo de tasas de escorrentía y precipitación. La velocidad de infiltración es tasa de infiltrado instantáneo, cambia con el tiempo. La velocidad de infiltración es generalmente alta al principio y decrece con el tiempo hasta que alcanza una tasa constante, p. ej. la tasa de infiltración o la capacidad de infiltración. Los suelos más susceptibles a la erosión son aquellos con tasas bajas de infiltración.

8.1.7.4. Permeabilidad y conductividad hidráulicas

La facilidad del flujo del agua a través del suelo se llama permeabilidad. El equilibrio de la tasa de infiltración se acerca a la conductividad hidráulica

saturada del suelo. El término permeabilidad es usado en general para significar la tasa de movimiento del agua a través del suelo.

La permeabilidad del perfil del suelo está significativamente relacionada con las propiedades de los diferentes horizontes. En un perfil en capas, la permeabilidad es controlada por las propiedades hidráulicas de la capa más restrictiva.

La susceptibilidad de un suelo a la erosión está relacionada con su permeabilidad. Suelos con permeabilidad extremadamente lenta a moderada generan mayor escorrentía y son más susceptibles a los procesos que gobiernan la erosión de tierra alta que aquellos con permeabilidad rápida.

8.2. PROPIEDADES QUÍMICAS Y MINERALÓGICAS

La resistencia de los suelos a las fuerzas generadas por los agentes de erosión está también afectada por sus constituyentes químicos. Los más importantes entre ellos son el contenido y naturaleza de coloides, y la composición de los cationes de intercambio en el complejo coloidal. El complejo coloidal, relevante en la erodabilidad del suelo, comprende los contenidos orgánicos y los minerales arcillosos.

8.2.1. Materia orgánica

El contenido de materia orgánica del suelo afecta significativamente la estructura del suelo y su estabilidad. Los suelos con altos contenidos de materia orgánica son menos susceptibles a la erosión que aquellos con contenidos bajos.

Los suelos incultos de los trópicos no necesariamente tienen más bajos contenidos de materia orgánica que sus contrapartes de las zonas templadas, pero el contenido de materia orgánica de los suelos cultivados en los trópicos declina más drásticamente que en las zonas templadas. Además, el contenido de materia orgánica varía con la cantidad de lluvia. Los suelos en los climas húmedos tienen más materia orgánica que los de similar manejo en climas áridos y semiáridos.

Un amplio rango de propiedades físicas del suelo como la estructura, distribución del tamaño de poros, retención de humedad, propiedades de transmisión y aereación, están directa o indirectamente influenciados por la materia orgánica del suelo. Mientras consideremos las propiedades físicas del suelo, es importante de diferenciar el efecto del humus de aquel de los residuos de cosecha o cubierta. Este último tiene efectos pronunciados sobre el régimen hidrotermal, impacto de la lluvia y salpique, encostrado, e infiltración. Mientras el humus influencia estas propiedades fortaleciendo las ganancias que estabilizan

las unidades estructurales, mantiene un balance favorable entre los poros de retención y transmisión.

Los suelos con bajos contenidos de materia orgánica son más fácilmente compactados que aquellos con alto contenido de materia orgánica bajo condiciones climáticas similares.

Además de la cantidad y calidad de la materia orgánica, su distribución dentro la matriz es un factor importante de estabilidad estructural. Por ejemplo, la concentración de los contenidos de materia orgánica en los microagregados es lo que los hace resistentes al aflojo y dispersión.

Los aumentos en la materia orgánica debidos a la aplicación continua de abonos orgánicos aumentaron el porcentaje de agregados estables en agua y su permeabilidad en suelos aluviales en la India. Mejor estabilidad estructural fue también observada con un incremento en el contenido de materia orgánica del suelo debido a la adición de Jacinto de agua, bagazo de caña de azúcar y compost.

La actividad de las lombrices es también importante, estimulada por materia orgánica fresca descompuesta. Mientras la materia orgánica sufre descomposición microbiana, la baba microbiana y sus derivados aumentan la fuerza de adhesión entre los dominios y los microagregados. La liberación de una variedad de polímeros lineales orgánicos, sustancias húmicas de peso molecular bajo, polisacáridos, y poliurónidos, enlazan las partículas en micro y macro agregados. Los contenidos de materia orgánica no siempre aumentan la resistencia del suelo a las fuerzas de los agentes de erosión. Altos contenidos de carbón orgánico en algunos suelos pueden llevar al desarrollo de características de suelos hidrofóbicos. Estos suelos, con alto contenido de materia orgánica, pueden ser erodables por repulsión electrostática mutua, desarrollada entre agregados.

8.2.2. Minerales de arcilla

La estructura del suelo y su resistencia están influenciadas por el contenido y naturaleza de los minerales de arcilla. La erodabilidad del suelo varía con el tipo y contenido de arcilla.

Las propiedades estructurales de algunos suelos tropicales, en especial aquellos que contienen arcillas predominantes de baja actividad (1:1), requieren mención especial. Estas arcillas son aquellas con una capacidad de intercambio de cationes efectiva de 16 meq/100 g de arcilla o menos. Son suelos en los cuales la fracción arcillosa está compuesta predominantemente de caolinita y haloisita con hidróxidos de hierro y aluminio. En su mayoría son alfisoles, ultisoles y oxisoles. Mientras los alfisoles y ultisoles pueden tener arcilla fácilmente dispersable en sus perfiles, la arcilla en los oxisoles es altamente resistente a la

dispersión, por las fuerzas intensas entre partículas causadas por los hidróxidos de hierro y aluminio.

No todos los suelos en los trópicos conteniendo arcillas de baja actividad poseen agregación estable. Algunos alfisoles y ultisoles tienen estructura menos estable. Ellos tienen horizontes superficiales de texturas gruesas y medianas, y una aguda transición a horizontes B arcillosos. Son estructuralmente inestables, tienden a romperse y fácilmente compactados; y sus tasas de infiltración declinan rápidamente con el cultivo. En comparación, los oxisoles y alfisoles y ultisoles que tienen solo un incremento gradual en el contenido de arcilla abajo de sus perfiles, son suelos relativamente estables estructuralmente. Los oxisoles siempre son más ácidos que otros suelos con arcillas de baja actividad y pueden tener gibsita y altas proporciones de óxidos e hidróxidos en su fracción arcillosa. Juntos, estos suelos cubren gran parte de los trópicos húmedos y subhúmedos.

8.2.3. Cationes de intercambio

La naturaleza de los cationes en el complejo de intercambio determina el tipo de estructura del suelo y resistencia. Los suelos conteniendo cationes bivalentes predominantemente (Ca^{2+} , Mg^{2+}) tienen estructuras más estables que aquellas conteniendo cationes monovalentes (Na^+ , K^+).

8.2.4. Características del perfil del suelo

Las características del perfil influyen la erosión directa e indirectamente. El crecimiento de la vegetación, un factor agronómico importante, afecta la erosión proveyendo una cobertura protectora sobre la superficie del suelo y contribuyendo con las reservas de materia orgánica del suelo. Mejor y más profunda distribución de raíces en el perfil del suelo favorece la estructura y reduce erodabilidad. Las características del perfil influyen la magnitud y el tipo de erosión en las siguientes vías:

a) Las características del perfil influyen el flujo del agua

La tasa y el tipo de flujo del agua a través del perfil son influenciados por las propiedades hidrológicas de los diferentes horizontes. El cambio abrupto en las propiedades hidrológicas entre un horizonte y otro inicia procesos que llevan a la erosión. P. ej. arena sobre arcilla puede causar erosión severa sobre el material arenoso sin cohesión superior. Los perfiles caracterizados por un subsuelo compacto son más severamente afectados con erosión acelerada que aquellos con un subsuelo más friable y permeable.

b) Las características del perfil influyen el crecimiento vegetativo

Suelos con un horizonte superior superficial y aquellos cercanos a la cama de rocas son más susceptibles a la erosión que aquellos con un horizonte A

profundo. Si las propiedades del subsuelo son desfavorables al crecimiento de las raíces, el suelo superficial es siempre propenso a la erosión acelerada.

Tales suelos pueden soportar solo escasa vegetación que es fácilmente denudada por el pastoreo u otros factores naturales. La erosión por viento y el agua se vuelven acelerados en superficies desnudas y sobre suelos con poca materia orgánica y estructura pobre. Los suelos con baja fertilidad, en zonas templadas y tropicales, son más fácilmente erodadas y degradadas que los suelos fértiles (Sánchez, 1976, Suárez de Castro, 1982).

8.3. MEDICION DE LA EROSION

La medición de la erosión se debe realizar en cada sitio. Y ya hemos presentado un ejemplo en el cuadro 7. Una revisión de las variables que componen la Ecuación Universal de Erosión, nos da pautas de la efectividad e idoneidad de las prácticas de protección de los suelos que podemos adoptar y realizar.

Ecuación Universal de Erosión, citada por Rivera y Gómez (1993).

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P.$$

Donde:

A = Pérdida de suelo por erosión en t/ha.año.

R = Índice de erosividad de las lluvias (medida de agresividad de las energías de las lluvias que ocasionan erosión) en tm.mm/ha.h.año.

K = Índice de erodabilidad del suelo (susceptibilidad del suelo a la erosión), en t.ha.h/tm.mm.ha.

LS= Factor de la longitud de la pendiente del terreno por el factor grado de inclinación de éste (los cuales potencializan la energía del agua como agente de la erosión).

C = Factor del cultivo (cobrimiento vegetal que atempera la agresividad de la precipitación).

P = Factor prácticas de conservación de suelos (ayuda a atemperar la acción del agua como agente de erosión).

En Colombia, la predicción de pérdida por erosión en cafetales es de 1,77 t/ha.año (Rivera y Gómez, 1993). Rivera (1998) resume la calificación del factor de erodabilidad de cinco suelos de la zona cafetalera colombiana, según varios

autores. El valor K está definido por el tamaño de los agregados que componen la estructura superficial del suelo y su importancia en la resistencia a la erosión. Para agregados menores a 0,5 mm, el factor K varió de 8,75 a 53,4; agregados de 0,5 a 1 mm, varió de 3 a 14,39; y agregados de 1 a 2 mm, varió de 1,39 a 13,76. Sus promedios (de cinco observaciones) si cabe, fueron 22,57; 5,98 y 4,22 del factor erodabilidad, recalcando la importancia del tamaño de los agregados del suelo y su influencia en la susceptibilidad a la erosión.

Cuadro 9
Eficiencia de algunas prácticas de conservación de suelos
(Rivera y Gómez, 1993)

<i>Práctica</i>	<i>Eficiencia máxima (%)</i>	<i>Factor P</i>
Siembra en contorno	30	0,7
Barreras vivas	60	0,4
Cultivo en fajas	60	0,4
Coberturas vegetales	95	0,05
Coberturas "nobles"	97	0,03
Empastados (gramíneas)	99	0,01
Bosque y sotobosque	99	0,01

El cuadro 9 destaca la importancia de la integración de prácticas de conservación en el establecimiento y manejo del cultivo; y subraya la importancia del uso de cobertura del suelo para mantener a un mínimo la acción de los agentes erosivos, ya sea que se siembre, se mantenga un enmalezado selectivo o se apliquen coberturas muertas con residuos de podas o materiales orgánicos.

El uso de barreras y la siembra a contorno son importantes pero no son suficientes para una protección efectiva. La construcción de canales y acequias no son prácticas adecuadas.

Cuadro 10
Valores C para coberturas herbáceas, Wischmeier, 1974
(Rivera y Gómez, 1993)

<i>Cobertura %</i>	<i>Establecimiento</i>	<i>Factor C</i>
95-100	Bien	0,003
80	Moderado	0,012
40	Pobre	0,10
20	Muy pobre	0,20

El cuadro 10 destaca la importancia del uso de coberturas bien adaptadas a las condiciones de suelo y clima del lugar, para que su efecto sea eficiente. La introducción de especies exóticas corre este riesgo, por lo cual el enmalezado selectivo es más consecuente con los objetivos buscados.

