

## CAPÍTULO 3

# LOS SUELOS CAFETALEROS DE AMÉRICA CENTRAL Y SU FERTILIZACIÓN

*Elemer Bornemisza\**, Universidad de Costa Rica  
*Jean Collinet, IRD\*\**  
*Alvaro Segura, Universidad de Costa Rica*

### 1 *Introducción*

Los suelos y su manejo por los agricultores son componentes esenciales del sistema de cultivo de café. La preservación de sus calidades es necesaria para el desarrollo de una caficultura sostenible. Muchas de las enfermedades y plagas del café se desarrollan particularmente en los suelos desequilibrados biológico y nutricionalmente (por ejemplo los nematodos, capítulo 10), o bien aprovechan la debilidad del cafeto sembrado en estos suelos para infectarlo (por ejemplo roya, capítulo 6).

Este capítulo pretende presentar los suelos cafetaleros, el origen de su formación y de sus transformaciones, así como su aptitud a soportar, en determinadas condiciones de manejo, una caficultura sostenible.

Las calidades de un suelo en relación con la caficultura dependen de sus características biológicas (capítulos 2 y 4) y de su naturaleza físico-química. A su vez, esta naturaleza depende de los diferentes procesos que condujeron a la formación de este suelo, por alteración de la roca madre,

---

\* Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Fax: (506) 234-1627.

\*\* Ex ORSTOM.

o por depósitos exógenos de diferentes orígenes. Los diferentes sistemas de cultivo de café (capítulo 1) fueron y son en gran parte resultado de las limitaciones relacionadas con el suelo.

El desarrollo de la caficultura en estos suelos también cambia en función de las condiciones climáticas que imperan. El cultivo del cafeto *Arábica* es una actividad tropical en zonas de altura. Las superficies allí son generalmente muy inclinadas. Además, las precipitaciones tropicales se caracterizan por sus fuertes intensidades. En fin, los sistemas intensivos de cultivo de café están acompañados de un control drástico de las malezas, y gran parte del suelo se queda desnudo, particularmente durante los dos años que siguen la plantación de la parcela, y durante el año que sigue la poda de la parcela. Por estas tres razones, los suelos cafetaleros están muy susceptibles a la escorrentía de las lluvias, y a la erosión consiguiente. A largo plazo, esta erosión desplaza los horizontes fértiles de los suelos de altura, y merma por lo tanto las posibilidades de desarrollo de una caficultura sostenible.

El mantenimiento de la caficultura también depende de la restitución de los elementos químicos exportados fuera de las parcelas, por la cosecha o por la extracción de la leña después de las podas. Es fundamental adecuar la necesaria fertilización según las exportaciones, y según las cualidades del suelo considerado.

Este capítulo está enfocado hacia estos tres grandes campos de la ciencia del suelo:

- En la primera parte, se presentan los suelos de América Central en relación con la caficultura.
- La segunda parte evoca algunos aspectos de funcionamiento hídrico superficial de los suelos que más comúnmente soportan plantaciones de café, y de su comportamiento en relación con la erosión.
- La tercera parte trata de la nutrición mineral del cafeto en estos suelos, de la necesaria fertilización con los peligros que conlleva, y da finalmente algunas recomendaciones y pautas en este campo.

Los temas igualmente fundamentales del mantenimiento de la materia orgánica del suelo y de la utilidad de las asociaciones simbióticas de las raíces para ello no se consideran aquí. Estos temas están desarrollados en el capítulo 4.

## 2 *Los Suelos de América Central, Potencialidades y Problemas para la Caficultura*

### 2.1 *Presentación general*

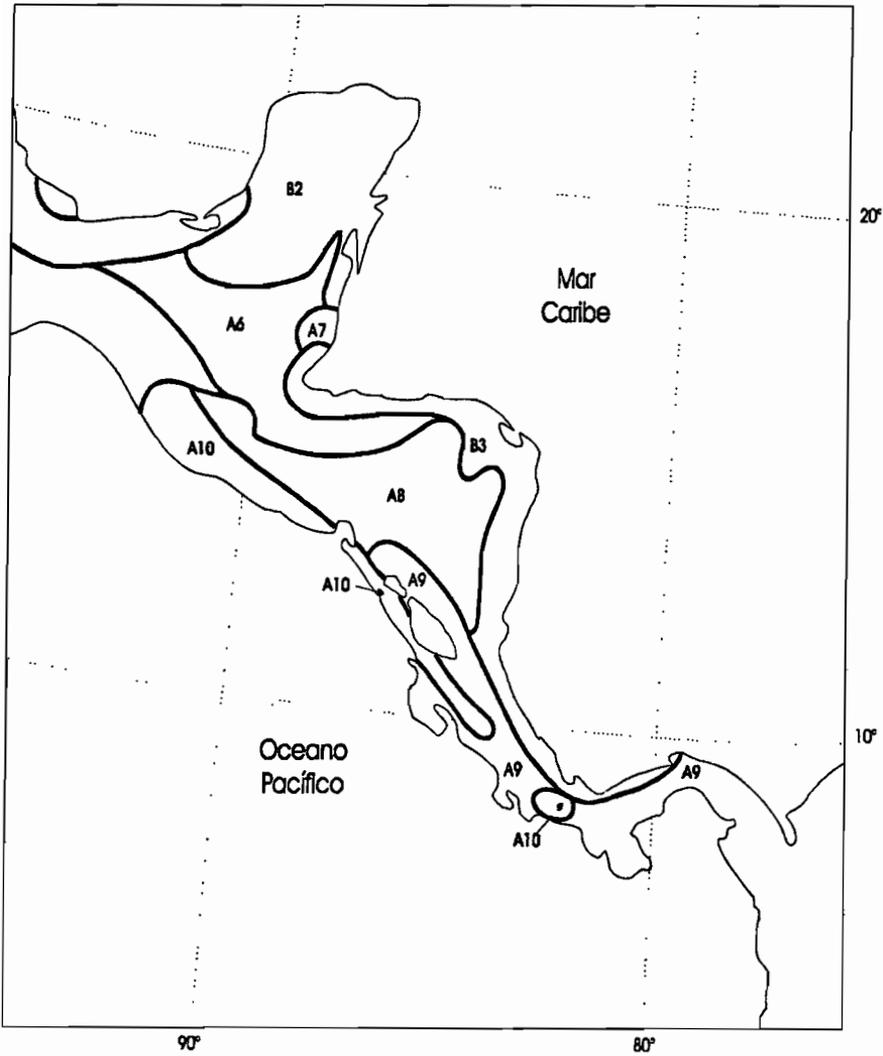
América Central presenta un medio físico complejo tanto por su historia geológica, como debido a la multiplicidad de los climas que contribuyen al modelado de los relieves y a la formación de los suelos. Es un mundo muy joven ubicado en la convergencia de las placas litosféricas cuyos movimientos relativos y encajonados llevaron a la emersión y luego la fracturación de rocas sedimentarias del Secundario o del Terciario. Por estas fracturas subieron rocas efusivas que se derramaron en vastas mesetas (basaltos) o proveyeron los productos de construcción de las cordilleras de volcanes que se extienden a lo largo de la costa Pacífica (piroclásticas andesíticas, lahares, y diversas coladas de lavas). La erosión conllevó igualmente el afloramiento de rocas magmáticas cristalinas y cristalofílicas a menudo más antiguas, ya sea ácidas como los granitos, dioritas, esquistos metamórficos de los ejes de las cordilleras más viejas, o básicos como las periodotitas de las costas del Pacífico. La alteración de estas numerosas rocas bajo los efectos de los factores climáticos variables dependiendo de las zonas, da origen a una gran cantidad de tipos de suelos que tienen generalmente buenas fertilidades bioquímicas pero por el contrario, características físicas muy variables dependiendo de su edad o de su rejuvenecimiento debido a la erosión activa en la zona accidentada y las deposiciones repetidas de ceniza.

En América Central, los sistemas de pedogénesis pueden resumirse de la siguiente manera (ver figura 3-1):

1. Formación que se explica por la *topografía* que orienta los flujos hídricos superficiales y profundos, que a su vez movilizan, transportan y depositan los elementos solubles o sólidos a lo largo de las pendientes; los suelos formados en la roca madre misma están entonces genéticamente ligados entre sí. Un buen ejemplo es la asociación Rendzine de las cumbres /Vertisoles de los fondos bajos, en las tierras bajas calcáreas Cretácicas de Yucatán y del Petén guatemalteco (región B2 de la figura 3-1).
2. Diferenciación dependiendo de la distribución de los *productos piroclásticos*; la sedimentación aérea provee los suelos menos evolucionados sobre los productos gruesos más cercanos al cráter (suelos volcánicos

- vítricos y los más evolucionados son los productos finos rápidamente alterables lejos del cráter (Andosoles). Es, por ejemplo, el campo de los suelos ándicos de las cordilleras y del altiplano volcánico del Cuaternario (región A10).
3. Yuxtaposición de suelos formados en rocas madres diferentes, pero que evolucionan todos en condiciones de pedogénesis vecinas; los suelos hidromorfos minerales y orgánicos de las tierras bajas sobre aluviones y coluviones del Cuaternario de la Costa Atlántica corresponden a este sistema donde las *saturaciones hídricas* son más o menos durables (Región B3).
  4. Algunas asociaciones no pueden explicarse a menos que se reconstituya la *historia del paisaje*. En la región de Estelí en Nicaragua, por ejemplo, es fácil identificar los suelos ferruginosos, muy densos en las antiguas alteraciones de los restos de la superficie de abrasión Pliocena que forma los rellanos en altitud, y los suelos marrones eutróficos, pedregosos, poco densos, erosionados permanentemente en las vertientes de pendientes de las montañas que dominan el ancho valle de Estelí (Región A8).
  5. A una escala menor, hay que considerar las diferencias en el lavado de bases o en arcillas ligadas a las diferencias en las *intensidades de los drenajes hídricos*, los cuales están directamente relacionados con la pluviometría. Es así como se observa a menudo el transecto climático *Cambisol/Luvisol/Acrisol* entre la costa del Pacífico más seca y las vertientes expuestas al viento alisio de la costa Atlántica más húmeda (secuencias climáticas de las regiones A6, A8, A9).

Cuando se considera la lógica de las asociaciones, es posible analizar los mapas de los suelos (4, 7, 10). Este análisis, que deja ver *las potencialidades o los factores desfavorables para la caficultura*, se apoya en el recorte México y América Central del mapa mundial de los suelos a 1:5,000,000 de la FAO UNESCO (vol. III, 1976). Desgraciadamente, no se puede evitar la designación de las unidades de los suelos por medio de un sistema de clasificación; se presenta aquí dos "llaves taxonómicas": FAO-UNESCO (1976, revisado en 1989), y el americano de la Soil Taxonomy (1990). Los criterios de clasificación FAO de los suelos citados, inventariados en América Central se resumen en el anexo.



- B2: Tierras bajas calizas Cretácicas del Yucatán mexicano y del Petén guatemalteco
- B3: Tierras bajas sobre aluviones y coluviones del Cuaternario de la Costa Atlántica
- A6: Tierras altas de las cordilleras calizas Cretáceo y esquistosas Permo-Carbonífero
- A8: Tierras altas volcánicas ácidas, sedimentarias Terciario y cristalófilas
- A9: Tierras altas volcánicas básicas del Terciario de la parte istmica
- A10: Cordillera y altiplano volcánicos Cuaternarios

Figura 3-1. Mapa de las regiones submorfo-pedológicas de América Central (según el Mapa Mundial de Suelos, FAO, 1976).