Cuadro 11
Factor C de cobertura vegetal y técnicas de cultivo en Africa
Occidental
(Roose 1977, citado por Rivera y Gómez 1993)

<i>Práctica</i>	<i>Factor C</i>
Suelo desnudo	1
Bosque natural, matorral, cultivo con capagruesa de materia orgánica	0,001
Sabana o potrero en buenas condiciones	0,01
Sabana o potrero sobrepastoreado	0,1
Cubierta de cultivo de desarrollo lento	0,3-0,8
Cubierta o cultivo de desarrollo rápido	0,001-0,1
Maíz, sorgo	0,4-0,9
Arroz	0,1-0,2
Yuca y ñame	0,01
Café, cacao, palma	0,1-0,3
Piña en contorno	
-residuo quemado	0,2-0,5
-residuo enterrado	0,1-0,3
-residuo superficial	0,2-0,8

9. PROTECCION DEL SUELO DEL CAFETAL ORGANICO

Un cafetal bien establecido, con calles a contorno, de alta densidad y buen manejo de las podas ejerce una buena cobertura sobre el suelo, sombreándolo y protegiéndolo con sus ramas de los agentes de erosión. El uso de la sombra debe ser, bien manejada, con podas lo más bajas posibles, de especies que responden a la poda, de raíces profundas, y buena producción de biomasa que se pueda esparcir sobre el suelo.

El manejo selectivo de malezas, eliminando las gramíneas agresivas, seleccionando plantas de crecimiento lento y rastrero, fáciles de controlar y tolerantes a la sombra. La eliminación de practicas como las raspas, paleas, gaveteo, tanqueas, terraceo, canales a desnivel, en suelos con pendientes pronunciadas, o suelos poco profundos. Todas estas son recomendaciones que reducen las pérdidas de los suelos y mejoran sus características.

9.1. ARROPE O COBERTURA

Thurston (1992) la define como "la aplicación de una capa de cobertura de material sobre la superficie del suelo"; o como "cualquier cobertura colocada sobre la superficie del suelo para modificar las propiedades físicas, crear un ambiente favorable para el desarrollo de las raíces y extracción de nutrientes, y reducir la erosión y degradación del suelo".

Es importante la relación C/N en el efecto del arrope incorporado en el suelo, pues el nitrógeno soluble del suelo puede ser inmovilizado por los microorganismos que descomponen el material orgánico. Esto puede causar una deficiencia de nitrógeno y puede hacer a algunos cultivos más susceptibles a los patógenos del suelo.

[Figuras 4, 5 y 6](#)

Muchos autores se refieren a coberturas vivas las que son similares a abonos verdes. Las coberturas vivas son intercaladas con los cultivos de interés por su valor como cobertura, mientras que los abonos verdes también son cultivados por su valor como cobertura pero también incorporados como enmienda orgánica (da Costa, 1995).

9.1.2. Beneficios de las coberturas

Las coberturas son especialmente importantes en las regiones tropicales con lluvias fuertes, pues mejoran la absorción del agua y son importantes en su

conservación. Las coberturas reducen el impacto de las gotas, un medio importante de diseminación de numerosos patógenos. Las temperaturas del suelo son más bajas bajo las coberturas en las regiones tropicales calientes. Algunos autores citan que las coberturas redujeron la temperatura en 2°C, en los 10 cm superiores del suelo, durante los días calientes y en 5°C en las tardes. Tales cambios en temperatura pueden tener efectos significativos en la habilidad de los patógenos del suelo en producir enfermedades (Thurston, 1992).

En café el arroje reduce la temperatura del suelo, protege contra la lluvia, conserva la humedad, aumenta los nutrientes del suelo, incrementa la materia orgánica, produce condiciones ideales para el crecimiento de las raíces, reduce las malezas, disminuye la acidez del suelo, y aumenta las cosechas. Aunque su uso eleva el costo de las labores.

El uso de los abonos verdes de leguminosas toma importancia en el manejo y conservación del suelo y la recuperación, mantenimiento de su fertilidad y de su potencial productivo. Dentro de los beneficios se puede mencionar: mejora la estructura física, incrementa la actividad biológica hasta profundidades mayores que la de la capa arable y controla los nemátodos. El uso de especies de leguminosas como los árboles de sombra en los cafetales, tiene muchos propósitos, entre ellos la de abonos verdes, y muchas otros efectos beneficiosos:

Según un listado hecho por Quirós *et al* (1998).

- Protegen el suelo contra el impacto de las gotas de la lluvia.
- Mantienen o acondicionan el suelo, permitiendo una alta tasa de infiltración del agua.
- Aumentan la materia orgánica del suelo por la acumulación de materia vegetal.
- Reducen los cambios de temperatura del suelo.
- Aumentan la capacidad de retención del agua del suelo.
- Disminuyen la evaporación, aumentando la disponibilidad del agua en el suelo.
- Ayudan a la recuperación de los suelos degradados, al introducir gran cantidad de raíces; airea y crea la estructura de los suelos.
- Promueven el reciclaje de nutrimentos. Sus sistemas radiculares ramificados y profundos extraen nutrimentos de las capas profundas y los llevan a las capas superficiales.
- Reducen el lavado de nutrimentos del suelo.
- Aportan nitrógeno al suelo por medio de la fijación biológica de las leguminosas.
- Reducen la población de malezas.
- Crean las condiciones ambientales favorables para la vida biológica del suelo.

9.1.3. Algunas características físicas afectadas

9.1.3.1. Estructura o agregado del suelo

Por un lado el incremento en la actividad de los microorganismos y microfauna del suelo contribuyen a agregar los suelos.

La materia orgánica provee agregación a los terrones de suelo, mejora la estabilidad estructural y afecta la consistencia de los mismos. El efecto en la agregación a su vez mejora la porosidad y por lo tanto, afecta la aireación y la infiltración del agua en el suelo.

La descomposición de los residuos orgánicos (raíces, tallos, hojas) a través de los microorganismos del suelo es responsable de la formación y estabilidad de los agregados del suelo, aspecto importante en la estructura.

9.1.3.2. Protección del suelo

Los abonos verdes que son buenas coberturas, disminuyen el fenómeno de salpique o rompimiento de la estructura que es el primer paso para la remoción del suelo. La fuerza de impacto desagrega el suelo en partículas muy finas que obstruyen o tapan los poros, provocando el sello superficial, lo que impide la rápida infiltración del agua.

También los abonos verdes que presentan una alta densidad de follaje y que crecen en forma abundante cerca del suelo, pueden disminuir el efecto mecánico del arrastre, al reducir la energía de las aguas de escorrentía.

9.1.3.3. Mejoran la infiltración y la retención de humedad

La adición de biomasa al terreno mejora la estructura y el contenido de materia orgánica, lo que incrementa la infiltración y la retención de humedad del suelo.

9.1.3.4. Efecto de las características de los abonos verdes

Los efectos sobre las características físicas del suelo antes mencionadas, dependen de las características de los abonos verdes y de su capacidad de cobertura. Muchos abonos verdes son buenas coberturas y otros no.

Algunos de los aspectos físicos mencionados son afectados directamente por la cobertura, p. ej. la reducción en la escorrentía y en el daño físico ocasionado por la lluvia. Otros como la agregación, dependen de la incorporación de materia orgánica, de las características de la mineralización y de las relaciones C/N de los materiales usados. Es importante señalar que muchos abonos verdes, debido a su baja relación carbono/nitrógeno son mineralizados rápidamente y tienen poca estabilidad en el suelo.

9.1.4. Efecto biológico

La materia orgánica es fuente de energía para los organismos del suelo:

La cantidad de materia orgánica (con sus enlaces de carbono) constituye la fuente de energía para muchos microorganismos del suelo, por lo que incrementan su número. El aumento de la concentración de residuos en la superficie del suelo, hace disponible una mayor cantidad de fósforo, lo que favorece la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno. En el caso de las leguminosas, el aporte de carbono es acompañado por el nitrógeno.

Las plantas usadas como abono verde atenuan las variaciones térmicas del suelo, por lo que benefician la actividad biológica: En forma indirecta, la materia orgánica proveniente de los abonos verdes incide en los aspectos físicos del suelo, ocasionando una mejor retención de agua y una mejor aireación.

Con esto, se mejoran las condiciones para el crecimiento de microorganismos y por ende, las condiciones para el crecimiento de las plantas.

10. MANEJO DEL CAFETAL ORGANICO

10.1. DISTANCIAS DE SIEMBRA

Depende de la variedad, de las condiciones de clima y del sistema de poda que se vaya a seguir (ICAFFE-MAG, 1978).

1,0 m entre plantas y 2, 0 m entre calles para Catuaí.

0,9 m entre plantas y 1,8 m entre calles para Caturra y otras variedades.

En Colombia, Castillo (1997) midió los patrones de interceptación de la luz por poblaciones variables de plantas de café. El cuadro 12 resume sus resultados, a los 36 meses de edad de la plantación que muestran como conforme aumenta la densidad, el índice de área foliar por planta se reduce, pero se aumenta por unidad de área. El incremento de interceptación de la luz es mayor cuando se pasa de 500 plantas por hectárea a 5,000 plantas. Iguales incrementos de la densidad, después de 5,000 plantas, tienen aumentos reducidos de interceptación de luz.

Cuadro 12
Area foliar (AF), índice de área foliar (IAF), interceptación (I) y transmisividad (T) de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) en poblaciones de *Coffea arabica* var. Colombia de 36 meses. Naranjal, Cenicafé. 1993. (Castillo R. 1997).

<i>Densidad pl/ha.</i>	<i>AF m² /pl</i>	<i>IAF m²/m²</i>	<i>T* %</i>	<i>I* %</i>
2 500	12,98 a **	3,3 a	34,2 a	65,8 a
5 000	10,17 b	5,1 b	13,1 b	86,9 b
7 500	6,89 c	5,2 b	6,5 c	93,5 c
10 000	5,55 cd	5,6 bc	3,1 c	96,9 c
12 500	4,94 d	6,3 c	3,0 c	97,0 c

* promedio de evaluaciones a ras del suelo (bajo el árbol, translape y calle)

** promedios dentro de una columna seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes (P<0,05)

El aumento de las densidades de siembra ha sido la práctica más importante sobre la que se ha basado el crecimiento sostenido de la productividad nacional

hasta finales de los años 80. Este aumento en las densidades fue obligado por el aumento de los costos de producción.

No hay duda de que las siembras densas dan productividades mucho mayores de las convencionales, aspectos que compensan en mucho las dificultades de manejo del cultivo, en términos de poda, cosecha, atomización y otros. Hay evidencias de que la población de 5,000 plantas/ha, que corresponde a los espaciamientos de 2,5 0,8m, está bien próxima de la ideal para las variedades de porte pequeño. (Rena y Maestri, 1986).

Rena y Maestri (1986) citan a Kumar quien presenta tres razones por las cuales las densidades altas no causan un desbalance hídrico desfavorable:

- a) El sistema radicular tiende a ser más profundo, con mayores densidades, permitiendo el aprovechamiento del agua de las capas más profundas del suelo.
- b) A causa del sombreado mutuo, la temperatura foliar y del suelo son menores, resultando en menor transpiración y evaporación de la humedad del suelo.
- c) Hay menor desarrollo de malezas en la base del dosel, a causa de la baja luminosidad, lo que contribuye aún más a la economía del agua.

En resumen, la siembra densa permite la captura más eficiente de la energía luminosa para la síntesis de carbohidratos, mejora la utilización del agua y de los minerales y logra control natural de la floración, evitando la superproducción por árbol y la consecuente muerte descendente de las puntas.

El número de ejes es importante. Las plantas manejadas a un eje tienden a agotarse rápidamente y pierden el follaje en la parte media (acinturamiento) por desbalances en la relación parte aérea/raíz. El número de ejes por planta está relacionado con las distancias de siembra: A mayor densidad menos ejes, 2 a 3 por punto de siembra; a menor densidad más ejes, 3 a 5 por punto de siembra, según criterio. Este aspecto es importante de tomar en cuenta al efectuar la deshija, después de la poda.

10.2. PODA

La podas en café son necesarias para la renovación de los tejidos y mantener un alto potencial de la producción.

Conforme la planta crece, después de su quinta cosecha, la productividad declina, porque el índice parte aérea/raíz aumenta por la acumulación de

madera en los tallos, en detrimento del sistema radical. La poda elimina madera y el balance es favorable para el sistema radical.

Además, las plantas entran en competencia por espacio y luz, con lo que la cosecha se suspende, en las ramas más altas. La poda regula entonces la distribución de la luz, conforme la plantación envejece, para mantener una productividad adecuada.

10.2.1. La poda se hace así:

- a) Apenas termina la cosecha, se descumbra la sombra, e inicia la poda de las plantas de café.
- b) La poda se hace con serrucho curvo de hoja fuerte, bien afilado. También hay motosierras pequeñas. Las figuras 5 y 7 ilustran esta práctica.
- c) **Primero se hace un arreglo:** Se saca las ramas y chupones prensados, o que crecen por dentro (al centro), para abrir la planta.
- d) Se dejan solo tres o cuatro ramas bien colocadas, que crecen hacia fuera. Esta selección se hace por su posición y no por su grosor. Se observa la condición de la planta. Si tiene buena preparación se deja así y se hace solo un arreglo.
- e) Hecho lo anterior, sigue el segundo paso:

Si la planta está completamente agotada, se cortan todas las ramas a igual altura, a la altura de la rodilla (a 40 ó 50 centímetros del suelo). Las bandolas permanecen.

Si hay buenas bandolas, se corta más alto, a la cintura o al pecho, para estimular dos cosechas, antes de podar otra vez abajo.

- f) El corte es recto, no en bisel, para que cicatrice rápido y no entren enfermedades al tronco.

Este es el sistema de poda por planta. Es el que estimula mayor producción.

Una variante es la poda por parches. En este caso, se poda varias plantas vecinas para abrir espacios de luz y eliminar focos de Ojo de Gallo y Koleroga.

10.2.2. La poda por lotes

Dependiendo de la zona y el clima, se divide el cafetal en cuatro (zona media y baja, abajo de 1000 metros de altitud) o cinco lotes (zona alta, arriba de 1,000 m de altitud). Cada año se poda el lote más viejo y agotado.

Este sistema es muy ventajoso porque:

- a) Hay un ordenamiento de las cosechas por lotes. Los lotes de ramas jóvenes maduran más tarde. Los lotes con ramas más viejas maduran más temprano. Así se ordenan las cosechas y se efectúan menos pasadas por el cafetal.
- b) Los recolectores tienen menos problemas con el verde y el pintón. Se puede dejar que las maduraciones sean más completas y parejas.
- c) Hay menos tránsito por lote, menos compactación y menos erosión del suelo.
- d) Se ordenan las labores de desyerba, abonadas, deshija, etc.

10.2.3. Se aprovecha al máximo el terreno disponible

Es común la producción de frijol, tomate, pepino, chile dulce, chile jalapeño, maíz dulce (elote), gandul, brócoli y muchos otros cultivos, en los lotes podados, para mejorar los ingresos y el consumo en la casa, aprovechando el año de poda. Esto da ingresos extras al agricultor y mejora su cafetal.

10.3. LA DESHIJA

Se realiza a mediados y finales de junio, cuando los rebrotes o chupones están bien definidos, pero no muy duros.

Primero se eliminan los hijos prensados y los que crecen por dentro, para abrir la planta. **Se escogen por posición.**

Se dejan solamente 3 o 4 hijos bien colocados y fuertes, Se efectúa un repaso en julio, para quitar los chupones que salen atrasados.

10.4. EL CAFETO

La planta de café tiene ciclos de crecimiento y producción influenciados por el movimiento terrestre. Así, el 21 de junio es el día más largo del año y el 21 de diciembre es el día más corto.

Se dice entonces que el café es una planta estacional. Sus periodos de floración, crecimiento y cosecha están marcados por las estaciones, durante el año.

El tronco de café tiene yemas de las que salen dos tipos de rama: Hijos o ramas verticales y ramas productoras horizontales, o bandolas. Las bandolas también tienen dos tipos de yemas: Las que producen las flores y las que desarrollan palmillas. Las palmillas a su vez poseen yemas que producen flores y más palmillas. Durante el año crecen las ramas que florecen al año siguiente. Para que las yemas, situadas en los nudos de las bandolas, se conviertan en flores, tienen que ser estimuladas por hormonas que produce la planta. Para que la planta produzca la cantidad necesaria de hormonas, estimulantes de flores, se necesitan días cortos y noches largas.

A partir del mes de septiembre anochece más temprano y amanece más tarde (noches largas). Es cuando las yemas de las ramas, que se han desarrollado ese año, se definen para producir flores por el estímulo de las hormonas.

Después que esto sucede, las flores se pueden abrir en cualquier momento.

En la vertiente del Caribe las floraciones son más dispersas, por el estímulo de las lluvias constantes.

En la vertiente del Pacífico son más concentradas porque el periodo seco detiene la floración. En el momento en que llueve suficiente, las flores se abren once días después de un buen aguacero.

El fruto tiene un crecimiento lento al principio: Primero desarrolla los lóculos (pergamino) donde se alojará la semilla, que los llenará después. El tamaño de los lóculos depende de las lluvias en el periodo de su formación. Si llueve poco en mayo y junio, las semillas serán pequeñas; por eso en muchas regiones secas el fruto es pequeño.

El fruto crece rápidamente cuando inicia su maduración y produce una gran demanda de nutrientes de la planta, para engrosar la pulpa y los mucílagos (mieles).

Después de la floración, la planta entra en un desarrollo rápido de las ramas nuevas y el tronco.

En ese momento la planta de café tiene "dos bocas" que alimentar: los frutos y el crecimiento nuevo. La demanda por nutrientes es fuerte, y es fácil que la ataquen enfermedades como las "chasparrías".

10.4.1. Se pueden fortalecer las plantas, en este periodo:

a) Procurando hacer los abonamientos temprano, cuando hay suficiente humedad en el suelo.

b) Controlando las hierbas para que no compitan por nutrimentos.

c) Arreglando la sombra, pero no demasiado.

En los meses de septiembre y octubre llueve mucho y el suelo se satura. Las raíces del cafeto se ahogan, al mismo tiempo que el crecimiento y la cosecha exigen más nutrimentos a las raíces.

Una sombra con buen follaje (hojas) extrae mucha agua del suelo, auxiliando a las raíces del cafeto. Es por esto que en Turrialba un cafetal a la sombra produce más que un cafetal al sol.

La sombra sobre el cafeto hace que los procesos de maduración y crecimiento sean más lentos, evitando las "chasparrías" y caída de frutos (purga).

El exceso de sombra reduce el crecimiento y la cosecha del año siguiente. Debe existir un equilibrio. En este caso es muy importante nuestra experiencia en el lugar, y conocer bien el clima y los problemas que podrían presentarse.

11. LA SOMBRA EN EL CAFE ORGANICO

En un sistema de café orgánico, la sombra cumple tareas más importantes aún que el de modificar el microclima y regular el crecimiento. Cuando los árboles de sombra asociados son leguminosas, estas favorecen la fijación simbiótica de nitrógeno en cantidades considerables y sus raíces recuperan, y reciclan, otros nutrimentos que son puestos a disposición del cultivo, reduciendo las necesidades de compra de fertilizantes.

Los trabajos de investigación conducidos por MAG-ICAFE en los años 80 (cuadro 32) con fertilización en cafetales con sombra y al sol indican que en suelos fértiles de Heredia y Alajuela, entre 1,000 y 1,150 metros de altitud, con un periodo seco normal y suficientes lluvias, sin limitaciones de clima y suelo, el cafeto produce más al sol que a la sombra.

En suelos con algunas limitaciones de fertilidad o de exceso de humedad y temperatura, el cafetal a la sombra produce más que el cafetal al sol.

Los árboles de sombra y forestales influyen modificando el ambiente dentro del cafetal refrescando el aire y aumentando su humedad. También, producen residuos orgánicos que mejoran la fertilidad del suelo y mejoran la calidad de los frutos porque estos son más grandes y sanos.

11.1. ARBOLES PARA SOMBRA EN CAFETALES ORGANICOS

Los árboles ideales para asociar con el cafeto son los pertenecientes a las leguminosas. Esta familia de plantas tiene, como característica, que se asocian en simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno de la atmósfera.

Esta fijación simbiótica es muy importante porque el 50% de la productividad del cafetal depende de la cantidad de nitrógeno que pueda aprovechar del suelo, y es un aporte fundamental de fuente natural.

Un tipo de bacteria coloniza las raíces absorbentes de la leguminosa formando nódulos. Se da una simbiosis entre la planta y la bacteria porque los dos se benefician. El árbol alimenta a la bacteria con azúcares y otras sustancias nutritivas y las bacterias le proporcionan nitrógeno que el árbol necesita para producir proteínas y formar sus tejidos.

Cuadro 13
Algunos árboles para sombra permanente y temporal para café,
fijadores de nitrógeno.

<p>Sombra permanente:</p> <p>Poró extranjero, poró gigante</p> <p>Poró copey</p> <p>Cuajiniquil</p> <p>Guaba</p> <p>Sombra temporal:</p> <p>Gandul o frijol de palo</p>	<p><i>Erythrina poeppigiana</i></p> <p><i>Erythrina glauca</i></p> <p><i>Inga edulis, Inga vera</i></p> <p><i>Inga mollifoliola, Inga paterno</i></p> <p><i>Cajanus cajan</i></p>
---	---

El cuadro No. 13 nombra algunos de los árboles más usados como sombra, porque son abundantes y fáciles de reproducir por el agricultor.

Todos se pueden reproducir por semilla, así se pueden sembrar directamente, colocando tres semillas por punto de siembra, y luego se escoge el más fuerte, o se puede hacer vivero en bolsa.

Los árboles de poró se pueden reproducir por medio de estacones, y esta es la forma más corriente de establecerlos.

11.2. ESTABLECIMIENTO DE LA SOMBRA

¿Cuántos árboles se deben establecer por área?

Esto es relativo. Si el suelo es poco fértil o muy húmedo, o tiene problemas especiales de toxicidades por hierro y manganeso (zona sur), es mejor sembrar más árboles por hectárea. En este caso hacemos arreglos más frecuentes para impedir un exceso de sombra, durante el periodo lluvioso.

Se recomiendan desde 130 árboles, sembrados a 7,5 x 10 metros, hasta 225 sembrados a 7,5 x 6 metros.

11.2.1. Siembra de estacones de poró

Las ramas verticales de los árboles de poró se dejan crecer hasta que tienen un diámetro de más de 10 centímetros.

Algunos agricultores cortan las ramas para formar estacones, y los dejan recostados durante varios días, en posición vertical, para que la savia se acumule en la base. Con esto estimulan la formación de raíces.

Los agricultores de la región de Frailes de Desamparados cortan estacones, de 2 y medio a 3 metros de largo, el mismo día de la siembra, en el mes más seco (febrero o marzo).

Con un cuchillo pelan 50 centímetros de la base del estacón (como pelando caña).

Hacen hoyos de 1 metro de profundidad con un palín. Colocan el estacón en el fondo y aprietan bien el suelo. Ellos garantizan que todos pegan debido a que: Al cortarlos en el periodo más seco tienen menos agua y no "lloran" y el pelado de la base estimula la formación de raíces.

El suelo seco favorece la cicatrización de los cortes, y a más de 50 centímetros de profundidad no hay microbios que causen pudriciones.

11.3. ARREGLO DE LA SOMBRA

11.3.1. Descumbra al final de la cosecha y antes de la poda del cafeto

Se hace una descumbra total dejando cuatro ramas horizontales, y eliminando las ramas gruesas verticales. En Turrialba se le llama "doble cachera". Se pretende que las ramas nuevas se extiendan horizontalmente proyectando su sombra sobre el cafeto. La figura 9 muestra esta práctica.

Se debe procurar mantener la sombra muy baja, de manera que el agricultor la pueda arreglar, desramar y despuntar, de pie desde el suelo. Subir al árbol o utilizar una escalera, cuesta más trabajo y existe el peligro de una caída o lesionarse.

La sombra muy alta produce goteras que aumentan la erosión y favorecen la presencia del Ojo de gallo.

11.3.2. Arreglos antes de la cosecha

Desde agosto y septiembre se realizan arreglos livianos, de modo que penetre suficiente luz pero sin dejar el cafetal a pleno sol, para controlar las chasparrias.