## 2.2 *Las regiones morfopedológicas de América Central, aptitud para la caficultura*

Del norte al sur del istmo descubrimos las regiones morfopedológicas representadas en el *mapa adjunto* en la figura 3-1. Por región morfopedológica hay que comprender un *contenedor fisiográfico* que describe el tipo de paisaje y un *contenido pedológico* que define las principales asociaciones de los suelos diferenciados en estos paisajes. Los tipos de suelos se clasifican según la taxonomía FAO-UNESCO; la clasificación americana correspondiente se indica luego entre paréntesis. Los suelos de las asociaciones contenidas en las diferentes regiones morfopedológicas se indican por frecuencia decreciente.

### 2.2.1 *Las tierras bajas calizas Cretácicas del Yucatán mexicano y del Petén guatemalteco: regiones B2 (según el mapa FAO-UNESCO) y parte de la región A6*

#### 2.2.1.1 Fisiografía

El norte presenta zonas kársticas donde alternan paisajes ondulados que drenan bien y llanos que drenan mal. En el sur, estas calizas, margas y yesos forman un frente de "Cuesta" que hace la transición a lo largo de varias decenas de kilómetros con las estribaciones montañosas de las mismas rocas plegadas de la región A6 (Universidad Rafael Landívar, 1984).

#### 2.2.1.2 Suelos

- *Rendzine* (Rendoll),
- *Cambisoles* éutricos (Eutrochrepts),
- *Vertisoles* pélicos (Haplusferts al norte, Hapluderts al sur)
- *Gleysoles* (Tropaquents o Tropaquepts)

Todos estos suelos tienen un grado de saturación en bases superior a 50%. La asociación Rendzine/Cambisoles/Vertisoles o Gleysoles es un buen ejemplo de toposecuencia donde el funcionamiento de cada componente garantiza el equilibrio del sistema, que funciona de la siguiente manera: el karst está en vías de colmatación por las arcillas saturadas sintetizadas en las depresiones (Vertisoles y Gleysoles) a expensas del

sílice liberado de las arcillas de descalcificación de las cumbres donde el humus forestal mantiene un medio acidificado (Cambisol en materiales densos, Rendzines en materiales delgados).

### 2.2.1.3 Aptitud para la caficultura

Esta región no es propicia para la caficultura por las siguientes razones:

- *Hacia la frontera mexicana*, el pedoclima es demasiado seco (4 meses de los 12 son secos) y la temperatura elevada (temperatura promedio anual superior a 23°C), lo que no está compensado por las reservas hídricas que son demasiado bajas debido a la pedregosidad y al escaso espesor de las rendzinas. En los suelos vérticos, esta agua no está disponible para las plantas. En los Gleysoles, se tienen saturaciones hídricas, creando condiciones reductoras desfavorables.
- *Hacia el sur de Flores*, el clima es más húmedo con 2 a 3 meses solamente de sequía, eventuales aptitudes para un *C. liberica* en los Gleysoles éutricos que estarían bien drenados.

## 2.2.2 Las tierras bajas sobre aluviones y coluviones del Cuaternario de la Costa Atlántica y algunas llanuras costeras del Pacífico: región B3

### 2.2.2.1 Fisiografía

Esta región, de una longitud de aproximadamente 1600 km, es la Costa Atlántica Caribe que va desde Guatemala (Puerto Barrios) hasta la zona del Canal de Panamá. Su ancho oscila entre los 10 y 80 km. Los materiales emparentados con los suelos son coluviones y sedimentos detríticos provenientes de la destrucción actual de las colinas y de las cordilleras de la parte interior del país. Su heterogeneidad está ligada al clima, a la extensión de las cuencas que redistribuyen los coluviones, a las corrientes marinas que los distribuyen en la costa, y a una topografía de detalle que controla la saturación hídrica y permite o no la instalación de manglares.

### 2.2.2.2 Suelos

De los interiores bien drenados hacia la costa no tan bien drenada, se observa la sucesión de Acrisoles/Gleysoles y Planosoles/Regosoles e Histosoles sobre las costas y Fluvisoles en los valles anchos.

- Acrisoles háplicos en Guatemala (Hapludults), A. húmicos en Honduras, Nicaragua y Costa Rica (Humults).
- Gleysoles mólicos en Honduras y Norte de Costa Rica (Aquolls), G. plínticos en Nicaragua y al sur de Costa Rica (Plinthaquepts), G. éutricos, exclusivamente en la costa Pacífica de Guatemala y en el Salvador (Tropaquents o Tropaquepts).
- Planosoles húmicos en Costa Rica (Palleudolls), P. dystrico en Costa Rica y Panamá (Paleudalfs).
- Fluviosoles éutricos de las terrazas recientes de los grandes ríos de Honduras, Panamá (fluvents), F. dystricos de las terrazas antiguas en Honduras y Nicaragua (fluvents).
- Regosoles dystrico (Orthens o Psamment).
- Histosoles dystricos o H. tiónicos (Histosoles): suelos turbosos y manglares.

Con el desmejoramiento del drenaje hacia la costa, los Acrisoles del interior del país adquieren un horizonte pseudo gley, luego gley y se cambia a gleysoil si el horizonte de gley es de menos de 50 cm. El complejo de intercambio puede mantenerse saturado a más de 50% hacia Guatemala. La insaturación es más importante hacia el sur del istmo más húmedo y se pasa de los suelos "éutricos" a los suelos "dystricos". En estos medios más húmedos, una mayor movilización del hierro da gleysoles plínticos, particularmente abundantes en Nicaragua. La mayoría de estos suelos son gravillosos y pedregosos, y soportan, cuando son drenados, las más vastas zonas bananeras de América Central (Honduras, Costa Rica). La extensión de los Regosoles costeros, importante para los cocotales, está ligada a los aluviones de los grandes ríos y de la orientación de las corrientes marinas que hayan redistribuido estos aluviones. Una franja oceánica baja, una cuenca poco extensa que drena el interior volcánico de la región, son las condiciones que permiten la instalación de manglares en Histosoles tiónicos, a menudo desarrollados en la Costa Pacífica (Nicaragua). Este medio puede ser muy productivo (cultivos de arroz, cría de camarón), pero su gestión, muy delicada, se basa en un equilibrio que aprovecha las largas fases de anaerobiosis para evitar, entre otras cosas, la oxidación del azufre y la esterilización ácida de las tierras emergidas.

### 2.2.2.3 Aptitud para la caficultura

Este medio no es propicio para el *C. arabica* por razones climáticas y pedológicas. La altitud (inferior a 300 m) no puede compensar la latitud

en estas llanuras bajas del Atlántico, las horas sol son las más bajas (inferior a 1600 horas por año), la temperatura demasiado elevada y de baja amplitud anual (temperatura promedio por año de 25°C). El *C. robusta*, por el contrario, puede ser plantado en los Acrisoles todavía correctamente drenados en el interior del país, pero se pueden hacer escogencias mucho más interesantes tales como las piñas o las plantas de raíz y tubérculos. Estos suelos son en efecto muy ácidos y carentes en N, P, K. No se debe temer ningún déficit hídrico, no por las propiedades físicas de los suelos que a menudo son execrables, sino más bien porque son las regiones más regadas del istmo (hasta 4000 mm por año repartidos en 10-12 meses). Las características físicas desfavorables se deben a varias razones: bajo volumen de suelo blando debido a la pedregosidad, textura a menudo heterogénea verticalmente, lo que provoca una ruptura en la continuidad de los poros capilares, incluso en presencia de un manto poco profundo, de ahí que los suelos deben ser al mismo tiempo drenados e irrigados.

### 2.2.3 *Las tierras altas de las cordilleras plegadas calizas Cretáceo y esquistosas Permo-Carbonífero: región A6*

#### 2.2.3.1 Fisiografía

Se trata de cordilleras montañosas orientadas oeste-este en Guatemala y en Honduras, orientación que corresponde a los trazos sur de la placa tectónica norteamericana. Están formadas de las mismas calizas que en el Petén (región B2), pero fuertemente plegadas aquí, durante las fases tectónicas laramienses (-35x10<sup>6</sup> años). Estas cordilleras contienen también intercalaciones de esquistos que pertenecen al "complejo de base" del Permo-Carbonífero y a series cristalófilas mucho más antiguas.

#### 2.2.3.2 Suelos

Las asociaciones de suelos dependen: (i) del vigor del relieve (Guatemala), (ii) de la naturaleza de la roca madre entre un polo neutro (calizas) y un polo más ácido (esquistos), (iii) finalmente de la lixiviación de las bases más o menos intensa dependiendo de la pluviometría. Aparece una secuencia climática que parte netamente de la cuenca vertiente del río Chixov, húmeda hasta la región de Copán más seca con la serie: Acrisoles/Luvisoles/Cambisoles. Tenemos las asociaciones siguientes:

- *Luvisoles* crómicos en zona accidentada, semi húmeda, en calizas de Guatemala y de Honduras (Rhodoxeralfs, Haploxeralfs), L. férricos

en zona igualmente accidentada pero más húmeda y sobre rocas ácidas de Guatemala (Haplustalfts), L. Háplicos en las zonas menos accidentadas de los dos países (Ustalfts y Udalfts).

- *Acrisoles* háplicos en Guatemala húmeda del río Chixoy (Hapludults o Haplustults según el pedoclima y por ende la exposición de las vertientes).
- *Cambisoles* crómicos en zona semi húmeda sobre las calizas o tobas volcánicas básicas (Eutrochrepts, Ustochrepts), C. cálcico en zona seca sobre las calizas (Eutrochrepts, Ustochrepts).
- *Algunos Rendzines* (Rendolls) sobre las calizas erosionadas.
- cabe mencionar también los Nitisoles, Fluvisoles y Gleysoles éutricos del lago Izabal.

### 2.2.3.3 Aptitud para la caficultura

*Algunas unidades son recuperables* en esta región. La principal dificultad viene del poco espesor de estos suelos, a menudo guijarroso y que guardan poca agua utilizable en zonas que todavía son relativamente secas. El relieve limita por otro lado las posibilidades de una irrigación de bajo costo. Los Acrisoles no son aptos, salvo si se les practican mejoras costosas en una región donde existen suelos mucho mejores (por ejemplo A10). Los Luvisoles y Cambisoles son por el contrario aptos, pero con algunos aspectos negativos dependiendo de las unidades:

- Luvisoles crómicos: de fertilidad química media pero homogénea, mas son pedregosos y erosionables. Se puede considerar una irrigación en las zonas menos accidentadas.
- Luvisoles férricos: fertilidad química mucho más baja, son a menudo pedregosos en zona accidentada.
- Cambisoles éutricos o crómicos: *son los más interesantes de la serie*; presentan una saturación de bases mayor al 50%. Poseen a menudo una textura franca pero sus tasas de materia orgánica son bajas.
- Cambisoles cálcicos y, *a fortiori*, Rendzines: deben rechazarse, son suelos secos, de fuerte antagonismo calizo ( $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{Ca}^{2+}$  intercambiable), lo que disminuye la disponibilidad del fósforo. Son también suelos de baja densidad, gravillosos en una zona muy accidentada.

## 2.2.4 *Las tierras altas volcánicas ácidas, sedimentarias Terciario y cristalófila de Guatemala, de Honduras, del Salvador y de una parte de Nicaragua: región A8*

### 2.2.4.1 Fisiografía

La destrucción de la superficie de abrasión del Plioceno ha dado un relieve montañoso profundamente entallado por una red hidrográfica esencialmente de tributaria del Atlántico. Los valles son planos, se extienden sobre unos 3 a 5 km y se delimitan por las cordilleras montañosas que culminan entre 1400 y 1500 msnm. Se encuentran rellanos hacia los 1200 metros con espesas alteraciones ferralíticas, testigos de la antigua superficie Pliocena. Las rocas madres son: (i) rocas efusivas ácidas (riolitas, ignimbritas) así como sus productos de destrucción (conglomerados, areniscas, lutitas, argilita); (ii) rocas cristalófilas relativamente ácidas; (iii) finalmente, más al sur, coladas basálticas que han fosilizado la antigua superficie.