No se debe olvidar que la planta en este periodo está en pleno crecimiento de las ramas nuevas, tiene que atender la cosecha, y el suelo está muy saturado

por el exceso de humedad. Si se expone a pleno sol es forzada demasiado, aumentando la quema y caída de frutos y defoliaciones.

11.4. ARBOLES FORESTALES

Se pueden usar como única sombra o junto con la sombra establecida.

Los árboles forestales son beneficiosos porque sus raíces rompen las capas profundas y duras del suelo, aireándolo y mejorándolo. Extraen nutrientes de las capas más profundas, donde no llegan las raíces del café. Esos nutrientes luego se depositan en la superficie del suelo al caer las hojas y ramas.

También la madera constituye un ingreso extra para el agricultor, por lo que es conveniente que sean árboles de maderas valiosas, de nuestros bosques naturales.

El cuadro 14 muestra como en Turrialba se sembraron varios tipos de árboles forestales en un cafetal, 100 árboles por hectárea, para conocer cuál es mejor en sobrevivencia o adaptación.

Cuadro 14
Comparación de varias especies de árboles forestales sembrados en un cafetal de Turrialba (Montenegro y Ramírez, 1997)

Especie maderable	Altura a los 18 meses	Diámetro de copa	Sobrevivencia
Cedro (<i>Cedrela odorata</i>)	3,5 m	1,3 m	100%
Laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	4,3 m	2,7 m	97%
Eucalipto (<i>E. deglupta</i>)	6,4 m	3,8 m	87%
Nogal (<i>Juglans olanchana</i>)	1,5 m	1,1 m	17%

El cedro y el laurel son maderas finas, fáciles de establecer, el diámetro de su copa es menor que la del eucalipto. Un problema grave de los cedros es que son perforados por un insecto que daña su brote principal (*Hypsipyla grandella*), lo cual limita su uso. Este insecto es difícil de controlar.

12. NECESIDADES NUTRICIONALES DEL CAFETAL ORGANICO

12.1. PERDIDA DE NUTRIENTES EN EL SUELO

Dentro del agrosistema cafetal, las pérdidas de nutrimentos ocurren constantemente, por la acción de la lixiviación, la escorrentía y los productos que son extraídos. La pérdida de elementos nutritivos para las plantas puede ser recuperados por medio de prácticas de cultivo adecuadas y abonamientos, que mantienen el suelo en estado saludable. La pérdida de suelo es irreparable y lleva a la degradación del sistema.

12.1.1. Lixiviación

En el cuadro 15 se observan las pérdidas de elementos nutritivos determinados por Imbach, citado por Fassbender (1993), en un cafetal asociado con dos tipos de árboles de sombra, en Turrialba. Fassbender llama la atención de que las pérdidas de nitrógeno y potasio son aceptables, pero las pérdidas de calcio y magnesio son altas, en especial las de magnesio, por sus bajos contenidos en todos los suelos.

Cuadro 15
Lixiviación de elementos nutritivos en sistemas agroforestales de café con sombra de poró o laurel, 1983-1987, kg ha⁻¹ a⁻¹, (Imbach et al, citado por Fassbender (1993))

	N	P	K	Ca	Mg
Café con poró	6,02	0,70	1,84	23,39	16,54
Café con laurel	6,03	0,55	2,15	6,92	7,64

12.1.2. Erosión

En Cerbatana de Puriscal, Cervantes y Värhson (1992) calcularon pérdidas de elementos en parcelas de café, por arrastre de las aguas superficiales, como se detalla en el cuadro 16. Ellos consideran que estas pérdidas de elementos no tienen significación económica.

Cuadro 16
Pérdidas reales de bases, medidas en los sedimentos,
debidas a la remoción del suelo (Ustic Haplustalf) por
las aguas de escorrentía, en Cerbatana de Puriscal.
(Cervantes y Vährson 1992). kg/ha.

	K	Ca	Mg
Café con sombra	1,0	3,5	1
Café sin sombra	0,11	0,5	1

12.1.3. Extracción y exportación

Extracción significa la cantidad de minerales que la planta de café retira del suelo y está contenido en todas sus partes: Raíces, tallo, ramas, hojas, flores y frutos.

Exportación y parte de la extracción, se refiere a los elementos contenidos solo en los frutos, que son cosechados y sacados de la finca; representan por tanto, una retirada del banco de elementos que es el suelo. En el caso del cafeto, la exportación puede ser mayor o menor; es mayor cuando la broza rica en nutrientes, no es devuelta al cafetal; será menor cuando la broza, aisladamente, sea en la forma del compuesto, fuera aplicada en la plantación.

Obsérvese, en los cuadros 17 y 18, según las estimaciones de Carvajal en Costa Rica y Malavolta en Brasil, la riqueza en nutrientes del exocarpio, mayor que los endospermos.

Cuadro 17
Cantidad de nutrimentos extraídos por una cosecha de café, en kilogramos
(Carvajal, 1972)

Volumen	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	B
30 fanegas	43	8,36	48,1	11,24	4,67	2,33	0,31	0,03	0,01

López y Araya (1997) estiman que cada tonelada de fruta de café produce 430 kg de pulpa, sin aclarar su estado de humedad, ni distinguir regiones.

Cuadro 18
Macro y micro nutrientes en el café, promedio de 3 cultivares (Malavolta, 1981)

Elemento	Endospermos (grano) %	Exocarpio (broza) %	Gramos en	
			60 kg granos	30 kg broza
Nitrógeno(N)	1,71	1,78	996	525
Fósforo (P)	0,10	0,14	66	42
Potasio (K)	1,53	3,75	918	1,123
Calcio (Ca)	0,27	0,41	168	126
Magnesio (Mg)	0,15	0,13	96	36
Azufre (S)	0,12	0,15	78	48
	<i>ppm</i>	<i>ppm</i>		
Boro (B)	16	34	0,96	1,02
Cobre (Cu)	15	18	0,80	0,54
Hierro (Fe)	60	150	3,60	1,50
Manganeso (Mn)	20	29	1,20	0,87
Molibdeno (Mo)	0,05	0,07	0,003	0,002
Zinc (Zn)	12	70	0,72	2,10

12.2. ACIDIFICACION

La pérdida de bases por la lixiviación y la extracción de los cultivos produce un aumento de la acidez. Bertch (1987) indica que si el pH desciende bajo 5,5 ocurre una alta probabilidad de que aparezcan problemas de toxicidad de aluminio que pueden dañar las raíces. Aunque Sánchez (1976) señala que el café es uno de los cultivos tropicales que más toleran altas concentraciones de aluminio en la solución de suelo, Bertsch (1987) advierte que el aluminio en solución disocia y aumenta la concentración de iones H que aumentan aún más su solubilización y la de hierro y manganeso. Además, una alta concentración de aluminio desplaza los cationes de Ca, K y Mg, del complejo de cambio, reduciendo su disponibilidad y promoviendo su lavado.

Cuadro 19
Estimación de la variación porcentual de asimilación de los principales
nutrientes por las plantas en función del pH del suelo. (Alcarde, 1983)

Elemento	pH					
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Nitrógeno	20	50	75	100	100	100
Fósforo	30	32	40	50	100	100
Potasio	30	35	70	90	100	100
Azufre	40	80	100	100	100	100
Calcio	20	40	50	50	83	100
Magnesio	20	40	50	50	80	100

La práctica de encalado con base en carbonato de calcio, es el método más eficiente para atenuar los problemas de acidez de un suelo.

Una tonelada de carbonato de calcio por ha aporta 1 meq/100 ml de calcio al terreno y será capaz de neutralizar por lo menos 0,5 meq/100 ml de suelo de la acidez extraíble (Bertsch, 1987).

Guimarães (1986) señala que el calcio es un elemento muy soluble y es trasladado a los horizontes más profundos del suelo por lixiviación. Este calcio tiene un efecto positivo al neutralizar aluminio y la acidez, mejorando la profundidad de exploración de las raíces.

En Costa Rica solo hay materiales calcílicos, con contenidos de 40 a 45% de óxido de calcio y menos de 5% de magnesio. Los materiales magnesianos son traídos de Guatemala y Belice, con contenidos de 16 a 27% de óxido de calcio y 10 a 13 de óxido de magnesio (Carballo y Molina, 1993). Los materiales calcarios magensianos y dolomíticos restituyen, también, el elemento magnesio, en suelos deficientes, al mismo tiempo que reducen la acidez.

13. NECESIDADES NUTRICIONALES DEL CAFETO

Además de las prácticas señaladas antes, de manejo del suelo y del cafetal para mantener su productividad potencial eficiente, se debe complementar con elementos nutritivos para compensar las pérdidas del sistema, y mantener una buena productividad, sin agotamiento.

Cuadro 20
Comparación de programas de fertilización en varios países de América.
(Malavolta 1992)

País	N	P2O5	K2O	MgO	B2O3
Referencia	kg/ha				
Colombia ¹	136-200	48-72	144-216	16-24	Valencia (s.f.)
Costa Rica ²					
< 1,2 t/ha	126-142	9-21	60-90	9-18	3-12
1,2-1,9 t/ha	190-202	18-42	60-90	18-36	6-24
> 1,9 t/ha	313-337	36-84	120-180	36-72	12-48
					ICAFFE (1989)
Guatemala ³	111-165	74-110	70-110		Hernández (1998)

1/ 4,000 plantas/ha

2/ Con rendimientos menores a 1,2 t/ha de café limpio, una aplicación de fórmula la N-P-K y una aplicación de N. Con rendimientos mayores de 1,2 t/ha, dos aplicaciones de la fórmula N-P-K y una de N (fórmula = 2/3 del total de N)

3/ Dos aplicaciones de fórmula N-P-K y una de N (1/2 del total de N).

El cuadro 20 muestra tres programas de fertilización recomendados en café para el mantenimiento de un buen crecimiento y producción de una buena cosecha.

En Costa Rica, las cantidades de los principales componentes de la fertilización se adecuan al estado productivo del cafetal, y se ajustan a la extracción producida por la cosecha. Esta es una recomendación general que debe ser

adecuada a cada región, dependiendo del estado vegetativo del cultivo, manejo de la plantación, estado de fertilidad de los suelos, según el criterio técnico.

Llama la atención en Costa Rica las cantidades bajas de fósforo y potasio, en relación con nitrógeno, comparado con los programas de otros países; y la preocupación por el magnesio y el boro.

13.1. MACRONUTRIENTES

13.1.1. Nitrógeno

El café, tiene una alta exigencia de N. La nutrición nitrogenada adecuada, (no habiendo otros factores limitantes), es evidente en el desarrollo rápido, en el aumento de la ramificación de ramas fructíferas y en la formación de hojas verdes y brillantes. Existe una relación directa entre la provisión de N y el número de hojas en el florecimiento y número de yemas florales.

De ahí la necesidad de cuidarse del crecimiento del área foliar mediante abonamiento nitrogenado suficiente (sin que falten los demás elementos), lo que dará mayor producción de almidón y de otros carbohidratos indispensables para la formación y el crecimiento de los frutos.

13.1.2. Fósforo

Las exigencias de P son pequeñas comparadas con las de N y de K. Sin embargo, en la siembra y en el periodo de formación del café es costumbre aplicar formulaciones relativamente ricas en P₂O₅, tal como se procede en el caso de los cultivos anuales. Tal hecho indicaría baja eficiencia en el proceso de absorción. Cuando el café inicia el ciclo productivo se baja la proporción del fósforo en las mezclas en que el N y el K₂O pasan a dominar. Es que las raíces pasan a explorar un volumen cada vez mayor de suelo, de donde consiguen extraer la cantidad de respuestas al P₂O₅ en los ensayos de abonamientos y también menos frecuentes es la ocurrencia de los síntomas de deficiencias del elemento.

La inoculación previa de las plántulas de Mundo Novo con el hongo micorrízico *Gigaspora margarita* aumenta considerablemente la utilización del P colocado en el hoyo, el crecimiento y la producción en el primer año.

La absorción del P sigue la misma tendencia que la del N en las distintas estaciones del año, siendo más intensa en la estación lluviosa y en la época de crecimiento de los frutos. Cuando la exigencia de P es alta, como sucede cuando la producción es bastante grande, el elemento es redistribuido de las hojas adyacentes para el fruto, pudiendo entonces ocurrir defoliación.