### 2.2.4.2 Suelos

El conjunto fisiográfico da suelos diferenciados por una insaturación del complejo de intercambio correlacionado con el aumento del drenaje y por ende con la pluviometría; en presencia de un drenaje idéntico, las rocas básicas proveen suelos que se acidifican evidentemente menos. Esta secuencia climática, que se desarrolla en un suroeste más seco y un noreste húmedo, da como resultado los siguientes suelos: Cambisoles/Luvisoles/Nitisoles/Acrisoles.

- *Acrisoles* háplicos en Guatemala, A. húmicos (Humults) que dominan en Nicaragua, más precisamente al noreste de una línea Somoto–Matagalpa–Boaco–Acoyapa, se vuelven plínticos hacia la costa del Caribe.
- *Luvisoles* órticos/Haploxeralfs) en Guatemala, L. férricos (Haplustalfs) en Nicaragua.
- *Los Nitisoles* cubren la misma zona climática que los Cambisoles, pero son mucho más densos, más evolucionados que estos últimos: son dystricos incluso férricos en Nicaragua (Rhodochrufts o Paleudalfs), en clima semi húmedo de altitud, y en las antiguas alteraciones ferralíticas o sobre rocas efusivas ácidas. Se vuelven éutricos en El Salvador en las antiguas coladas basálticas.

- *Los Cambisoles* no existen más que en Honduras y en El Salvador donde son dystricos porque están diferenciados en los macizos riolíticos (*Dystrochrepts*).

#### 2.2.4.3 Aptitud para la caficultura

*Aptitud de muy baja a baja* para los Acrisoles, Luvisoles y Cambisoles en este conjunto A8:

- Los Acrisoles órticos y húmicos pueden tener buenas características físicas, para una caficultura de muy bajo rendimiento, si se toma en cuenta una fertilidad química extremadamente baja tanto aniónica como catiónica.
- Los Luvisoles tienen fertilidades físicas medianas si son friables y se vuelve mala cuando se hacen gravillosos en un paisaje accidentado.
- Contrariamente a los Cambisoles éutricos, los C. dystricos son poco aptos con CIC superior a 50% y horizontes A poco húmicos (ótricos).
- Los Nitisoles salvadoreños éutricos sobre basaltos son *física y químicamente* interesantes para el *C. arabica*. Los N dystricos sobre las antiguas alteritas de los rellanos montañosos tienen buenas propiedades físicas pero están muy dispersos, cubren escasas superficies y a menudo están demasiado altos.

### 2.2.5 *Las tierras altas volcánicas básicas del Terciario de la parte ístmica (Nicaragua, Costa Rica, Panamá): región A9*

#### 2.2.5.1 Fisiografía

Esta región A9, que no debe confundirse con los arcos volcánicos actuales de la región A10, constituye el armazón de la parte estrictamente ístmica de América Central. Comienza en el ámbito de la depresión nicaragüense (lagos de Managua y de Nicaragua), atraviesa Costa Rica y se extiende hasta la frontera colombiana por la cordillera de Darién. Las rocas madres son sobre todo tobas y conglomerados volcánicos de edad Terciario. Como una parte del vulcanismo, en esa época, era todavía marino, se encuentra también intercalaciones de calizas arrecifales. A manera de simplificación, se relacionó este conjunto volcánico Terciario con los granitos y dioritas del sur de la cordillera de Talamanca, así como todas las "Filas Costeras" sedimentarias arcillosas, calizas, areniscas del Mioceno

costarricense y finalmente las rocas ultrabásicas de las penínsulas de Nicoya y de Osa relacionadas con la costa por la subducción de las placas tectónicas. Hacia la costa caribe, la destrucción de este conjunto A9 provee los materiales a partir de los cuales se diferenciaron los suelos de las tierras bajas de la región B3.

#### 2.2.5.2 Suelos

De Nicaragua a Panamá, se encuentran los siguientes suelos:

- *Acrisoles*: Los A. húmicos de altitud de Costa Rica y de Panamá (Humults) conllevan un horizonte húmico úmbrico de al menos 20 cm de profundidad que, por efecto del clima, tiene una baja saturación de bases sobre la totalidad del perfil.
- *Cambisoles*: se distinguen por el estado de saturación del complejo absorbente, y en la formación de arcillas saturadas en condición de confinamiento; los C. éutricos (Eutrochrepts), saturados en bases ocupan las rocas básicas en Nicaragua y en Costa Rica; los C. dystricos (Dystrochrepts), insaturados ocupan las rocas ácidas en Nicaragua y en Costa Rica (coluviones graníticos de Talamanca sur); son escasos en Panamá; finalmente en Nicaragua, los C. éutricos pasan a los C. vérticos con una génesis arcillosa esmectítica hacia la depresión de las orillas este de los lagos.
- *Luvisoles*: Los L. órticos son escasos, los L. crómicos, marrón vivo y rojos (Rhodoxeralfs) dan testimonio de una neta movilización del hierro, son litodependientes en la “Filas Costeras” y parte de las penínsulas costeras Pacífica de Costa Rica y Panamá.
- *Nitisoles*: (a menudo Paleudalfs) son éutricos en la depresión nicaragüense. En Panamá son insaturados en bases en la superficie, a causa de la fuerte precipitación, a pesar de su formación sobre rocas efusivas básicas.
- Se presentan pequeñas superficies de suelos más o menos saturados por el agua: los Gleysoles del lago de Nicaragua y de los golfos de Panamá, y finalmente los Histosoles de los manglares costeros de Costa Rica y de Panamá.
- De manera anecdótica, se señala una pequeña unidad de Ferrasoles órticos (Orthox) que está cerca de la frontera colombiana, pero estos suelos son totalmente desconocidos en el resto de América Central.

### 2.2.5.3 Aptitud para la caficultura

- *Aptitud muy baja a baja* para los Acrisoles y Luvisoles órticos.
- *Aptitud media* para los Acrisoles húmicos de Costa Rica, los Nitisoles dystricos de Panamá, los Cambisoles vérticos de Nicaragua y algunos Gleysoles éútricos y friables de los valles y fondos de golfos en Costa Rica y Panamá.
- *Aptitud alta* para los Luvisoles crómicos de las colinas costeras, los Cambisoles y Nitisoles éútricos de Nicaragua y de Costa Rica. Estos últimos, genéticamente ligados a los Andosoles de la región A10, poseen todavía características físicas excelentes.

### 2.2.6 *La cordillera y el altiplano volcánicos Cuaternarios (Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá): región A 10*

#### 2.2.6.1 Fisiografía

La Cordillera volcánica corre a lo largo de la costa del Pacífico de manera casi ininterrumpida desde Guatemala hasta la frontera panameño-costarricense. Está formada a partir de las emisiones recientes de 66 volcanes, de los cuales 15 están actualmente en actividad. Sus cenizas, lapillis, escorias y lavas reposan sobre las formaciones Terciario del conjunto A9.

#### 2.2.6.2 Suelos

Los suelos son esencialmente Andosoles y suelos relacionados que son ya sea menos o más evolucionados que los andosoles: (i) todavía no andosoles, ricos en vidrio de volcán, ya que están poco alterados (vítricos), (ii) más evolucionados cuando han perdido los geles amorfos, los cuales son sustituidos por arcillas cristalizadas que protegen mucho menos los compuestos húmicos de cualquier mineralización; estos suelos, con una tasa de descomposición de la materia orgánica acelerada, son de esta manera, a menudo más claros que los Andosoles cercanos. Después de una deposición de materiales piroclásticos, el período de existencia de un andosol se escalona entre algunos siglos y algunas decenas de miles de años, el límite superior puede ser empujado en el caso de que haya un clima demasiado frío que pueda acentuar la acumulación de compuestos húmicos, de ahí el color muy oscuro de estos suelos.

*Andosoles*, se distribuyen por secuencias líticas o por secuencias climáticas:

- *secuencias líticas*: causa de diferenciación constante en todos los países del istmo y dan por un lado los A. vítricos (Udivitrands y Ustivitrands) y a veces, los Regosoles (Psamments), formados sobre piroclastitas recientes y de granulometría gruesa, cercanas a los cráteres y por otro lado los A. húmicos (Melanudands) y friables (Eutric Hapludands) sobre materiales más evolucionados o más finos de las vertientes,
- *secuencias climáticas*: en Guatemala, los A. húmicos insaturados de las zonas más húmedas cercanas a la frontera mexicana se oponen a los A. friables no insaturados del altiplano más seco (lago Atitlán por ejemplo). En Costa Rica, las vertientes que están expuestas a los vientos alisios del Atlántico soportan A. húmicos e hídricos (Hydrudands) que tienen contenidos de agua a capacidad de campo (CC) comprendidos entre 100% y 300% del peso del mismo suelo seco!

*Nitisoles* éutricos (Udalfs a Udults), con la disminución del contenido en geles amorfos y en materia orgánica y de la pluviometría, y con el aumento de la temperatura, los Andosoles pierden sus características ándicas y se transforman en suelos de arcillas cristalizadas (halloisita, caolinita), susceptibles de migrar a las profundidades y de dar suelos más o menos lavados. Se pasa entonces a los Nitisoles éutricos o dystricos dependiendo de la menor o mayor saturación del complejo absorbente. En una vertiente húmeda y sobre cenizas andesíticas, estos Nitisoles sucedieron a los Andosoles y preceden suelos muy lavados (Acrisoles), luego los suelos hidromorfos o aluviales del valle.

*Vertisoles* (Vertisoles), la asociación Andosoles/Vertisoles se produce en condiciones más secas, sobre piroclástitas (cenizas basálticas), y con un segmento deprimido o plano pero no hidromorfo. Esta situación es propicia para la formación de arcillas (esmeclitas), es el caso de algunas porciones de costa Pacífica de Guatemala, del Salvador y de Nicaragua.

### 2.2.6.3 Aptitud para la caficultura

La *fertilidad química* de los Andosoles se puede reconocer por los contenidos relativos en sílice y aluminio: los andosoles menos evolucionados son ricos en sílice ( $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 \approx 3,5$ ), tienen una alta CIC (hasta 120 cmol (+)  $\text{kg}^{-1}$ ), y retienen poco el fósforo que está entonces disponible

para las plantas. Por otro lado, los Andosoles muy evolucionados son ricos en aluminio ( $\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 \# 0,5$ ), tienen una baja capacidad de intercambio catiónico (CIC de 10 a 60  $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ) pero retienen fuertemente el fósforo que no está entonces disponible para los cultivos.

Los Andosoles son probablemente los suelos que, a nivel mundial, que poseen las *mejores características físicas* que es posible observar (porosidad, alimentación hídrica, estabilidad de la estructura), pero como son explotados a menudo en condiciones extremas (pendientes, mecanización en suelo saturado, denudación de la superficie, etc.), su umbral de degradación puede ser alcanzado brutalmente con erosiones excesivas, aspecto que será evocado en la segunda parte de este capítulo.

Los *Andosoles blandos y húmicos son los más aptos*. Los más "secos" (A. friables) llegan a compensar por alturas notorias de ascensión capilar los déficits hídricos de la estación seca. Los más "húmedos" (A. húmicos) drenan, como si fueran esponjas saturadas, los excesos de agua sin problemas de hidromorfia.

Los *Nitisoles y Acrisoles genéticamente ligados a los Andosoles son también suelos buenos* para los cafetos: su estructura recuerda la de los andosoles, pero, para los más arcillosos, su economía de agua es menos buena debido a que la gama de agua utilizable por parte de las plantas es más estrecha y sobre todo, está desviada hacia fuertes humedades.

Los *Andosoles super hidratados* son menos interesantes, a menudo con alta saturación de aluminio, al menos en la superficie, con todos los problemas conexos que esto supone: hiperacidez, fuerte retención del fósforo, baja CIC.