13.1.3. Potasio

La estimación de las cantidades de potasio en las partes vegetativas, así como en los frutos del cafeto es suficiente para mostrar que ese elemento desempeña un papel dominante en la nutrición del cultivo. Como en general altos contenidos de K están asociados con cosechas elevadas, la hipótesis de "alimentación de lujo" debe ser prevenida. La exigencia de K aumenta mucho con la edad, siendo particularmente intensa cuando la planta alcanza la madurez, debido a las cantidades adicionales existentes en los frutos. Los frutos en desarrollo aparentemente retiran K de las hojas adyacentes.

Es conocido el efecto del K en la formación de almidón en las hojas y en su traslocación. Hay una correlación positiva, bastante íntima, entre el contenido de K en las hojas y su contenido de almidón; bajando el nivel de K disminuye la producción de almidón; como consecuencia, el desarrollo de la planta, la aparición de nuevas ramas y nuevas hojas disminuye y las cosechas caen. Se piensa que hasta el hábito bienal de producción del cafeto, por lo menos en parte, se puede explicar con base en las variaciones en el contenido de almidón de los tejidos: Una cosecha consume las reservas de carbohidratos de modo que muy poco queda disponible en el año siguiente para el desarrollo vegetativo y la fructificación, de ahí la disminución de la cosecha. La importancia del K en la producción de frutos es demostrada aún por el hecho de que una reserva suficiente de ese elemento tiende a disminuir la cantidad de frutos vanos ("flotes").

La curva de absorción del K durante el año es paralela a la del nitrógeno. La absorción de ese elemento del suelo, medida por el contenido de K en las hojas, tiene un máximo en la estación lluviosa. En el periodo seco el contenido de K en aquellas, disminuye debido a los efectos combinados de falta de humedad en el suelo para la absorción y la remoción por los frutos.

El N y el K andan juntos en la nutrición del cafeto, fue demostrado y se sugiere la necesidad de la aplicación de una cantidad de potasio antes de la época de la floración para obtener los beneficios de un fraccionamiento intensivo del nitrógeno.

Los síntomas de deficiencia de K en el cafeto siguen el mismo patrón general encontrado en otras plantas, ocurriendo necrosis de los márgenes de las hojas en los casos más severos.

La primera indicación de la falta de K aparece en las hojas más viejas, como un resultado de la traslocación del elemento para las hojas nuevas o ramas en crecimiento y para el fruto en formación. Aparecen primero manchas pardas cerca de los márgenes, en la porción próxima de la punta; gradualmente las manchas coalescen en una faja marrón oscura, casi negra, se forma en la punta de la hoja y en los márgenes adyacentes que se muestran rasgadas; el tejido

central es poco afectado; la hoja se separa fácilmente de la rama. Con frecuencia, apenas 1 a 2 pares de hojas permanecen adheridas a la rama que comienza a morir del extremo hacia la base ("dieback"). Los frutos también luego se tornan oscuros debido al ataque de hongos.

Moraes *et al*, notaron mayor porcentaje de hojas atacadas por roya, en plantas que recibieron dosis más altas de potasio en el fertilizante.

El exceso de potasio (¿o del cloro que lo acompaña?) parece provocar una caída mayor de frutos, que sufren fermentación en el suelo perjudicando la calidad. Mucho potasio por otro lado, puede inducir carencia de Mg y en menor grado de Ca.

13.1.4. Calcio

Las cantidades de calcio en las raíces, tallos y ramas del cafeto son del mismo orden de magnitud que las de K. En las hojas, es aproximadamente la mitad, mientras en los frutos la cantidad de Ca es aproximadamente 1/4 de la del potasio. Hay una gran necesidad de ese elemento para el crecimiento de las raíces.

Como el calcio es normalmente la base dominante en el complejo coloidal del suelo y como la exigencia por el cafeto es pequeña, no es muy probable la aparición de la deficiencia en las condiciones de campo, aunque en ocasiones se presenta en Costa Rica.

Las hojas jóvenes muestran clorosis en sus márgenes en toda la lámina; en ambos lados de la nervadura principal el verde permaneció; ocurre a la vez el encurvamiento de la hoja como consecuencia del desarrollo desigual de las nervaduras y del limbo; el tejido se desgarró y se forma material suberoso; las nervaduras asumen un color oscuro debido a la necrosis del floema. En casos de carencia muy severa, particularmente cuando se trata de plantas jóvenes, hay muerte de la yema terminal.

El calcio es la base predominante del complejo coloidal, responsable por la elevación del pH. Está indicado que, dentro de ciertos límites subiendo el contenido del elemento en el suelo, se eleva la producción del cafeto.

13.1.5. Magnesio

En el cafeto como un todo, hay aproximadamente 4 veces más Ca que Mg. En el fruto, la relación Ca/Mg es usualmente igual a 1.

Durante el año, el nivel de Mg en las hojas no sigue la misma tendencia obedecida por el calcio. Debido a la facilidad con que se transloca, el magnesio se mueve de las hojas viejas a las nuevas y el fruto en desarrollo, cuando la

reserva y el provisionamiento son deficitarios. Eso explica el motivo por el cual los síntomas de carencia de Mg son más agudos en las hojas adyacentes a los frutos.

Hay dos causas principales para la carencia de Mg en el cafeto, así como en otras plantas estudiadas hasta ahora:

- a) Falta del elemento en el suelo; una situación encontrada generalmente cuando el pH es bajo;
- b) Antagonismo por el potasio.

Por regla general, cuando la absorción de K aumenta, la del Mg disminuye; en casos de aplicaciones pesadas de sales potásicas, la deficiencia de Mg inducida por el exceso de K puede aparecer; obviamente cuando el tenor de Mg en el suelo ya es bajo, esa anomalía ocurre más fácilmente. Por ese motivo, la relación K/Mg en las hojas del cafeto presenta un significado especial.

Los síntomas foliares de la falta de Mg verificados en las condiciones de campo están generalmente en buena concordancia con los obtenidos en solución nutritiva. Aparece clorosis en el área entre la nervadura principal y las secundarias; existe generalmente una estrecha banda verde alrededor de la región amarillenta; las manchas cloróticas gradualmente se expanden en la dirección del margen de las hojas. Tales hojas muestran 0,15% de Mg.

La sequía acentúa la deficiencia de Mg pues la falta de humedad trae menor transporte por la raíz. Hay una caída acentuada de las hojas.

13.1.6. Azufre

El azufre, es el macronutriente que ha recibido menor atención en los estudios sobre nutrición y abonamiento del cafeto, aunque sus exigencias sean semejantes a las del P. Hay dos motivos para eso:

- a) Durante mucho tiempo el superfosfato simple y el sulfato de amonio fueron fuentes principales (o casi) de P y N. Ambas contienen azufre;
- b) La determinación analítica del S es más laboriosa que la de los demás macronutrientes, lo que es desalentador, y perdura en parte.

Con relación al primer aspecto, existe la tendencia actual a fabricar los llamados abonos concentrados: Urea, superfosfato triple y fosfatos de amonio. Ninguno de ellos tiene S. Así, es de esperar que con los años el apareamiento de los síntomas de falta de S, con frecuencia sea cada vez mayor, lo mismo acontece con las respuestas a los abonos que contienen ese elemento.

Hay otros dos factores que contribuyen a eso: El uso decreciente de los abonos orgánicos y el aumento en la productividad decurrente en gran parte del empleo mayor de N, P, K y de otros elementos, lo que determina agotamiento más rápido de las reservas de S del suelo. La situación es particularmente preocupante en los suelos pobres en materia orgánica, la fuente natural del elemento en cuestión.

Los síntomas de carencia de azufre son principalmente que las hojas nuevas muestran un color verde amarillento. La clorosis se presenta como una banda larga que comprende la nervadura principal y se extiende hasta la mitad de la lámina. La superficie inferior de la hoja es de coloración más clara que la superior expuesta al sol.

El amarillamiento refleja la falta de clorofila en los cloroplastos que tienden a coalescer formando masas irregulares. Una distinción importante con respecto al amarillamiento uniforme que ocurre cuando hay falta de nitrógeno. De acuerdo con Lott et al, las hojas (3er par) de las plantas que aparecen, mostrando síntomas agudos de falta de S, tienen 60 ppm de azufre mineral (SO_4^{2-}), aquellas con deficiencia leve presentan 93 ppm y las normales 221 ppm.

13.2. MICRONUTRIMENTOS

13.2.1. Boro -Bo-

La falta de boro; muy común en los cafetales, se puede deber a:

- a) Falta de materia orgánica, fuente mayor del elemento,
- b) Sequía, que dificulta la mineralización de la materia orgánica y, por tanto, la liberación del Bo para las raíces,
- c) Exceso de lluvia que causa lixiviación,
- d) Falta de Ca, lo que disminuye la absorción,
- e) Encalado excesivo, lo que disminuye la disponibilidad,
- f) Mucho N en la fertilización.

Alguno de los síntomas, como el acortamiento de los entrenudos, característico de la deficiencia de Zn pueden ocurrir también cuando hay falta de Bo; los síntomas de carencia de Zn pueden enmascarar los de falta de Bo cuando los dos elementos están en cantidades insatisfactorias.

Debido a la alta exigencia de boro por parte de las regiones en crecimiento intenso, un síntoma marcante de la deficiencia, es la muerte de las yemas terminales (en la punta de las ramas y en el ápice de la planta) que permanecen adheridas aún por algún tiempo. Más tarde, algunas ramas se desarrollan abajo del botón terminal, dando a la vegetación un aspecto de palmilla. Las hojas deficientes en boro son generalmente menores, estrechas y retorcidas, con bordes irregulares; no muestran, sin embargo, clorosis muy pronunciada, excepto en la base. Hay también acortamiento de los entrenudos.

Otros síntomas de carencia son: Aparecimiento de corcho en las nervaduras; aborto de flores (menos fijación de las flores); muerte de la punta de las raíces.

La toxicidad de Bo, como consecuencia de la aplicación de dosis excesivas del elemento en el suelo o en la hoja. Recientemente, fueron constatados síntomas típicos de toxicidad, asociados con tenores foliares del orden de 200 ppm en las hojas de plantas podadas y solamente en la parte correspondiente a la nueva brotación. Los síntomas son: Clorosis mallada en las puntas y márgenes de las hojas más viejas, principalmente; oscurecimiento de las nervaduras, la principal pudiendo presentar color rosado; defoliación; pueden aparecer manchas necróticas en las puntas y márgenes. Cuando esos síntomas aparecen las hojas tienen tenores de Bo del orden de 200 a 500 ppm. Debido a la retención del boro por la arcilla; es necesario aplicar en el suelo una cantidad de elemento mucho mayor en los suelos arcillosos que en los arenosos, de 2 a 4 veces más.

13.2.2. Cobre -Cu-

Los síntomas de carencia de ese micronutriente son: Al principio, las hojas nuevas se curvan (en S) a lo largo de la nervadura principal; la lámina se curva hacia arriba; las hojas subterminales también adquieren ese aspecto, aunque no se curven de modo tan pronunciado; quedan llenas de altos y bajos, probablemente porque el tejido intervenal se desarrolló más rápidamente que las nervaduras. Después, hay pérdida del color verde en áreas grandes y distribuidas irregularmente, concentrándose, sin embargo, cerca de los márgenes; algunas de las manchas en los bordes coalescen y necrosan.

En plantas nuevas, las hojas pueden encurvarse hacia abajo. En casos más graves hay defoliación y aparece corcho en los tallos. Los síntomas foliares pueden a la vez ser confundidos con los causados por el viento frío; en este caso, sin embargo, quedan localizados en un lado de la planta.

Hojas deficientes en cobre, en condiciones de campo muestran, en el 3er. par de hojas de ramas laterales a media altura de las plantas mostró variables entre los límites de 1,4 y 4,0 ppm.

La toxicidad se manifiesta con la caída de hojas, generalmente comenzando por las más viejas, ennegrecimiento de la punta del tallo y muerte de la yema apical;

muerte de las raíces, aparecimiento de grandes manchas pardo oscuras (casi negras) en las hojas, generalmente después de caer, con considerable resecamiento.