Los Andosoles vítricos están generalmente situados a altitudes muy grandes para que puedan soportar zonas cafetaleras interesantes (temperatura demasiado baja, incluso helada), en situación límite, se hacen muy frágiles cuando están desnudos (ver cuadro 3-1), tienen una baja retención de agua y mediocres posibilidades de ascenso capilar ya que su textura es verticalmente heterogénea. Es el problema de los depósitos jóvenes del altiplano guatemalteco.

Estas dos últimas regiones fisiográficas constituyen evidentemente las zonas más propicias para las plantaciones de *Coffea arabica*. Están situadas en las cordilleras y tierras altas, y los riesgos de erosión son altos. Es el tema del acápite siguiente.

### 3 *Los Comportamientos Hídricos y Erosivos de los Andosoles y los Suelos Asociados (Regiones A9 Y A10)*

La erosión está provocada por la escorrentía de las precipitaciones. Por lo tanto, antes de estudiar la erosión, es preciso considerar los comportamientos hídricos de los suelos.

El agua de precipitación que escurre a la superficie del suelo es el agua que no se infiltró hacia las capas profundas. Una característica esencial de una superficie que permite predecir las escorrentías con determinadas intensidades de precipitación es el coeficiente de infiltración (porcentaje del agua que se infiltra). Este coeficiente depende de la humedad de la superficie, es generalmente más alto cuando la superficie del suelo está seca.

Una vez estudiados los comportamientos hídricos de los suelos, se pueden considerar sus comportamientos erosivos. La erosión depende de elementos muy diversos, ligados a las características de la vertiente, de la cobertura de la superficie y de su humedad, de la precipitación (intensidad, duración, tamaño de las gotas), entre otros. Es entonces un fenómeno que es complicado de predecir. Sin embargo, se han realizado experimentos de simulación de lluvias, en condiciones semi-controladas, donde se riega con cierta fuerza y cierta intensidad una pequeña parcela. Se mide, durante la precipitación simulada, la carga sólida del efluente.

Se realizaron experiencias de simulación de lluvias sobre parcelas experimentales en Costa Rica. Permiten, entre otras cosas, evaluar los coeficientes de infiltración y los riesgos erosivos en que incurren los suelos que soportan diferentes cultivos, entre ellos *las plantaciones de café* (Bermúdez, 1980). El cuadro 3-1 provee información sobre la *infiltrabilidad* de los suelos sometidos a diversos tratamientos y que soportan diferentes coberturas. El agua que no se infiltra escurre a la superficie del suelo. El cuadro 3-2 presenta el valor de la *erosión* para las mismas situaciones, resultado de un aguacero simulado de 100 mm cuya distribución de intensidad coincide con la de un aguacero tropical clásico (Gutiérrez, 1987). La erosión depende de la cantidad de agua escurrida (cuadro 3-1) y de la carga sólida que contiene cada milímetro de agua escurrida.

**Cuadro 3-1. Comportamiento hídrico según los suelos y las situaciones culturales.**

Situaciones de cultivo	Estado de humedad del suelo	Coefficiente de infiltración
<i>Andosol húmico arcilloso (Melanudand) de San Juan Sur, pendiente 25%</i>		
Café	saturado	44%
Maíz	saturado	11%
Desnudo labrado	saturado	44%
<i>Andosol vítrico arenoso (Udivitrand) del volcán Irazú, pendiente 30%</i>		
Pastizal natural (pasto "kikuyo")	saturado	2%
Pastizal escarificado (pasto "kikuyo")	saturado	41%
Desnudo labrado	saturado	9%
Desnudo labrado	húmedo	10%
<i>Nitisol dystrico arcilloso (Udalf) de Buenos Aires, pendiente 2%</i>		
Café	seco	83%
Desnudo labrado (en sitio cafetalero)	seco	3%
Desnudo labrado	húmedo	13%
Piña	seco	4%
Piña	saturado	15%
Desnudo labrado (en sitio de piña)	húmedo	11%

**Cuadro 3-2. Comportamientos erosivos según los suelos y las situaciones culturales para un aguacero de 100 mm.**

Situaciones de cultivo	Estado de humedad del suelo	Carga sólida por mm escurrido (g.l <sup>1</sup> )	Erosión por 100 mm de lluvia (kg. ha <sup>-1</sup> )
<i>Andosol húmico arcilloso (Melanudand) de San Juan Sur, pendiente 25%</i>			
Café	saturado	0	0
Café	seco	0	0
Maíz	saturado	1,6	139
Maíz	seco	0,2	< 20
Pastizales	saturado	0,2	?
Pastizales	seco	0,2	102
Desnudo labrado	saturado	9,8	878
Desnudo labrado	seco	4,1	200
<i>Andosoles vítrico arenosos (Udivitrand) del volcán Irazú, pendiente 30%</i>			
Pastizal natural	saturado	0,4	13
Pastizal escarificado	saturado	0,2	< 5
Desnudo labrado	saturado	66,8	23840
Desnudo labrado	húmedo	44,9	12300
Desnudo labrado	seco	2,1	< 200
<i>Nitisol dystrico arcilloso (Udalf) de Buenos Aires, pendiente 2%</i>			
Café	saturado	0	0
Café	seco	0,2	112
Desnudo labrado (sitio de café)	húmedo	25,8	1430
Desnudo labrado (sitio de café)	seco	5,6	< 200
Piña	saturado	1,2	154
Piña	seco	0,2	< 20
Desnudo labrado (sitio de piña)	húmedo	1,3	718
Desnudo (sitio de piñas)	seco	1,0	?

### 3.1 Comportamiento hídrico

#### 3.1.1 Los suelos desnudos, no labrados

Esta situación cultural permite revelar más estrictamente el comportamiento del suelo. Las características de los suelos susceptibles de modificar la infiltración son: (i) los diámetros de porosidades abiertas sobre la superficie que controla más o menos la infiltración (se habla de conductividad hidráulica en  $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ ), (ii) la capacidad de reserva del suelo poroso en profundidad así como el volumen ya ocupado por el agua (la relación vacío/lleño es el "déficit de saturación" del suelo en %).

Considerando lo anterior, es posible distinguir el comportamiento de los Andosoles húmicos de San Juan Sur (altos del valle de Turrialba, en Costa Rica), con respecto al de los Nitisoles de Buenos Aires (Valle del General, Costa Rica), mientras que los Andosoles vítricos del volcán Irazú representan otra situación.

#### 3.1.2 Las reservas de los Andosoles y de los Nitisoles

*Los Andosoles húmicos de San Juan del Sur* se mantienen húmedos a lo largo del año y son poco sensibles a las variaciones de la duración de secado entre dos aguaceros consecutivos. Sobre Andosol intacto, la capacidad de reserva está ligada a la microporosidad, esta reserva aumenta conforme aumenta la hidratación, lo cual es una particularidad ligada a la presencia de geles amorfos (hidróxidos de aluminio o alofanos) en su fracción arcillosa.

Los *Nitisoles de Buenos Aires*, por el contrario, presentan macroporos, propiedad clásica de los suelos caoliníticos ricos en óxidos de hierro y de aluminio, lo que permite que se saturen y se vacíen rápidamente por drenaje profundo.

El labrado frecuente de los Andosoles, modifica los horizontes superficiales y destruye los geles amorfos por secado irreversible, aparece entonces una macroporosidad que presenta la particularidad de poder vaciarse rápidamente entre dos aguaceros consecutivos.

##### 3.1.2.1 La conductividad hidráulica superficial de los Andosoles y de los Nitisoles

El cúmulo de energía de los aguaceros provoca la formación de organizaciones peliculares estructurales superficiales (Casenave y Valentin,

1988). Esta película resulta de la fusión parcial de la faz aflorante de los conglomerados o de los terrones. Se encuentran estas películas en los dos tipos de suelo, pero la diferencia entre ellos reside en la amplitud de la degradación inicial así como en la duración y el resultado de los procesos físicos y biológicos de reconstrucción de la estructura original, de ello resultan dos tipos de conductividad hidráulica en estas superficies:

- sobre los *Andosoles de San Juan Sur*, el relleno ligado a las películas estructurales es lento de obtener y sólo tiene importancia para el 15% de la superficie. Las reconstrucciones estructurales son luego rápidas y totales. La conductividad máxima se acerca a los 90 mm.h<sup>-1</sup> al final de una semana de secado.
- en los *Nitisoles labrados del lugar donde se cultiva café en Buenos Aires*, estas películas estructurales aparecen más rápidamente a expensas de los terrones finos provenientes de los horizontes A1 y AB, cubren 40% a 65% de las superficies, las reconstrucciones estructurales son más largas y se siguen siendo parciales. La conductividad máxima no alcanza en un suelo ampliamente secado sino 20 mm.h<sup>-1</sup>.
- en los *Nitisoles labrados de un sitio donde se cultiva piña en Buenos Aires*, estas películas estructurales aparecen igualmente, pero no cubren sino 20 a 30% de las superficies ya que se forman por desagregación de los terrones de labranza más gruesos que provienen del horizonte B2 que aflora actualmente después de 30 años de erosión debido al monocultivo de piña (3.700 t.ha<sup>-1</sup> o sea 117 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>). La conductividad máxima sube entonces, sobre un suelo ampliamente secado, hasta 60 mm.h<sup>-1</sup>.

### 3.1.2.2 Comportamiento hídrico particular de los suelos vítricos del Irazú

Los Andosoles vítricos arenosos finos del Irazú tienen reservas porosas profundas importantes. Escurren menos desnudos y labrados que cuando están cubiertos de zacate "kikuyo" por razones que serán evocadas después. Se erosionan muy rápidamente y muy fuertemente como para que puedan formarse algunas películas superficiales. Los rechazos de infiltración están entonces únicamente ligados a una saturación de reservas profundas y a la infiltrabilidad general, no controlada por la superficie, sino por todas las causas susceptibles de modificar las redistribuciones internas de los flujos (interestratificaciones de cenizas originadas por las diferencias de compactación).

### 3.1.3 *La influencia de las coberturas vegetales sobre la hidrodinámica*

Se encuentran aspectos relativamente bien conocidos en cuanto al control del escurrimiento por atenuación de modificaciones estructurales de la superficie del suelo. Las modificaciones estructurales superficiales que tienden a rellenarse están suprimidas o fuertemente atenuadas en la *pradera* de baja altitud, bajo un sistema *agroforestal* que asocia *Erythrina* y maíz así como bajo café. La atenuación es menor bajo maíz, se vuelve casi nula bajo piña poco protectora y cuyos campos muestran fuertes escurrimientos.

### 3.1.4 *El caso particular de la hidrofobia de los pastizales de altitud sobre suelos vítricos*

La red de raíces de las praderas densas de las altitudes del Irazú parecen formar una "barrera hidráulica" que limita en forma más o menos durable y fuerte las infiltraciones. Este efecto, que puede parecer paradójico, ya fue observado en otros lados: cubiertas forestales de altitud en Costa de Marfil (Casenave *et al.*, 1982), Caatinga brasileña, (Leprun, 1988) y los páramos de Ecuador (trabajos en realización). En estos casos, la red de raíces muy densas del "kikuyo" da origen al escurrimiento extremadamente elevado, proceso del cual se deriva la importancia de una gestión integrada de las vertientes que conllevan campos intensamente cultivados y frecuentemente desnudos en las partes bajas.

El origen de esta hidrofobia es probablemente múltiple:

- acumulación de aire en un enfurtido de raíces denso e hidrófobo,
- orgánico mineral ligada a funciones hidrófobas de compuestos húmicos (Capriel, 1997).

Esta barrera hidráulica fue levantada sobre los suelos vítricos del Irazú por una escarificación con pico de la superficie donde hay hierba (4 golpes en 1 m<sup>2</sup>), lo que provoca la salida del aire del suelo. La comparación de los coeficientes de infiltración que pasan de 2 a 40% en el cuadro 3-1 muestra claramente esta restauración de la infiltrabilidad.

## 3.2 *Comportamiento erosivo (ver cuadro 3-2)*

### 3.2.1 *Los suelos desnudos, labrados*

Se han observado cargas específicas considerables ( superiores a 65 g.l<sup>-1</sup>) en parcelas de *Andosoles vítricos arenosos del Irazú* (pendiente de 30 %).

A pesar de que son mucho más débiles, las pérdidas de suelo de los *Andosoles húmicos arcillosos de San Juan Sur* (pendiente de 25%) son todavía consecuentes (5 a 10 g.l<sup>-1</sup>).

Los *Nitisoles no erosionados (en sitio de cultivo de café) de Buenos Aires* presentan igualmente fuertes cargas específicas (5 a 25 g.l<sup>-1</sup>) si se toma en cuenta la poca pendiente del terreno. Los *Nitisoles erosionados sobre 30 cm del sitio de cultivo de piñas* presentan cargas más débiles (1 a 1.5 g.l<sup>-1</sup>) ya que la estructura se derrumba rápidamente, el suelo se alisa, el espesor de la lámina de agua de escurrimiento intercepta entonces fuertemente la energía de las lluvias. Esta autoprotección se manifiesta más escasamente en los suelos jóvenes del istmo centroamericano salvo cuando, como aquí, son maltratados.

La convergencia de la pérdida de suelo entre *Andosoles* y *Nitisoles* labrados no debe sin embargo ocultar los *modos de erosión totalmente diferentes*:

- en los *Andosoles húmicos de San Juan Sur*, se pierde el suelo en forma de pequeños conglomerados que se despegan capa tras capa de la superficie;
- en los *Nitisoles de Buenos Aires*, esta pérdida de conglomerados no representa sino una pequeña parte de las pérdidas totales, la mayoría se pierde en forma de elementos totalmente desligados;
- los suelos *vítricos del Irazú* se abarrancan y presentan los riesgos erosivos más importantes.

### 3.2.2 Coberturas vegetales

Las pérdidas de los suelos cubiertos son muy bajas cualquiera que sea el tipo de suelo. Las cargas específicas se mantienen entonces inferiores al gramo por litro salvo en las parcelas poco secadas cultivadas ya sea con maíz (*San Juan Sur*), pero sobre todo con piña (*Buenos Aires*). En estas dos situaciones, las superficies están mal protegidas contra el impacto de las gotas, y tienen capacidades de desprendimiento cercanas. Por lo tanto, las pérdidas dependen de los caudales del escurrimiento, lo cual desfavorece mucho las parcelas cultivadas de piña, inclusive en pendientes bajas. Las coberturas agroforestales y los cafetos limitan totalmente el desprendimiento de las partículas.

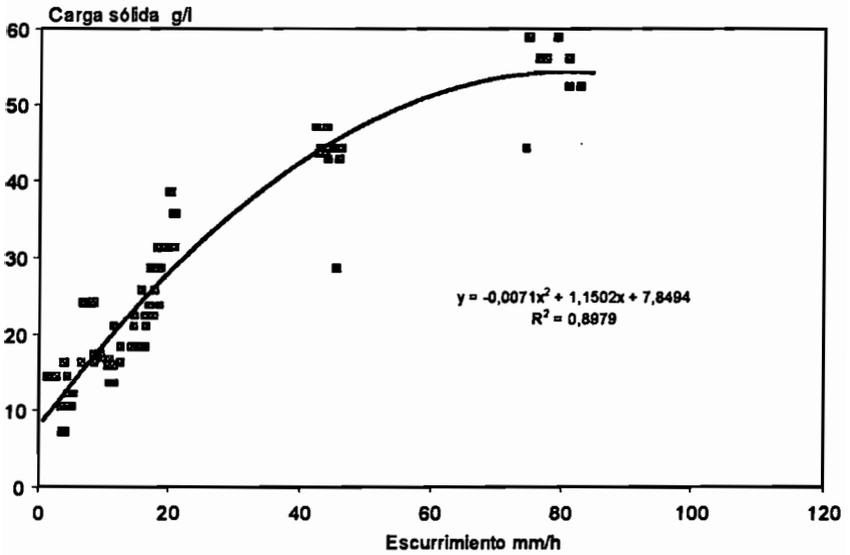


Figura 3-2. Relación carga sólida-escorrimento en Andosol vítrico labrado del Irazú.

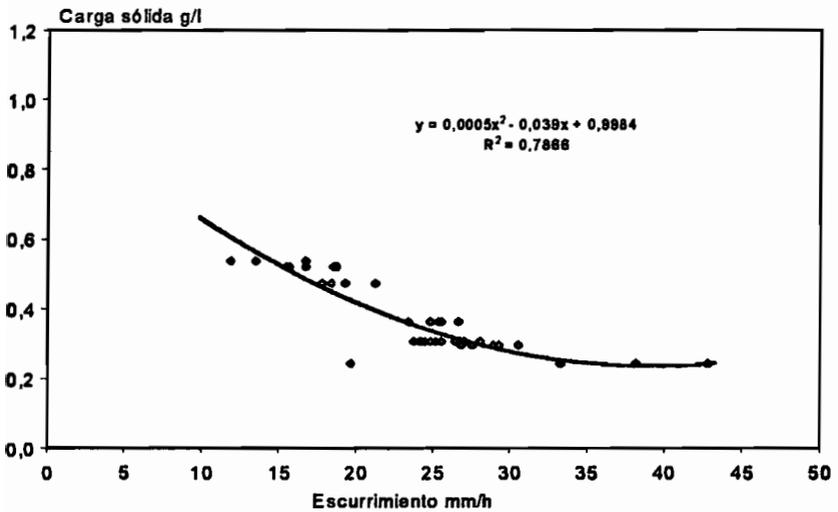


Figura 3-3. Relación carga sólida-escorrimento sobre Nitisol erosionado en terreno plantado de piñas, plantaciones campesinas de Buenos Aires.

Las figuras 3-2 y 3-3 ilustran dos ejemplos de comportamientos erosivos, uno catastrófico en los *Vitrosoles labrados* del Irazú, el otro más moderado, en las plantaciones campesinas de piña en los Nitisoles erosionados de Buenos Aires. En suelos frágiles, notamos generalmente evoluciones asintomáticas de los gráficos de las cargas sólidas (CS) en función del escurrimiento (E), que corresponden a una disminución de la capacidad de los flujos para el transporte de cargas que se vuelven excesivas ( $CS^a$  55g.l<sup>-1</sup> para  $E = 80$  mm.h<sup>-1</sup> en el Irazú). Por el contrario (figura 3-2), las disminuciones de cargas para intensidades de flujo crecientes indican ya sea un agotamiento de los elementos exportables, es el caso de los Andosoles *con hierba* de San Juan Sur o del suelo vítrico del Irazú, o ya sea un aumento de la resistencia de las parcelas por alisamiento de su superficie, es el caso de los Nitisoles erosionados bajo *piña* de Buenos Aires.

Podemos sacar dos grandes conclusiones del análisis de los comportamientos hídrico y erosivo de estos suelos:

- Las características hídricas excepcionales de los andosoles húmicos, suelos cafetaleros por excelencia, permiten que resistan relativamente bien la erosión a pesar de las pendientes frecuentes de las vertientes donde se encuentran. Sin embargo, cabe recordar que estas características se deben a la existencia de geles amorfos, relativamente frágiles.
- La existencia de la cobertura de café participa también en la reducción de la erosión de los suelos: se ha visto que la presencia de cualquier cobertura, y en particular la que provee el cultivo de café, permite reducir la erosión en comparación con los suelos desnudos. Sin embargo, en los suelos cuyas características hídricas no son tan buenas, se presenta erosión incluso bajo cobertura de café.

Las características físicas de los suelos cafetaleros, particularmente de los andosoles, son generalmente buenas. El acápite siguiente trata de sus características químicas en relación con las necesidades en nutrimentos de los cafetos.

## 4 *La Fertilización de los Suelos Cafetaleros*

### 4.1 *Aspectos generales de la nutrición mineral del café*

La experiencia indica que el café crece bien en una variedad bien amplia de condiciones de suelo. Debido a su sistema de raíces amplio en condiciones adecuadas, se estima que hace falta un suelo relativamente profundo para su desarrollo apropiado. Algunos autores (Küpper, 1983) indican 1.2 m como la profundidad de suelo adecuado para una buena producción.

El café retira los nutrientes de las capas superficiales de los suelos, justamente donde se ubican una gran proporción de sus raíces absorbentes (Sáiz del Río *et al.*, 1961). Para poder suministrar estos nutrientes, se requieren suelos de textura mediana, ya que los muy arcillosos hacen difícil la adecuada aireación de las raíces. Para ello se requiere una porosidad del suelo con aproximadamente un tercio de macroporos y dos tercios de microporos. Con ello se asegura además el movimiento del agua y aire necesarios para el adecuado crecimiento de las raíces.

Las variedades con alta capacidad de producción y sembrados con alta densidad de siembra, requieren una gran cantidad de nutrientes para obtener abundantes cosechas; por esta razón salvo pocas excepciones, se requiere de programas intensivos de fertilización para satisfacer las necesidades de las plantas y a su vez restituir la fertilidad de los suelos.

El grado de meteorización del suelo cafetalero tendrá una gran influencia en su fertilidad, al igual que el tipo de manejo recibido. Las técnicas modernas de producción, basadas en altas densidades de siembras, requieren niveles de fertilidad altos y permanentes, que solamente se pueden mantener con base en un control constante de la fertilidad del suelo y de las técnicas de abonamiento diseñadas con base en un programa integral de evaluación de esta.

Como el de suplir agua es otra de las tareas esenciales del suelo, si éste es de textura gruesa y de baja capacidad de retención de agua, es más necesario que sea profundo para asegurar un volumen mayor para las raíces, especialmente en épocas limitantes de disponibilidad de agua. En caso de suelos arcillosos es fundamental que estos tengan una buena estructura para asegurar una adecuada aireación de las raíces. Otro problema físico incorregible es la pedregocidad pues esta reduce el volumen de suelo disponible a las raíces y hace difícil su expansión. En general un 15 a 20% de pedregocidad es el máximo que permite una buena producción de café.

## 4.2 El manejo racional de los macronutrientes

### 4.2.1 La problemática del nitrógeno

Tomando en consideración la planta como un todo, el nitrógeno constituye el principal macronutriente, no obstante es el segundo (cuadro 3-3) si se considera solamente la extracción que produce la cosecha (Carvajal *et al.*, 1969; Segura, 1992).

**Cuadro 3-3. Exportaciones de los principales elementos minerales de una hectárea de cafetal (kg de elemento por tonelada de café oro producido). (Síntesis de datos de Ripperton *et al.*, 1935; Castro y Rodríguez, 1955; Forestier, 1969).**

Producto exportado	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Café oro	40-60	7-8	35-40
Pergamino	3-7	0.2-0.5	1-3
Pulpa	15-25	2-5	25-40
leña extraída	15-30	2-5	10-20

La materia orgánica del suelo es la fuente por excelencia de nitrógeno el cual lo disponibiliza a través de procesos de mineralización, siendo que en suelos de origen volcánico su liberación es bastante lenta. La lixiviación del nitrógeno es responsable de gran parte de la pérdida de nitrógeno del suelo, el cual alcanza las aguas subterráneas aumentando su nivel de nitrato como lo mostraron Reynolds-Vargas *et al.* (1994), los cuales detectaron el doble de la concentración de nitrógeno por debajo de suelos cafetaleros intensivamente abonados, en comparación con suelos cultivados de pastos sin abonamiento intensivo. Aunque probablemente hay pérdidas en forma gaseosa, no existen datos que ilustren este proceso en el sistema de café.