Fueron encontrados los siguientes tenores de Cu en ppm en las hojas analizadas:

10 ppm en la solución 500

100 ppm 1,000

250 ppm 2,400

500 ppm 3,000

Ensayos en potes donde se aplicaron dosis consideradas tóxicas, usándose tres suelos diferentes, muestran que 30 ppm de Cu en la hoja están asociados a toxicidad. Esta es eliminada con encalado, que lo insolubiliza, y aplicación de materia orgánica (estiércol de corral) que lo acompleja.

13.2.3. Hierro -Fe-

Hay varios factores que contribuyen a provocar o acentuar la falta de hierro:

- 1) En valores de pH elevados (sobre el neutro), ocurre una conocida clorosis inducida por el calcio, consecuencia directa de la disminución en la disponibilidad del Fe. En esos casos, el manganeso también se tornará limitante. Es bastante común en Jamaica el aparecimiento de granos amarillos, conocidos localmente como *marly* o *wax*. La anomalía es provocada por la falta de hierro inducida por la presencia de calcio en el suelo; las plantas con frutos normales presentan un contenido de Fe del orden de 100 ppm en sus hojas; el valor correspondiente a los cafetales con frutos amarillos es alrededor de 20 a 40 ppm; el café que muestra la anomalía, a su vez, presenta 10 a 20 ppm de Fe.
- 2) El drenaje excesivo del terreno causa una alteración en la valencia de los compuestos de hierro del suelo, resultando de ahí una disminución en la cantidad de esos elementos que las plantas pueden absorber.
- 3) En suelos muy ácidos (pH cerca de 5) el contenido de Mn alcanza niveles tóxicos, lo que impide la absorción adecuada del hierro.

Aumentos del orden de 200% en la cosecha fueron obtenidos mediante la aplicación de quelatos metálicos en cafetos cultivados en suelos arenosos ácidos; el análisis de las hojas mostró que el uso de quelatos fue capaz de reducir los niveles de manganeso de 1,113 ppm en las plantas testigo a 522 en

las tratadas; los niveles de hierro no aumentaron en la misma proporción; la relación Fe/Mn, sin embargo, presentó una tendencia ascendente durante el año.

Debido a uno u otro de los factores mencionados, la falta de hierro es bastante común en las regiones cafeteras más diversas. La carencia de hierro es frecuente en los viveros, como también en las plantas más viejas, particularmente cuando está ocurriendo una inmensa producción de hojas jóvenes; no se sabe, sin embargo, en cuánto son reducidas las cosechas como resultado de ese desorden. Lo mismo acontece en la brotación después de la poda.

En los almácigos la deficiencia de Fe parece ser provocada por una combinación de tres factores: Mucha materia orgánica en el sustrato, encharcamiento y falta de luz. Ha sido observado que, disminuyendo los riegos y aumentando la luminosidad los síntomas desaparecen.

En el caso de carencia leve de hierro, la lámina se vuelve verde pálido, las nervaduras permanecen con el color normal. A medida que la deficiencia se acentúa, la hoja entera es amarilla y después blanquecina; las nervaduras pierden gradualmente su color verde. Los síntomas aparecen predominantemente en las hojas jóvenes, una indicación de la dificultad en la translocación del hierro de los órganos más viejos a los más nuevos. Algunos síntomas atenuados se muestran en el campo, en la estación lluviosa y caliente, cuando el crecimiento vegetativo es rápido; desaparecen, sin embargo, poco después.

13.2.4. Manganeso

La deficiencia de manganeso en las plantaciones de café parece deberse principalmente a un pH alcalino (como acontece en los suelos volcánicos) o a un tenor muy alto de materia orgánica.

En otras palabras: El contenido de Mn en el suelo raramente es bajo, la falta es una consecuencia de la disminución en la disponibilidad causada por aquellos dos factores. Dependiendo de las características físico-químicas del suelo pueden ocurrir varios cambios en el estado de valencia de ese micronutriente.

Suelos cafeteros con condiciones de oxidación-reducción en suelos alcalinos bien drenados, favorecen la fijación del Mn como óxidos superiores. Por otro lado, la materia orgánica parece acomplejar la pequeña fracción de manganeso reducido (bivalente) disminuyendo más la cantidad disponible a la planta.

Ese efecto desfavorable de la materia orgánica en la absorción del manganeso puede, a veces, ser ventajoso para la planta, cuando hay mucho manganeso soluble en el suelo puede ser inducida una carencia de hierro. Una cobertura

muerta pesada ("mulch"), a través de la acción fijadora de la materia orgánica sobre el Mn es capaz de disminuir su absorción, evitando así la anomalía. El exceso de manganeso puede, por otro lado, disminuir el crecimiento y bajar la producción del cafeto por su efecto antagónico en la absorción del zinc (denominado café macho en CR.). Hay además, algunas interacciones entre el manganeso y otros nutrientes además del Fe y Zn. La carencia de Mn conduce a un aumento de los tenores de N y K de las hojas del cafeto, también el tenor de P en las hojas es más alto cuando hay carencia de Mn.

En la deficiencia de manganeso, las hojas nuevas son las primeras afectadas. Las regiones intervenales son verde-claras y después aparecen numerosas puntuaciones amarillentas. Esos puntos a veces coalescen dando origen a áreas amarillas mayores.

En los suelos con gran acidez aumenta la disponibilidad. Mucho más seria que la deficiencia es la toxicidad del Mn.

14. ABONAMIENTO ORGANICO DEL CAFETAL

El empleo de abonos orgánicos tiene como objetivo la mejora de las propiedades físicoquímicas del suelo y la liberación de nutrientes para el cultivo. Para una mejora significativa de las propiedades físicas del suelo a través de la elevación de su contenido materia orgánica, es necesario el empleo de grandes cantidades de abonos, de preferencia no muy ricos en nitrógeno y que no sean de descomposición muy rápida.

14.1. LA SOMBRA COMO ABONO VERDE

Dentro del agroecosistema café, los árboles asociados se constituyen en un factor importante de la nutrición del cultivo principal, no solo por su influencia en las características físicas y microbiológicas del suelo, sino también por su aporte de nutrimentos, asimilados por microorganismos simbióticos (N y P), por la extracción de bases y microelementos extraídos de los estratos inferiores por la exploración que realizan sus raíces. Además, el aporte de carbono fijado por su follaje que luego es depositado en el suelo por la caída de hojas, ramas y muerte de sus raíces. Fassbender resume en el cuadro 21 una serie de citas que se refieren a las cantidades de biomasa producidas por el asocio café sombra.

Cuadro 21
Producción de residuos naturales y de poda en sistemas de café con laurel y café con poró y su contenido de elementos nutritivos (t/ha/año y kg/ha/año). (Fassbender 1993)

		<i>Materia orgánica</i>	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>K</i>
		<i>t/ha/año</i>	<i>kg/ha/año</i>		
Heuveldop <i>et al</i>	Café con poró	20,0	461	35	259
Glover y Beer	Café con poró	17,8	377	31	279
Russo y Budowski	Café con poró	4,3	228	18	139
Heuveldop <i>et al</i>	Café con laurel	5,7	114	8	55
Glover y Beer	Café con poró y laurel	6,1	338	33	169
Aranguren	Café con leguminosas	---	170	---	---
Goldberg	Café con guaba	7,5/8,5	---	---	---
Goldberg	Café con guaba y cítricos	9,2	---	---	---
Suárez y Rodríguez	Café con guaba	4,7-13,1	---	---	---

Las leguminosas en general producen una biomasa rica en nitrógeno (cuadro 22). Este elemento se acumula en cantidades altas, relativas, en el follaje. Otras partes de la planta se deben considerar, además del follaje producido, como sus tallos y raíces, también importantes aportes al sistema.

Cuadro 22
Contenido de proteína cruda (PC) y nitrógeno, en los follajes de algunas plantas leñosas.
(Pezo e Ibrahim, 1998)

Espece		Proteína (%)	N (%)
Poró	<i>Erythrina poeppigiana</i>	24,2	3,87
Madero Negro	<i>Gliricidia sepium</i>	24,8	3,97
Leucaena	<i>Leucaena leucocephala</i>	22,0	3,52
	<i>Pithecolobium dulce</i>	24,1	3,86
Cassia	<i>Cassia siamea</i>	13,9	2,22
Albizia	<i>Albizia falcatarea</i>	20,3	3,25
Caliandra	<i>Calliandra calothyrsus</i>	20,2	3,23
Guaba	<i>Inga spp</i>	21,8	3,49

14.2. MATERIALES DE DESECHO COMO ABONOS ORGANICOS

Las plantas de proceso de diferentes productos agroindustriales y las explotaciones pecuarias, producen gran cantidad de materiales residuales sólidos, muy ricos en nutrientes. Por los grandes volúmenes producidos y por su alto costo de transporte, estos materiales se convierten en un problema de disposición.

La recuperación de estos materiales, y su conversión en un recurso útil, para el mejoramiento de la fertilidad de los suelos y para el aumento de las cosechas, es uno de los aspectos más importantes que fundamentan la razón del desarrollo de la agricultura orgánica. El destino lógico de todos estos materiales es su reincorporación en las explotaciones agrícolas.

Figuras 7, 8 y 9

El cuadro 23 ofrece un listado de diferentes subproductos agroindustriales, y sus contenidos de elementos químicos, de interés agrícola para la producción de abonos orgánicos, mediante procesos adecuados.

Cuadro 23
Características químicas de diferentes subproductos agroindustriales
(Laboratorio químico de CAFESA)

Material	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	Fe	Zn
	%					ppm			
Broza de café fresca	2,24	0,14	2,51	0,51	0,13	9	108	255	12
Cachaza de caña	2,27	1,26	0,21	2,98	0,22	35	632	2022	101
Bagazo de caña	0,36	0,05	0,12	0,56	0,08	9	65	618	16
Granza de arroz	0,46	0,08	0,17	0,18	0,08	2	197	88	29
Semolina de arroz	1,67	2,03	1,30	0,12	0,70				
Gallinaza	3,26	1,83	2,04	7,36	0,44	33	282	541	248
Cáscara de piña	0,92	0,11	1,71	0,33	0,16	7	194	203	26
Cáscara de yuca	0,33	0,05	0,29	0,23	0,04	2	22	229	15
Cáscara de plátano	1,13	0,28	5,10	0,25	0,16	5	23	85	23
Paja de arroz	0,42	0,12	1,18	0,20	0,10				

14.3. CICLOS DE NUTRIMENTOS

Visto como un sistema que integra todos sus componentes, los contenidos y disponibilidad de elementos nutrientes forman parte de un ciclo dinámico de retención y liberación, en la interrelación suelo-planta.

Así, Fassbender (1993) afirma que los métodos tradicionales del análisis químico están basados en el análisis del suelo o materia vegetal para predecir las necesidades de fertilización de los cultivos. Estos valores no tienen ninguna relevancia para interpretar el balance nutricional. Su aplicabilidad depende del estudio de la correlación que existe entre el valor en el suelo elegido y la respuesta de cosecha.

Para interpretar el balance o ciclo nutricional se propone el estudio complejo de todo el sistema de producción. Así se obtienen resultados que permiten describir al sistema como un todo y también sus componentes por separado.

14.3.2. Modelos del ciclo del potasio

El potasio que se ha acumulado en el sistema se puede resumir de la siguiente manera (kg K/ha):

Cuadro 26
Contenido de potasio en dos sistemas cafetaleros
estudiados en el CATIE,
Turrialba (Fassbender, 1993)

	Café con poró	Café con laurel
Vegetación	356.3	258.8
Mantillo	17.1	14.3
Suelo (0-45 cm)	630.0	687.0
Total	1,003.4	960.1

Los frutos alcanzaron en el quinto año del sistema (kg/ha/a):

57,6 18,7

14.3.3. Modelos de los ciclos de calcio y magnesio

Los resultados obtenidos en el inventario de estos elementos en los sistemas agroforestales en estudio se pueden resumir en la siguiente forma (kg/ha):

Cuadro 27
Contenidos de calcio y magnesio en dos sistemas cafetaleros estudiados
en el CATIE,
Turrialba (Fassbender, 1993)

	Café con poró		Café con laurel	
	<i>Ca</i>		<i>Mg</i>	
	<i>Café + laurel</i>	<i>Café + poró</i>	<i>Café + laurel</i>	<i>Café + poró</i>
Vegetación	329.9	370.5	93.4	86.9
Mantillo	103.1	85.1	19.2	14.0
Suelo	2,783.0	2,835.0	587.0	573.0
Total	3,216.0	3,280.6	699.6	673.9

Los frutos alcanzaron en el quinto año los siguientes valores (kg/ha/a):

7,1 22,2 2,0 5,6

Los métodos tradicionales del análisis químico están basados en el análisis del suelo o materia vegetal para predecir las necesidades de fertilización de los cultivos. Estos valores no tienen ninguna relevancia para interpretar el balance nutricional. Su aplicabilidad depende del estudio de la correlación que existe entre el valor en el suelo elegido y la respuesta de cosecha (Fassbender, 1987).