Otro problema ambiental causado por los abonos de nitrógeno es la acidificación intensiva, debida a la nitrificación rápida, característica de los suelos cafetaleros. Aunque esto afecte solamente una parte del suelo,

la banda de fertilización, en este sitio se ha medido un descenso del pH mayor de dos unidades. Esta acidificación se debe a la nitrificación rápida del nitrógeno inorgánico aplicado, el cual se puede reducir con inhibidores de nitrificación como lo demostró Bornemisza (1986). Se conoce que la pérdida de los abonos nitrogenados es directamente proporcional a la cantidad aplicada (Martínez *et al.*, 1987), por tanto una buena estrategia para reducir la pérdida, consiste en el fraccionamiento de esta fuente (Pacheco *et al.*, 1986).

Estudios sistemáticos realizados en Costa Rica a partir de 1950 han permitido establecer que los cafetos responden en forma económica cuando se aplican niveles de este elemento cercanos a los 300 kg.ha<sup>-1</sup>.año.<sup>-1</sup> (Segura, 1990). Con respecto a las fuentes utilizables, no se ha podido detectar diferencias apreciables entre ninguna de ellas (ICAFE-MAG, 1992); sin embargo, el uso de urea y nitrato de amonio continúan siendo por excelencia las principales formas de fertilización nitrogenada.

No existen buenos métodos de análisis de suelo para guiar el uso del nitrógeno, debido a la gran solubilidad y movilidad que presenta este elemento en el suelo. Así el análisis foliar, la observación de los síntomas foliares visibles y los niveles de productividad, deben ser en adición a la experiencia del campo, las principales guías para la aplicación de este elemento.

A corto plazo el uso de fertilizantes de liberación lenta y quizá la aplicación de abonos líquidos, pueden constituir una excelente alternativa para aumentar la eficiencia de utilización de los fertilizantes nitrogenados.

#### 4.2.2 La problemática del fósforo

Las necesidades del café por fósforo se manifiesta principalmente en dos etapas del cultivo. La primera se refiere a los años iniciales de formación del arbusto durante los cuales hay un aumento apreciable del material vegetal de la planta. Esta etapa se caracteriza por la conformación del sistema radical, donde el fósforo cumple una función medular. La segunda etapa es la de producción, donde la necesidad del elemento es pequeña, como informa Carvajal (1984).

Con pocas excepciones, no se ha podido determinar respuesta del café a la fertilización con fósforo (Uribe-Henao, 1983; Torres Arias y Cruz Bonilla, 1988; Segura, 1990). Datos generados en varias localidades de Costa Rica ratifican una respuesta errática del café a la fertilización fosfórica (Segura, 1990). Esto no indica como con cierta frecuencia se dice, que el café no responde al fósforo. El afirmar esto equivale a decir que

este elemento no es un elemento esencial en la nutrición del café, situación que obviamente no es correcta. Por la misma razón anterior, la forma más apropiada de referirse a esta situación, consiste en afirmar que el café no responde a la fertilización con fósforo bajo ciertas condiciones de suelo.

Una de las razones que explican la poca respuesta a la fertilización con fósforo, es debido al contenido frecuentemente bueno de materia orgánica de los suelos cafetaleros que por su mineralización puede liberar bastante P. Además, este P al entrar en el sistema en bajas concentraciones es muy poco afectado por los fenómenos de fijación, fenómeno que es muy importante tanto en suelos volcánicos como en aquellos con altos contenidos de sesquióxidos como los Ultisoles y los Oxisoles (Fassbender y Bornemisza, 1987).

La respuesta al abonamiento con fósforo (roca fosfórica), ocurre más que todo en suelos fuertemente meteorizados cuando éste se aplica en conjunto con N y K. Ya que la pérdida de fósforo por lavado es muy baja, su aplicación continua puede conducir a un acumulamiento lento en el suelo y por tanto hacer innecesario su inclusión en las fórmulas completas, o sea en aquellas que incluyen varios elementos.

Es interesante anotar que el análisis de suelos no ofrece una guía segura para el abonamiento del café con este elemento, ya que en muchos suelos con bajos niveles no se obtiene respuesta a su aplicación. Se considera que el análisis foliar es una mejor guía para la nutrición de fósforo del café.

A pesar de que no es frecuente la respuesta al abonamiento con fósforo la práctica usual en países como Costa Rica, es la de incluir el fósforo en los abonos completos que se usa para suministrar N y K. Estas incluyen dosis reducidas que varían entre 50 a 100 kg  $P_2O_5$  /ha por año (Carvajal, 1984; Segura, 1990). A nuestro criterio esta práctica constituye una buena oportunidad para restituir al suelo el fósforo que es extraído por la cosecha, especialmente en suelos de media a baja fertilidad.

#### *4.2.3 El reto del potasio*

El potasio constituye el segundo elemento de importancia cuantitativa en la nutrición del café (Carvajal *et al.*, 1969) pero el primero desde el punto de vista de la extracción por el fruto (Segura, 1992 y cuadro 3-3). En adición a su papel en la nutrición del café donde activa muchos sistemas enzimáticos es conocido su efecto de aumentar la resistencia del café al frío y a la deficiencia de agua (Segura, 1989).

La experiencia acumulada en Costa Rica después de una serie de experimentos que se han realizado para estudiar el efecto de la fertilización potásica sobre la producción, muestran que el café no responde a la fertilización potásica en la mayoría de los suelos donde se cultiva esta especie (Segura, 1990). Esto es, en suelos de origen volcánico, donde existe una gran restitución de este elemento. Por otra parte, los cultivos perennes muestran una alta eficiencia en la utilización de este elemento, quizá porque presentan la habilidad de recircularlo dentro de la planta tal y como lo sugiere Ben-Zioni *et al.* (1971).

Es conocido el efecto sinérgico de la aplicación de nitrógeno con el potasio y por esto este último elemento es un componente permanente de los abonos "completos" usados en la caficultura centroamericana. Desde el punto de vista práctico, en condiciones de Centroamérica se acostumbra utilizar dosis que varían entre 100 y 150 kg de  $K_2O$ /ha/año (Segura, 1990).

De las cuatro formas principales de los abonos con potasio se usa más que todo el cloruro por su precio más reducido. En caso de necesidad de azufre el uso de sulfato de potasio permite controlar este problema también y además evita la acumulación de cloruros en las hojas, ya que si este es superior a 2000 mg/kg puede tener efectos tóxicos como una reducción en el crecimiento de las plantas (López, 1969).

La tercera alternativa es el uso del sulfato de potasio y magnesio que es especialmente adecuado cuando ocurre una deficiencia de magnesio, lo cual es bastante usual en suelos de origen volcánico. A pesar de las aplicaciones fuertes de potasio no se ha informado de su acumulación en cafetales, probablemente por ser el elemento que más se exporta del sistema según informa Malavolta (1993).

En general, para el aprovechamiento del K, es de mucha importancia su relación con el Mg y el Ca. Según Küpper (1983) la relación K:Mg:Ca debe encontrarse dentro de los límites de 1:3:9 y 1:5:25 expresados en cmoles/kg de suelo. Esto indica que un abonamiento N-P-K puede ser poco eficiente en caso de un suelo bajo en Ca y/o Mg. El mantenimiento de buenas relaciones K/Mg es también una de las razones para el uso del abono que incluye magnesio como lo es la práctica dominante en Costa Rica y que gana aceptación en el resto de América Central.

#### 4.2.4 Los elementos secundarios: azufre, calcio y magnesio

El azufre lo requiere el café en cantidades apreciables y su respuesta ha sido muy notoria en El Salvador desde los primeros estudios realizados

en la década de los sesenta (Carvajal, 1984). Se ha notado la falta de azufre en suelos bajos en materia orgánica, de textura arenosa, de fuerte lavado y de meteorización avanzada como en oxisoles; sin embargo, pruebas recientes realizadas en Costa Rica (datos sin publicar), muestran una adecuada respuesta a este elemento en suelos volcánicos ricos en materia orgánica. Como el sulfato no es retenido con mucha fuerza por los suelos, el fósforo lo puede desplazar, induciendo la deficiencia del elemento. En condiciones normales la mineralización de la materia orgánica suple los requerimientos de azufre.

En Centroamérica es muy generalizado el uso intensivo del sulfato de amonio con el objeto de resolver el problema del azufre; sin embargo, esta fuente tiene de inconveniente su baja concentración de nitrógeno. A pesar de ello en Costa Rica se está popularizando el uso de una mezcla de urea y sulfato de amonio para aumentar las aplicaciones de nitrógeno, con el beneficio adicional de la inclusión del azufre.

La falta de azufre reduce apreciablemente la cosecha como lo indican datos de Brasil por Freitas *et al.* (1972). La deficiencia se controla usando abonos que contienen sulfato, como el sulfato de potasio o de amonio, superfosfato sencillo o azufre elemental, que se oxida a sulfato en el suelo. Con cierta frecuencia se confunden los síntomas de deficiencia de este elemento con los producidos por el nitrógeno, situación que muchas veces justifica equivocadamente la aplicación de nitrógeno agravando el problema de azufre. Esto ocurre porque es necesaria una buena nutrición con azufre para el adecuado metabolismo del nitrógeno, así al colocar el nitrógeno y no el azufre agrava el problema en vez de solucionarlo.

Debido a que en la mayoría de los suelos el Ca es el catión principal, su deficiencia es poco corriente. En Brasil, donde los suelos son más lavados Malavolta (1993) informa sobre una relación directa entre el Ca en el suelo y la productividad de café. Por el contrario, para Centroamérica, Carvajal (1984) no informa de respuestas positivas al encalado. A pesar de esto, muchos agricultores practican el encalado en cantidades reducidas de 1 a 3 t/ha con frecuencias de colocación que varían entre cada dos o tres años. Algunos estudios realizados en Costa Rica, muestran ausencia de respuesta del cafeto a la aplicación de cal (Segura, 1990); por lo cual mientras no se dispongan de mejores métodos para evaluar su respuesta, puede ser apropiado utilizar el criterio preventivo (el señalado anteriormente) utilizado por la mayoría de los caficultores centroamericanos.

Con respecto al magnesio, su deficiencia es bastante frecuente especialmente en cafetos con abundante cosecha, situación que se agrava por las intensas aplicaciones de potasio que dificultan la absorción de este

elemento. Los estudios referentes a la respuesta a este son bastante escasos, de los cuales vale la pena mencionar algunos que se realizan en Honduras y Costa Rica, por lo que a nuestro criterio, justifica el que se dedique mayor esfuerzo (Corella y López, 1984; Alfaro, 1996; Ramírez, 1996).

Con cierta frecuencia se recurre al uso de óxido de magnesio y de sulfato doble de potasio y magnesio para resolver los problemas de magnesio, por otro lado se utiliza la dolomita proveniente de Guatemala y Honduras, cuando se realizan la práctica de encalado. En caso de suelos volcánicos recientes, la meteorización del material matriz, es fuente potencial de magnesio y de calcio. En este tipo de suelos existe una apreciable variación en la composición de las cenizas, aún dentro de las del tipo semibásico, lo que a su vez establece diferencias en los contenidos de cationes y especialmente de Mg, lo que resulta en suelos con diferentes niveles en este elemento. Los suelos fuertemente meteorizados como los Ultisoles y Oxisoles han perdido sus componentes catiónicos como Ca y Mg y necesitan su reposición por medio de un encalado liviano y el uso intensivo de fertilizantes que contengan este elemento.

### ***4.3 La importancia de los oligoelementos***

La deficiencia de oligoelementos es un problema bastante común en la caficultura centroamericana, especialmente en los sistemas de producción intensiva. Los suelos de textura gruesa y con poca materia orgánica son más frecuentemente deficientes. La materia orgánica, por medio de su mineralización, es una buena fuente de la mayoría de los oligoelementos y así suelos con buenos niveles de este presentan menos problemas. Evidentemente, la aplicación de diferentes formas de materia orgánica como boñiga o gallinaza o residuos de cosechas como la broza, contribuye a resolver las deficiencias de oligoelementos. El lavado de suelos, especialmente los de textura gruesa, resulta en la pérdida de los oligoelementos, sobretodo si los suelos son antiguos y muy meteorizados como ocurre con los Ultisoles y los Oxisoles.

Debido a que en adición a su contenido en el suelo, muchos otros factores influyen sobre la absorción de micronutrientes, el análisis de suelos es difícil de interpretar. Se estima que es más conveniente orientarse por los resultados de los análisis foliares y por el registro histórico de producción, ya que estos tienen la posibilidad de predecir más apropiadamente la situación nutricional del cafeto.

La falta de los oligoelementos no solamente afecta la cantidad de la cosecha sino que tiene su influencia sobre su calidad también. Así por ejemplo, se ha podido observar el efecto detrimental de la deficiencia de zinc sobre las propiedades organolépticas del café.

Malavolta (1993) presenta una correlación directa entre el contenido foliar de B en el cultivar Catuaí y su rendimiento. Sobre este particular Chaves (1994) señala que un tenor foliar de boro cercano a los 40 mg kg<sup>-1</sup> en el segundo par de hojas, es suficiente para garantizar una buena nutrición en este elemento.

El molibdeno es el elemento que se requiere en la cantidad menor y su deficiencia no ha sido informada en Centroamérica. Debido a que su disponibilidad es muy dependiente del pH, los encalados pueden corregir su eventual deficiencia ya que su disponibilidad aumenta con este valor.

Con respecto al cobre, resultados en Costa Rica (D'Ambrosio, Cabalceta y Bornemisza, 1993) indican una acumulación significativa de este elemento en suelos con tecnología intensiva en comparación con un uso menos intensivo. En caso de presentarse la deficiencia, su corrección se puede realizar efectuando aplicaciones foliares de sulfato de cobre a una concentración del 1% (Braganca, 1985 citado por Malavolta, 1993).

En el caso del manganeso ocurren tanto la deficiencia como la toxicidad por exceso. Las deficiencias ocurren en suelos de pH alto, superiores a siete, en suelos muy lavados y de alto contenido de materia orgánica. La acidificación fuerte de suelos, resultante de un uso intensivo de nitrógeno puede conducir a niveles excesivos, lo que se corrige con un encalado adecuado. Niveles muy altos de Mn pueden resultar en fuertes reducciones de la cosecha y causar deficiencias de Ca, Mg y Fe.

Otro micronutriente que merece especial atención es el zinc, el cual ha recibido bastante atención en varios países de Centroamérica. Parte del Zn total se encuentra en la materia orgánica formando complejos de alto peso molecular poco disponibles. Se requiere de la mineralización de la materia orgánica para que este Zn sea disponible. La deficiencia de Zn es bastante difundida como resultado del lavado fuerte de muchos suelos especialmente en aquellos con textura gruesa, de pH altos y con un lavado fuerte.

Por tradición el uso de fertilizantes foliares ha sido casi la única forma de corregir los síntomas de deficiencia de este elemento, por lo que se le debería dar mayor énfasis a la posibilidad de suplirlo por vía suelo, con lo cual al igual que el magnesio y el azufre, podría proporcionar una economía de tiempo y dinero. Esto resultaría de mayor importancia en los suelos de textura liviana los cuales ofrecen un mejor potencial de

respuesta. Según Aith (1992) y Malavolta (1993) las aplicaciones excesivas de zinc resultan en la reducción de la cosecha por efecto de su fitotoxicidad.

El hierro es el menos estudiado de los oligoelementos catiónicos debido a que no se ha notado que tenga influencia sobre la producción. Se ha informado de su deficiencia en suelos de pH altos. Al otro extremo, los altos niveles de Mn presentes con frecuencia en pH muy bajos, reducen la absorción de Fe, resultando a veces en deficiencias visibles. La corrección de esta deficiencia es muy difícil ya que si se aplican formas solubles de Fe al suelo, estos se insolubilizan excepto si se usan los quelatos que son generalmente de alto costo. La aplicación foliar, la técnica corriente para los otros oligoelementos catiónicos, puede ser una buena alternativa pero sin embargo, salvo pocas excepciones, no se justifica en virtud de que la naturaleza de la deficiencia es estacional.

## **5 Conclusión**

### **5.1 La generalización del diagnóstico suelo**

La tendencia actual es hacia una caficultura cada día más racional, para lo cual el diagnóstico de las propiedades de los suelos debería ser cada día un mejor instrumento de interpretación de las necesidades nutricionales del cultivo. En este particular se deberían realizar más esfuerzos por efectuar estudios de calibración suelo-planta que permitan aumentar la credibilidad del agricultor por este importante instrumento de diagnóstico, con lo cual la cuantiosa inversión en reactivos y equipos de laboratorio será fácilmente justificada. Por otra parte, es importante incluir este recurso dentro de métodos de diagnóstico más integrales como por ejemplo el DRIS (Diagnosis and Recommendation Integrated System) donde se tome en consideración la múltiple relación de los nutrimentos desde el punto de vista productivo. Sobre este particular Malavolta *et al.* (1989) y Raji (1992) presentan un buen ejemplo de como puede utilizarse esta técnica de una manera rápida y práctica.

### **5.2 Proyectos especiales de investigación**

En los párrafos anteriores se mencionaron algunos de los aspectos más sobresalientes de la nutrición del cafeto; sin embargo, es necesario señalar algunas de las áreas sobre las cuales es importante realizar mayores esfuerzos:

1. Adecuar las necesidades nutricionales de las nuevas variedades e híbridos que ofrecen buenas alternativas a la caficultura de América Central.
2. Realizar estudios tendientes a determinar cuáles son las épocas más apropiadas para efectuar los muestreos foliares con el objeto de que estos puedan utilizarse con éxito en los programas de diagnóstico y fertilización del café.
3. Es necesario conducir estudios que definan con propiedad los requerimientos específicos del café de magnesio y azufre, a efecto de incluirlos sistemáticamente en la fertilización intensiva.
4. Finalmente, el reto mayor en el manejo de la fertilización es la poca eficiencia de los aportes nitrogenados. Las pérdidas de N que ocurren por una fertilización de 300 kg por hectárea y por año se estiman en más de 100 kg. Por consiguiente, conviene realizar estudios de fraccionamiento y estudiar todas las posibilidades de reducción de los aportes de nitrógeno.

## Bibliografía

- Aith, F.J.R. 1992. Crescimento e produção de *Coffea arabica* L. em resposta á nutrição foliar de zinco na presença de cloreto de potássio. (Tesis de maestría). Univ. Federal de Viçosa. 91 p.
- Alfaro, A.R. 1996. Fuentes y dosis de fertilización con magnesio. In Informe Anual de Labores 1995. Departamento de Investigación y Transferencia de Tecnología en Café. ICAFE, Costa Rica. 45-47.
- Bermúdez, M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L.), poró (*Erythrina poeppigiana* (Walper) O. F. Cook) y laurel (*Cordia alliodora* R. & P.) en Turrialba, Costa Rica. Tesis (M. Sc.). Universidad de Costa Rica, Costa Rica. 74 p.
- Bornemisza, E. 1986. Nitrification retardation studies with dicyondiamide in Costa Rican soils and crops. Transaction, 13th Congr. Internl. Soc. Soil Sci 3:688-689.
- Capriel, P. 1997. Hydrophobicity of organic matter in arable soils: influence of management. European Journal of Soil Science. 48(3): 457.
- Carvajal, J.F. 1984. Café, cultivo y fertilización. 2ª ed. Inst. Internacional de la Potasa, Berna. 254 p.
- \_\_\_\_\_; Acevedo, A.; López, C.A. 1969. Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle. Turrialba 19: 13-20.
- Corella, J.F.; López, C. 1984. Respuesta del café (*Coffea arabica* cv *Caturra*) a dosis crecientes de magnesio en un suelo de Grecia, Alajuela. Agronomía Costarricense 8(2): 119-127.
- Coste, R. 1969. El café. Editorial Blume. 255 p.

- D'Ambrosio, A.; Cabalceta, G.; Bornemisza, E. 1993. Acumulación y concentración de cobre en plantaciones de café bajo dos niveles tecnológicos en Andisoles e Inceptisoles. In 9º Congr. Nac. Colegio de Ing. Agr. Vol. 2, 231.
- De Castro, F.S.; Rodríguez, A. 1955. Nutrient losses by erosion as affected by different plant covers and soil conservation practices. National Coffee Growers Association of Colombia, Technical Bulletin, 2: 1-24.
- FAO-UNESCO. 1976. Mapa Mundial de Suelos a 1:5000 000, Volumen III, México y América Central,, 1. mapa de unidades de suelos, de fuentes de información, leyenda de las unidades. 104 p.
- Fassbender, H.W.; Bornemisza, E. 1987. Química de suelos. IICA, Costa Rica.
- Forestier, J. 1969. Culture du caféier Robusta en Afrique Centrale. Institut Français du café et du Cacao et autres plantes stimulantes. 105 p.
- Franco, C.M. 1965. Fisiologia do cafeiro. In Krug, C.A. *et al.* Cultura e adubação do cafeiro. Inst. Brasileira do Potasio. São Paulo, Brasil. p. 63-80.
- Freitas L., M.M.; Pimentel Gómez, F.; Lott, W.L. 1972. Effect of sulphur fertilizers on coffee. Sulphur Inst. J. 8: 9-12.
- Gutiérrez D., M.A. 1987. Determinación del índice de erosividad de las lluvias y su relación con la cobertura vegetal, suelos y pendientes, para la cuenca del río Grande de Térraba, Costa Rica. Tesis (Mag.Sc.). CATIE, Turrialba, Costa Rica; UCR, San José, Costa Rica. 127 p.
- Krug, C.A. *et al.* 1965. Cultura e adubação do cafeiro. 2ª ed. Inst. Brasileiro de Potasa. 277 p.
- Küpper, A. 1983. Factores climáticos e edáficos na cultura cafeira. In Malavolta, E., Yamada T. E Guidolin (eds) Nutrição e Adubação do Cafeiro. Inst. do Potassa e Fosfato, Inst. Int. do Potasa.
- López, M. 1969. Problemas de fertilización de suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas en América Latina. IICA-FAO, Turrialba, Costa Rica.
- Malavolta, E. 1993. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro, colheitas economicas maximas. Editora Agronomica Ceres Ltda. 210 p.
- \_\_\_\_\_.; Yamada T., Guidolin J. A., 1983. Nutrição e Adubação do cafeeiro. Inst. da Potassa e Fosfato, Inst. Internacional do Potasa. 226 p.
- Malavolta E., Vitti G.C., Oliveira S.A., 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: Principios e aplicações. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba-SP. 195 p.
- Martínez, G.; Bornemisza, E.; Kass, D.C.L. 1987. El nitrógeno en un sistema maíz-ayote en un *Typic Dystropept* de Turrialba. I. Comportamiento en el suelo. Turrialba 37: 331-335.
- Pacheco, R.; González, M.A.; Briceño, J.A. 1986. Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en la lixiviación de nitrato, potasio, calcio y magnesio en un Andept de Costa Rica. Agr. Costarricense 10(1/2): 129-138.