Para interpretar el balance o ciclo nutricional se propone el estudio complejo de todo el sistema de producción. Así se obtienen resultados que permiten describir al sistema como un todo y también sus componentes por separado.

15. PRODUCCION DE ABONOS ORGANICOS

15.1. COMPOSTADO

Es un proceso aeróbico controlado. Se favorece la acción de los microorganismos que descomponen las sustancias solubles de las materias primas, en presencia de oxígeno.

Se hace una mezcla de materiales ricos en carbono (fibrosos) como bagazo, pajas, aserrín, cáscaras, granza, etc., con materiales de origen animal ricos en nitrógeno como gallinaza, pollinaza, estiércol, follaje verde, etc.

Una buena proporción práctica es la mezcla de 20 partes de material rico en carbono con una parte de material rico en nitrógeno. Se tiene abundancia en carbono, pero hay pobreza en nitrógeno, por eso un exceso de material rico en carbono no es problema, y tiene olor menos fétido.

Si durante el proceso los olores son muy fuertes, se está perdiendo nitrógeno en ese caso, hay que agregar más material fibroso para retenerlo.

Cuando el compostado se hace a la intemperie, la lluvia lo hace perder gran cantidad de elementos, y puede suceder que se pudra. El producto es de inferior calidad. El mejor es el compost hecho en casa, a la sombra y bien cuidado.

Para hacer un buen compost se proponen los siguientes pasos:

- a) Se escoge un lugar protegido del sol y la lluvia. Es mejor en una galera con el piso de tierra y se hace cerca de un bosque natural, cerca del cafetal, o que tenga acceso fácil de vehículos.
- b) Se colocan los diferentes materiales en capas sucesivas, formando un montón. Se moja bien cada vez que se coloca una capa de material.
- c) Se voltea 3 veces. Al final se forma un montón de un metro de alto extendido en línea.
- d) A los 8 días se voltea a un lado. Si está muy seco se moja otra vez.
- e) Donde estaba el montón anterior, se hace un nuevo montón.
- f) A la segunda semana, el primer montón se voltea a un lado, el segundo también se voltea hacia donde estaba el primero. Donde estaba el segundo se hace un nuevo montón.

- g) A la tercer semana se va a tener cuatro montones, cada uno con una semana de diferencia de edad.
- h) En la cuarta semana el primer montón tiene un mes, ya se puede aplicar al suelo del cafetal. Dejando un espacio para hacer un nuevo montón.

De esta manera se tiene un proceso constante de producción, ahorrando espacio y el trabajo es menos pesado.

Este compost se puede utilizar como medio para vivero si se deja madurar por unos tres meses, hasta que enfríe.

15.1.1. Indicadores del proceso de maduración

El cuadro siguiente resume las características que indican el estado de maduración de un compost.

Cuadro 28
Características del compost que indican su estado inicial y final del proceso de maduración. (Sasaki y Alvarado, 1994)

	Inicio (8 a 15 días)	Final (90 a 120 días)
Temperatura (a 30 cm)	77°C	27 °C
Ph. acidez	9 (alta)	6,5 (neutra)
Color	claro	oscuro
% de humedad	63	45
% de materia orgánica	55	23
Relación carbono/nitrógeno	47	18
% nitrógeno	1,01	2,45
Presencia de hongos	estrato superficial	generalizado
Olores	fuerzes, amoníaco	a tierra fresca

Estas características dependen en gran medida de los materiales utilizados en su elaboración. Pero existen varios indicadores generales que ayudan a interpretar el estado de maduración.

Durante su primera semana, el montón se pone muy caliente y tiene olores fuertes característicos. Si hay un exceso de materiales nitrogenados los olores son muy molestos.

Se debe voltear para que el proceso acelere, para enfriarlo y airearlo y que todos los materiales se expongan al calor con el propósito de que mueran las semillas de malezas, los patógenos y las plagas presentes.

Más o menos al mes, está muy caliente, pero empieza a enfriarse, los olores cambian a olor a suelo de bosque. Una banda blanca se extiende dentro de casi todo el montón.

Muchos recomiendan utilizarlo así, caliente, como abono al suelo. En esos casos se coloca en banda bajo las bandolas, sin incorporar.

Si se quiere para vivero, se debe procesar por unos tres meses, hasta que madure bien y enfríe. No se debe dejar secar.

Cuadro 29
Análisis de diferentes compost con broza de café y cachaza de caña, con gallinaza y granza de arroz, manejados en la Estación Experimental Fabio Baudrit, de la Universidad de Costa Rica (Sasaki y Alvarado, 1994) Laboratorio Químico de CAFESA

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	Hum	M.O.	Cenizas
	%	ppm	-----Meq/100 g---	---			-----ppm-----			%	%	%
Broza café	2,04	1,0	2,06	4,25	0,33	768	13	129	310	40,58	60,55	34,03
Cachaza caña	2,12	1,76	1,01	7,09	0,44	2212	41	162	688	41,33	55,88	43,21
Broza+Cachaza cada uno+granza de arroz y gallinaza.	2,38	1,38	1,16	5,31	0,37	2144	34	146	624	57,61	54,76	45,04

15.2. BOCASI

Esta palabra japonesa se refiere a un proceso aeróbico rápido, controlado, que dura de 5 a 10 días.

En realidad es la transformación de una gran proporción del nitrógeno contenido en los materiales, en una masa de microorganismos que se secan y son llevados al suelo donde se descomponen convirtiéndose en un abono.

Se utilizan materiales más finos que en el compost y más ricos en sustancias solubles.

A diferencia del compost no debe ser preocupación la relación carbono/nitrógeno, porque se va a llevar a un estado de equilibrio. Se protege el contenido total de nitrógeno.

Como es rápido, se gana tiempo y espacio. Con él se produce un material libre de microorganismos productores de enfermedades y de plagas, que mueren por el calor que se genera.

Para hacerlo, se colocan capas sucesivas de los materiales, controlando muy bien la humedad. Si hay exceso de agua, el material se pudre, huele muy mal y se echa a perder.

Para conocer la humedad ideal, se toma un puño de la mezcla y se aprieta. No debe gotear ni formar una pelota plástica. Se forma una pelota que, si se deshace sola, le falta agua. Si no se deshace sola, pero al tocarla con un dedo se deshace, esa es la humedad correcta.

Hay muchas recetas, pero la más barata y nutritiva es la siguiente.

Para producir 8 sacos de abono, se necesitan 6 sacos de cuita seca (gallinaza), 1 saco de semolina de arroz, 1 saco de granza (cascarilla) y 2 litros de melaza de caña (miel de purga), y un lugar techado y seco (galera).

- a) Se hacen capas superpuestas de cada material, y se moja con agua y melaza disuelta.
- b) Se voltea tres veces para mezclar todos los materiales. Se controla la humedad apretando puños del material según se explicó anteriormente.
- c) Se hace un montón extendido, de 50 centímetros de alto, y se cubre bien con sacos, para mantener la humedad.
- d) Cada doce horas se voltea para enfriarlo y mezclarlo. No se agrega agua.
- e) Cada día el montón se voltea dos veces y se extiende más, bajándolo. 30 centímetros de alto al segundo día; 20 centímetros de alto al tercer día.
- f) Después del tercer día el montón no se cubre más con sacos para que seque. Y se sigue extendiendo más, rebajando su altura.

Una vez seco, se enfría. Toma un color gris azulado. En este momento es que se puede utilizar como abono.

Se puede guardar, bien seco, para utilizarlo cuando se necesite.

Un kilogramo de un bocasi producido en la Estación Experimental "Fabio Baudrit", a base de gallinaza, semolina y melaza, dio:

Cuadro 30
Nutrientes contenidos en un bocasi a base de gallinaza, semolina y
granza.
Sasaki y Alvarado (1994)

Materiales	% de elemento en bocasi seco				
	N	P	K	Ca	Mg
Gallinaza + semolina + granza	2,65	1,62	1,69	5,53	6,35

Hay muchos tipos de bocasi, pero en este caso no incluimos carbón ni tierra de la receta original, para reducir los costos y producir un material más concentrado y liviano.

El manejo de este tipo de bocasi es más cuidadoso.

15.3. VERMICOMPOST

En Costa Rica se utiliza la especie exótica *Eisennia phoetida* **Lombriz roja californiana** que posee las siguientes características:

Es prolífica Puede vivir 16 años
 Madurez sexual a los 3 meses, hermafroditas
 Cada lombriz puede reproducir 1 500 lombrices cada año

Es vivaz Muy activa y transforma mucha materia orgánica

Es tolerante A variaciones de temperatura su temperatura óptima es 20°C
 Se adapta a vivir en cautividad
 Soporta altas densidades, en el suelo unas 50 por metro cuadrado
 En cultivo industrial hasta 40,000 por metro cuadrado.

Para su cultivo industrial se requiere:

- a) El control del desprendimiento de gases producido por la descomposición de proteínas metano y amoníaco.
- b) Prever aumentos de temperatura por la descomposición de los materiales.

- c) El control de la humedad; más de 85% la ahoga, menos del 50% reduce su actividad.
- d) El control de la cantidad de proteína de las materias con que se alimenta (% de N x 6,25), alimento equilibrado contiene 2 %, proteína (broza: 13% proteína, cuita 20%).
- e) Prever la separación de humus.

El Lombricompost

Es el mejor abono orgánico que existe: completo, equilibrado y de fácil manejo.

Concentra los nutrientes: Más calcio, potasio, magnesio, nitratos y fosfatos.

La carga microbiana es 1,000,000 de veces superior a un estiércol.

Etapas en el establecimiento de una lombricultura:

Inicial Siembra sobre material estabilizado (compostado).

Regular Adición de nueva materia (cada 3 o 4 veces al mes) semanal o cada 10 días.
División o duplicación del cultivo, una vez cada tres meses.
Recolección del humus (cada 6 meses) o la vermicomposta

Enemigos Hormigas. Control con riego adecuado.

Abonos verdes

Pueden estar constituidos por malezas, en general, o por especies cultivadas con un propósito definido: leguminosas, para la fijación simbiótica de nitrógeno. Sorgo para la extracción de fósforo fijado.

Coberturas verdes

Se siembra para proteger el suelo.

Se recortan formando un mantillo.

Especies

Enmalezado selectivo: Malezas dominantes, anuales, reproducidas por semilla y fijadoras de fósforo. Santa Lucía (*Ageratum conyzoides*), Florecilla amarilla (*Melampodium. sp.*)

Leguminosas forrajeras naturales: *Mucuna sp.* (pica pica, frijol abono), *Desmodium sp.* (Pega pega) Frijol común, guabas y cuajiniquiles, etc.

Leguminosas exóticas: gandul (frijol de palo), Poró gigante, Poró copey.
Gramíneas: Sorgo de grano.

Abonos líquidos

Son preparados fermentados a base de hierbas y frutas naturales, con melaza de caña. Se pretende reproducir microorganismos benéficos presentes en el rizoplano y el filoplano (en la raíz y el follaje respectivamente).

Tienen objetivos múltiples:

Nutricional Contenidos de nutrimentos solubles, para la absorción foliar y radical.

Repelencia Disuasivo de plagas, o consusión con sabores y olores.

Microbiológico "Inundación" con microbios activos, antagonistas de enfermedades y plagas del follaje y el suelo.

Producción Una receta básica es la siguiente:
6kg de frutas o de hierbas
6 litros de melaza de caña (miel de purga)

Tiempo de proceso 10 días o hasta que ocurra un cambio de olores azucarados a alcohólicos.

Atomizaciones diluidas 2 onzas por bomba. Aplicación bien mojado, que chorreé.
3 cc por litro de agua sin cloro. (Lluvia o quebrada).
Al suelo: Es mejor aplicarlo con regadera, en forma abundante.