- Paván, M.A.; Cháves, J.C.D.; Siqueira, R.; Andriocilli, F.A.; Roth, C.H. 1993. Densidad populacional de cafeeiros influenciando a fertilidade do solo. In Resúmenes XVI Simposio de Caficultura Latinoamericana. CONCAFE/IICA/PROMECAFE. 12 p.
- Ramírez, R.J. 1996. Fuentes y dosis de fertilización con magnesio. In Informe Anual de Labores 1995. Departamento de Investigación y Transferencia de Tecnología en Café. ICAFE. Costa Rica. p. 41-43.
- Reynolds-Vargas, J.S.; Richter, D.D.; Bornemisza, E. 1994. Environmental impacts of nitrification and nitrate adsorption in fertilized Andisols in the Valle Central of Costa Rica. *Soil Sci.* 157: 289-299.
- Ripperton, J.E.; Goto, Y.B.; Pahan, R.K. 1935. Coffee cultural practices in the Kona district of Hawaii. *Bulletin of Hawaii Agriculture Experiment Station*, N° 75, 18-25.
- Sáiz del Río, J.F.; Fernández, C.S.; Bellavita, O. 1961. Distribution of Absorbing Capacity of Coffee roots determined by radioactive tracers. *Amer. Soc. for Hort. Sci.* 77: 240-244.
- Segura, M.A. 1989. Efeito da pulverizacao com Uréia, Cloreto de potássio e Sacarose sobre a Transpiracao, Potencial Hídrico e Nitrogenio, Potassio e Acucares nas folhas de Mudras de Coffea arabica L. Submetidas a Défice de Agua, Univ. Fed. Viçosa, 38 p. (Tesis de maestría).
- \_\_\_\_\_. 1990. Nutrición mineral del cafeto. In Cuarenta años de investigación y transferencia de tecnología en café. Programa Cooperativo Instituto del Café de Costa Rica-Ministerio de Agricultura y Ganadería. p. 39-58.
- \_\_\_\_\_. 1992. Extracción de nutrientes por los frutos del café durante su desarrollo. In Informe anual de labores Convenio ICAFE-MAG. Costa Rica. p. 25-27.
- Torres Arias, J.; Cruz Bonilla, J.A. 1988. Suelos cafetaleros de El Salvador. In Curso regional sobre nutrición mineral del café. IICA-PROMECAFE. p. 199-206. Universidad Rafael Landívar; Institute of Environmental Sciences and Agricultural Technology. 1984. Environmental profile of Guatemala: executive summary. AID-Guatemala/ROCAP Contract No. 596-0000-C-00-3060-00. Guatemala. 21 p.
- Uribe-Henao, A. 1983. Efecto del fósforo en la producción del café. *CENICAFE* 34(1): 3-15.

## *Anexo*

### *Criterios Taxonómicos Resumidos (Sistema FAO-UNESCO)*

#### *a) Acrisol*

Suelo de acumulación de arcillas aluviales en el horizonte B arcilloso, de fuerte saturación del complejo absorbente con una CIC inferior a 24 cmol. (+).kg<sup>-1</sup> de arcilla, de arcilla poco o no activa y con saturación en bases inferior a 50%.

*En América Central son húmicos cuando tienen un horizonte A mólico de 20 cm con un grado de saturación (S/T) > 50%, o un horizonte A úmbrico de S/T < 50% o finalmente un horizonte B plíntico (horizonte manchado) que puede endurecerse por simple disecación a menos de 125 cm. O finalmente, son órticos o háplicos cuando no poseen ninguna otra característica que no sean las que definen las Unidades Mayores.*

#### *b) Andosol*

Suelo friable que contiene menos de 25% de carbono orgánico y que tiene propiedades ándicas en menos de 35 cm desde la superficie. Estas propiedades ándicas resultan de dos procesos de alteración: una hidrólisis bio geoquímica de los vidrios volcánicos (sobre todo las cenizas) y una ácido complexólisis de los materiales aluminicos que producen complejos (Humus-Al-Fe) extremadamente estables. La fracción coloidal está dominada por productos minerales amorfos: geles de hidróxidos (Al, Fe, Mn) y productos para cristalinos (alofanas, imogolitas, hisingeritas) asociadas a los ácidos húmicos. Los criterios alofánicos, en cuanto a ellos, son verificados:

- por una serie de pruebas sobre los contenidos absolutos y relativos y las facilidades de extracción del sílice, del aluminio y del hierro según la granulometría total,
- por la variación de la CIC y la capacidad de intercambio aniónico (CIA) según el pH de la solución de extracción,
- por la retención del fósforo.

*Presentan estructura micro agregada, son muy porosos y muy friables. Es áspero al tacto. La densidad aparente es muy inferior a  $0,9 \text{ g.cm}^{-3}$  en un suelo drenado. Las diferentes taxonomías están, de una vez por todas, de acuerdo para utilizar los criterios genéticos. Se tienen tres unidades mayores: los Vitrosolos poco evolucionados no ándicos, no alofánicos; los Sil andosoles ándicos y alofánicos en más de 40 cm y los Alu andosoles muy evolucionados aluminicos, ándicos pero no alofánicos en al menos 40 cm. Otras subdivisiones dan cuenta de la saturación del complejo de intercambio, del contenido de materia orgánica y de las características hídricas particulares.*

### **c) Cambisol**

Suelo blando joven o rejuvenecido, posee un horizonte B cámbico de al menos 15 cm de espesor, este horizonte contiene todavía rastros de alteración (es el B/C o el B3 de la antigua nomenclatura de los horizontes). Textura limo arenosa pero con menos de 6% de arcilla. Tinturas no homogéneas atribuibles a los vestigios de alteritas y no a procesos de hidromorfia. Está coronado por un horizonte A, ya sea ócrico de bajo contenido de materia orgánica (claro), o mólico (oscuro, saturado de bases) o úmbrico (oscuro, pero saturado de bases):

*En calizas son éutricos en condiciones húmedas, cálcicos en condiciones secas, sobre rocas ácidas son dystricos en condiciones húmedas, crómicos en las tobas volcánicas básicas.*

### **d) Ferralsol**

Suelo muy evolucionado, de ahí que es muy antiguo, posee un horizonte ferráltico con: al menos 8% de arcilla, un espesor de al menos 30 cm, una CIC  $< 16 \text{ cmol (+).kg}^{-1}$  de arcilla, contiene menos de 10% de minerales alterables en su fracción arenosa fina, una relación limos finos / arcillas  $< 0,2$ . Las subdivisiones toman en cuenta el color y por ello la liberación más o menos fuerte de óxidos de hierro, el contenido en materia orgánica, y la dureza.

*Son suelos "anecdóticos" en América Central (frontera panameño colombiana) donde no existen del todo o ya no hay viejas superficies que hayan podido acogerlos. Son equivalentes a los suelos ferrálticos de la clasificación morfogenética CPCS francesa.*

### e) *Gleysol*

Suelo blando de texturas variadas (i) de propiedades gléyicas que reagrupan toda una serie de normas concernientes a la dinámica de confinamiento hídrico del medio y de características que hacen repercutir las consecuencias de estas situaciones, en los medios minerales y orgánicos (decoloración, manchas, oxido reducción de Fe, de Mn, (ii) de propiedades flúvicas, de textura áspera por la llegada regular de sedimentos que hacen difícil la adquisición de todas las otras diferenciaciones pedológicas.

*Subdivisiones que se dan sobre la naturaleza del horizonte húmico, la saturación en bases, y las dinámicas respectivas del calcio y del azufre. Corresponden a los suelos hidromorfos minerales de gley (fase reductora dominante) o pseudo gleys (posibles reoxidaciones estacionales), por el contrario, suelos hidromorfos orgánicos turbosos de la CPCS francesa son los HISTOSOLES de la FAO-UNESCO.*

### f) *Luvisol*

Suelo blando de acumulación de arcillas aluviales en un horizonte B arcilloso que presenta una acumulación de arcilla con respecto al horizonte A (+ 3 a + 8%), pero no hay horizonte eluviado E, revestimientos arcillosos sobre conglomerados, fisuras; sin embargo la CIC de las arcillas > 24 cmol.(+).kg<sup>-1</sup>, y el grado de saturación en bases (S/T) > 50% .

*Estos suelos lavados en coloides arcillosos pero poco lixiviados en bases, tienen un complejo de intercambio poco insaturado, se les distingue dependiendo de las características secundarias que son : (i) una liberación de óxidos de hierro que dan una coloración marrón vivo a rojo (L. crómicos incluso L. férrico); (ii) una ligera hidromorfia en algún nivel entre 0 y 100 cm (L. gléyico); (iii) el desarrollo de características vérticas (L. vérticos).*

### g) *Nitisol*

Suelo blando igualmente caracterizado por una acumulación de arcilla en un horizonte B árgico, pero contrariamente a los Luvisoles y a los Acrisoles, esta acumulación es progresiva. Las propiedades níticas están ligadas a una estructura fragmentaria bien desarrollada entre la superficie y 125 cm, caras de conglomerados lustrosas que no son recubrimientos de arcillas aluviales sino más bien figuras de presión. Contienen hierro que se puede extraer fácilmente por complexometría y menos de 30% de arcilla no activa con una CIC < 24 cmol(+).kg<sup>-1</sup> arcilla.

*En América Central son dystricos en rocas ácidas cuya alteración produce mucha arcilla; son a menudo los esquistos del complejo de base, o son éutricos en las rocas básicas.*

### ***h) Planosol***

Suelo de horizonte D álbico claro, limoso a arenoso, eluviado en arcilla y que puede presentar características de hidromorfia (jaspeados, manchas, concreciones de sesquióxidos), este horizonte E álbico reposa con una transición brutal, a menos de 125 cm, sobre un horizonte poco permeable arcilloso BT a veces muy coherente (duripan) o nátrico.

*Son suelos lavados de horizonte eluviado blanco, esto lo opone a los Luvisoles con contenidos de arcilla que son al menos el doble en el horizonte arcilloso que en el horizonte eluviado álbico. Este arrastre y acumulación de arcillas pueden ser simplemente "mecánicos", pero también puede tratarse del resultado de un proceso químico de dispersión de las arcillas en un horizonte alcalinizado, seguido de una acumulación en la profundidad (horizonte nátrico); el proceso de podsolización no puede por el contrario ser asimilado a una planosolización.*

### ***i) Vertisol***

Suelo blando que contiene más de 30% de arcilla en al menos 50 cm, anchas grietas desde la superficie que tienen todavía 1 cm de ancho hacia + 50 cm, superficies de deslizamiento estriadas (slickenside), conglomerados cúbicos o esfenooidales al menos entre -20 y -50 cm.

*Son suelos de arcillas saturadas formadas por acumulación absoluta de sílice en un medio neutro a básico, condición que se realiza en las depresiones de las rocas eruptivas o sedimentarias básicas que se alteran suficientemente para liberar este sílice (clima tropical semi húmedo). Son pélicas (oscura con altos grados de MO) o crómicas (marrón vivo, menos húmicas, con una discreta liberación de hierro).*



# DESAFIOS DE LA CAFICULTURA EN CENTROAMERICA



**Editores: Benoît Bertrand  
Bruno Rapidel**

© Centro de Cooperación Internacional de Investigación Agrícola para el Desarrollo (CIRAD) de Francia.  
Mayo, 1999.

Derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin autorización escrita del CIRAD y el IICA.

Las ideas y los planteamientos contenidos en los artículos firmados son propios de los autores y no representan necesariamente el criterio del CIRAD y el IICA.

Benoît Bertrand y Bruno Rapidel fueron responsables de la edición y la corrección estilística y bibliográfica de este documento. La Editorial Agroamérica, por medio de la Unidad de Edición y Traducción, fue responsable de la coordinación del proceso de producción y de la revisión de galeras y artes finales, y por medio de la Unidad de Diseño, Diagramado, Impresión y Encuadernación, del diseño de portada, diagramación, montaje, confección de artes, fotomecánica, impresión y encuadernación.

Fotografía de portada: Reinhold Muschler, GTZ.

Desafíos de la caficultura en Centroamérica / ed. por Benoît Bertrand y Bruno Rapidel. — San José, C.R. : IICA. PROMECAFE : CIRAD : IRD : CCCR.FRANCIA, 1999.  
x, 496 p. ; 23 cm.

ISBN 92-9039-391-2

1. Café-América Central. 2. Sostenibilidad. I. Bertrand, B. ed. II. Rapidel, B., ed. III. IICA.PROMECAFE. IV. CIRAD. V. IRD. VI. CCCR.FRANCIA. VII. Título.

AGRIS  
F01

DEWEY  
633.73

ISBN 92-9039-391 2

Mayo, 1999  
San José, Costa Rica