16. EL ABONAMIENTO ORGANICO

El nitrógeno es elemento más importante en el abonamiento de un cafetal, pues de él depende más del 40% del peso de la cosecha.

No existen investigaciones de largo plazo donde se mida la producción de un cafetal con fertilizaciones basándose en nitrógeno de origen orgánico.

Existen algunos datos basados en aplicaciones de volúmenes de broza. Esta propuesta no es adecuada porque este es un material muy heterogéneo (variable en su contenido de nutrimentos).

Lo lógico es que se base en los contenidos de nitrógeno del material, como elemento primordial, para obtener aproximaciones racionales.

El cuadro 31 muestra los resultados de una serie de ensayos de fertilización en cafetales, comparando su manejo con sombra y al sol. En él se encuentran aspectos muy interesantes.

Antes se ha dicho que en suelos con problemas de clima y suelo, un cafetal produce más a la sombra que al sol.

También se ha dicho que solo el follaje de los árboles de sombra de poró aporta 94 kg de nitrógeno elemental, o más.

[Figuras 10, 11 12](#)

Cuadro 31
Estudio comparativo de respuesta a cantidades de fertilizante químico en cafetales al sol y la sombra en cuatro localidades. (ICAFE-MAG, 1989)

Fertilización		Heredia	Alajuela	Grecia	Turrialba
Kg de fórmula	Sacos	(47kg)	Cosecha en	Fanegas por	
por ha	por año			ha	
Sin fertilización		26,7	48,6	26,1	63,9
330 FC + 90 de N	7+6	39,1	75,4	43,0	73,5
660 FC + 90 de	14+6	37,8	90,8	53,0	84,6

N						
990 FC + 90 de N	21+6	36,4	83,3	54,3	86,2	
				<i>Al sol</i>		
Sin fertilización		34,4	63,6	19,0	37,0	
330 FC + 90 de N	7+6	50,9	90,9	44,2	59,0	
660 FC + 90 de N	14+6	54,1	107,7	51,1	65,2	
990 FC + 90 de N	21+6	55,0	110,5	55,6	75,2	
Cosechas	Variedad	Densidad	Altitud	Lluvia	Temp.	Suelo
Heredia: 3	Catuaí	7,000 pl/ha	1,150 m	2,240 mm	20,5°C	Typic dystrandept
Alajela: 2	Catuaí	6,265 pl/ha	1,000 m	2,240 mm	22,3°C	Typic dystrandept
Grecia: 6	Mundo N.	5,000 pl/ha	950 m	2,500 mm	23°C	Oxic dystrandept
Turrialba: 4	Caturra	6,265 pl/ha	650 m	2,687 mm	22,5°C	Fluventic eutropept

El cafetal, solo con la ayuda de la sombra, mantuvo una cosecha de 26 fanegas como promedio en 6 años, en un suelo rojo de Grecia.

En todos los casos mostrados en el cuadro anterior, vemos que la dosis más baja de fertilización produjo la mejor respuesta económica. Más fruta por colón invertido. Esta dosis más baja corresponde a la adición de 150 kg de nitrógeno, 16,5 kg de fósforo, 50 kg de potasa, 20 de magnesio y 6,6 de boro.

Es decir, su **resultado económico** es el más favorable, comparado con las dosis más altas. Porque, los primeros siete sacos de fórmula, más seis extra, aumentaron la cosecha en 25 fanegas en Grecia, 59 en Turrialba y 51 en Heredia. Al aplicar siete sacos más (14), estos solo aumentaron la cosecha en 7 fanegas en Grecia, 6 en Turrialba y 3 en Heredia.

Con base en la respuesta observada en las cuatro regiones, a esta dosis de elementos, se puede proponer aplicaciones equivalentes de abonos orgánicos, sin considerar otros efectos, por el momento.

Con el abonamiento orgánico, debido a la liberación lenta de los nutrientes, no se puede imitar las fertilizaciones altas, pero si aproximarse con muy buenos resultados económicos a la dosis baja.

La meta, es proveer cada año 150 kg de nitrógeno, 16,5 kg de fosfato, 50 kg de potasa, 20 de magnesio y 6,6 de boro.

Este programa se puede lograr con base en el aporte de los árboles de sombra más el complemento de materiales orgánicos como gallinaza, cachaza de caña, broza de café, y encalado.

Antes se ha descrito los aportes aproximados de los nutrimentos más importantes aportados por un ejemplo de compost y otro de bocasi.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- Alcarde, J. 1983. Características de qualida dos corretivos da acidez do solo. Simposio sobre acidez e Calagem. XV Reunião brasileira da fertilidade do solo, Campinas, 11-12 pp.
- Barrantes, G. et al. 1997. Tasas de erosión y productividad en un sistema agrícola. En: Desarrollo rural Sostenible en Costa Rica. Ed. Laura Pérez E. CECADE, Coronado. 85-91 pp.
- Bertsch, F. 1987. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos de Costa Rica. Universidad de Costa Rica, Escuela de Fitotécnia, San Pedro. 9 p.
- Buckman, H., and Brady, N. C. 1965. The Nature and Properties of Soils. The MacMillan Company, New York. 590 p.
- Carballo, L. y Molina, E. 1993. Caracterización física y química de materiales de encalado en Costa Rica. Agronomía costarricense 17(2):105-110 pp.
- Carvajal, J. F. 1972. Cafeto-Cultivo y fertilización. Instituto Internacional de la Potasa, Berna. 141 p.
- Chaves, M. et al. 1996. Efecto del tiempo de descomposición sobre los contenidos químicos de la cachaza originada por la agroindustria azucarera. X Congreso nacional agronómico y de recursos naturales. EUNED, San José. vol. I, 419 p.
- Da Costa, M. 1995. Abonos verdes: una práctica indispensable en los sistemas agrícolas de las regiones tropicales y subtropicales. Simposio de Agricultura Orgánica, EUNED, San José, 91 p.
- El-Swaify, S. A. and Dangler, E. W. 1982. Rainfall Erosion in the Tropics: A State-of-the Art. In: Syposium on Soil Erosion and Conservation in the Tropics. American Soil Association, Fort Collins. 1-24 pp.
- Fassbender, H. W. 1987. Modelos edafológicos de sistemas agroforestales. 2a. Ed. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Proyecto Agroforestal CATIE-GTZ, Turrialba. 491 p.
- Fournier, L. 1980. Fundamentos ecológicos del cultivo de café. IICA-PROMECAFE, San José. Publicación miscelánea No. 230. 29 p.
- Fournier, L. 1988. El cultivo del cafeto al sol o a la sombra: un enfoque agronómico y ecofisiológico. Agronomía costarricense 12(1): 131-146 pp.

- Guimarães, P. e Lopes, A. 1986. Solos para o cafeeiro: características, propiedades e manejo. In Simpósio sobre fatores que afetam a produtividade do cafeeiro, 1. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba. 115-161 pp.
- Herrera, W. 1985. Clima de Costa Rica. L. D. Gómez (ed.). EUNED, San José. Vol. 2, 118 p.
- Higa, T. and Parr J. F. 1994. Beneficial and Effective Microorganisms for a Sustainable Agriculture and Environment. International Nature Farming Research Center, Atami, Japan. 16 p.
- ICAFFE-MAG. 1978. Manual de recomendaciones para cultivar café. 3a. Ed. Programa Cooperativo Icafé-MAG, San José. 68 p.
- Küpper, A. 1981. Fatores climáticos e edáficos na cultura cafeeira. In Nutrição e adubação do cafeeiro. Ed. E. Malavolta, T. Yamada e J. A. Guidolin. Instituto da Potassa & Fosfato, Piracicaba. 27-89 pp.
- López R. y Araya C. P. 1997. Recirculamiento de residuos agroindustriales para el fomento de la agricultura biorgánica. En Desarrollo rural sostenible en Costa Rica, Ed. Laura Pérez E., CECADE, Coronado. 154-165 pp.
- Maestri, M. and Barros, R. S. 1977. Coffee. In Ecophysiology of Tropical Crops. Ed. P. de T. Alvim e T. T. Kozlowski. Academic Press, New York. Chapter 9, 249-278 pp.
- Malavolta, E. 1981. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro. In Nutricao e adubacao do cafeeiro. Ed. E. Malavolta, T. Yamada e J. A. Guidolin. Instituto da Potassa & Fosfato, Piracicaba. 138 -178 pp.
- Malavolta, E. 1992. Fertilización del café. Instituto de la potasa y el fósforo, Informaciones agronómicas 6:1-3 pp.
- MIDEPLAN, 1996. Principales indicadores ambientales de Costa Rica. Sistema de indicadores sobre desarrollo sostenible, San José. 122 p.
- O'Connell, N. V. & Snyder, R. L. 1999. Cover crops, mulch lower night temperatures in citrus. California Agriculture, Sept-Oct. 37 p.
- Pezo, D. e Ibrahim, M. 1998. Sistemas silvopastoriles. CATIE, Turrialba. Módulo de enseñanza agroforestal No. 2. 258 p.
- Quirós, E. et al. 1998. Abonos verdes. Una alternativa para mejorar la fertilidad del suelo. PRIAG., Coronado. Manual para técnicos No. 1. 36 p.

- Rena, A. B. e Maestri, M. 1986. Fisiología do cafeeiro. In Simpósio sobre fatores que afetam a produtividade do cafeeiro, 1. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba. 53-86 pp.
- Rivera P., J. H. y Gómez A., A. 1993. Erosión potencial de los suelos de la zona cafetera central colombiana y su aplicabilidad en la orientación del uso, manejo y conservación. Cenicafé 44 (4): 141-154 pp.
- Rivera P., J. H. et al. 1998. Erodabilidad de cinco suelos de la zona cafetera central colombiana mediante simulación de lluvias. Cenicafé 49 (3): 197-210 pp.
- Saénez M., A. 1981. Curso de tecnología y conservación de suelos. Universidad de Costa Rica, San Pedro. 203 p.
- Sánchez, P. A. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics. J. Wiley and Sons, New York. 618 p.
- Sasaki, S. y Alvarado, M. 1994. Manual del curso básico de agricultura orgánica. Estación experimental agrícola "Fabio Baudrit M", Alajuela. 30 p.
- Schuffelen, A. C. 1972. The Cation Exchange System of the Soil. In Potassium in Soil. Proceedings of the 9th Colloquium of the International Potash Institute, Landshut. 75-88 pp.
- Thurston, H. D. 1992. Sustainable Practices for Plant Disease Management in Traditional Farming Systems. Westview Press, Oxford. 86-98 pp.

*Todos los derechos reservados. Este Manual no podrá ser total o parcialmente reproducido en ninguna forma, incluyendo fotocopia, sin la autorización escrita del **Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria-OIRSA**.*

*Este Manual fue distribuido por el **OIRSA** a través del **Proyecto Regional de Fortalecimiento de la Vigilancia Fitosanitaria en Cultivos de Exportación no Tradicional-VIFINEX**, con financiamiento de la República de China.*

Costa Rica, enero de 2001



Figura 1

Perfil de un suelo en ladera; el horizonte A es muy delgado



Figura 2
Suelo limpio sin protección. La erosión es severa



Figura 3
Las coberturas son la mejor protección del suelo



Figura 4

Erithryna es fácil de reproducir y establecer por estacaones. Obsérvese su tamaño y el arreglo de las ramas.

Figura 5

La producción de follaje rico en nitrógeno es abundante. Las malezas protegen al suelo y lo retienen.





Figura 6

Arboles
forestales
asociados
al cafeto

Figura 7

Hay diversos sistemas de producción de abonos orgánicos. La Lombricultura requiere desechos abundantes y buen manejo. Produce el mejor abono.



Figura 8

Abonos tipo "Bocasi" son de rápida transformación, fáciles de hacer y de bajo costo.

Figura 9

El Compostado es un proceso aeróbico que requiere espacio y tiempo.





Figura 10

En el aula se discuten los temas teóricos por ejemplo: leyes y reglamentos.

Figura 11

Los temas prácticos se discuten conociendo los procesos productivos.





Figura 12

Instrucción
práctica y
detallada para la
producción de
abono orgánico
de buena
calidad.