

Citar como:

Ataroff, M., Monasterio, M. 1993. Estudio comparativo de los cafetales de sol y sombra en Los Andes venezolanos: balance hídrico y erosión durante un ciclo anual. Capítulo 6. En: M. Rabey (Ed): El Uso de Recursos Naturales en las Montañas: Tradición y Transformación. UNESCO/MAB, Montevideo, pp. 79-100.

DE SOL Y SOMBRA EN LOS ANDES VENEZOLANOS:

BALANCE HÍDRICO Y EROSIÓN DURANTE UN CICLO ANUAL

MICHELE ATAROFF

Doctora en Ecología Tropical (1990), Universidad de los Andes (Mérida, Venezuela). Trabajó entre 1975 y 1983 sobre aspectos ecológicos de las sabanas venezolanas. Desde 1984 orienta sus investigaciones hacia problemas ecológicos de agroecosistemas andinos, con especial interés en los últimos años por los balances hídricos y de nutrientes, así como por los procesos erosivos. Dirección: Centro de Investigaciones Ecológicas de los Andes Tropicales (CIELAT), Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida 5101, Venezuela

MAXIMINA MONASTERIO

Se inició como ecóloga en el Chaco argentino con Jorge Morello y posteriormente en las Sabanas de Venezuela junto a Guillermo Sarmiento. En 1970 orienta su investigación hacia los Páramos andinos. A partir de 1980 concentra su trabajo hacia aspectos de ecología agraria en los Andes, analizando las estrategias de manejo de los agrosistemas campesinos. Doctorado de Estado en Ciencias (Ecología), Universidad Pierre et Marie Curie, París VI (1986). Directora del CIELAT (1987-1990). Coordinadora del Programa de Montañas Tropicales de la Unión Biológica Internacional (TME-IUBS/MAB-UNESCO) desde 1984. Dirección: Centro de Investigaciones Ecológicas de los Andes Tropicales (CIELAT). Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida 5101, Venezuela.

Agradecimientos

Este trabajo ha recibido apoyo financiero de CONICIT (S1-1970), CONICIT REGIONAL LOS ANDES (CRA-001-87), CDCHT-ULA (C-324-87), Consejo de Estudios de Postgrado ULA. Estamos agradecidas a la familia Mora por permitirnos trabajar en su finca, al personal técnico del CIELAT, Luis Nieto, David Dugarte y en especial Hely Saúl Rangel. Agradecemos igualmente al Dr. Guillermo Sarmiento por sus discusiones fructíferas, a los Drs. Marcela y José Luis Burguera por su colaboración en los análisis químicos, a Luis González y Luis Redaud por su gran ayuda en el trabajo y a César Zambrano por su importante apoyo en Canaguá.

Este trabajo forma parte del Programa Tropical Mountain Ecosystems, IUBS/MAB-UNESCO.

Hacia mediados del siglo XIX un nuevo ciclo económico se inicia en los Andes de Venezuela basado en el auge del café, una especie de reciente introducción. Este cultivo se ha mantenido como uno de los más importantes y representativos de esta región.

En la forma tradicional del cultivo los arbustos del café crecen a la sombra de árboles altos, bajo el dosel clareado de la Selva Estacional Montana. Como árboles de sombra se utilizan también diversos frutales lo que diversifica el sistema de cultivo. La sobreposición de árboles y arbustos determina una alta cobertura de vegetación y de hojarasca en el suelo. Este agroecosistema no requiere de insumos externos ya que se automantiene en forma semejante a la Selva Montana original. Durante los últimos 15 años, la política nacional para incrementar la producción de café promovió el reemplazo de la variedad tradicional *Coffea arabica var. arabica* por *C. arabica var. bourbon*, de mayor productividad pero de menor calidad. El café bourbon crece a pleno sol dejando una alta proporción de suelo desnudo y requiere fertilizantes químicos.

En este trabajo analizamos algunas consecuencias ecológicas que pueden derivarse a partir de esta tecnología agrícola recientemente adoptada. En particular analizamos los procesos ecológicos claves como son la erosión del suelo y los balances, hídrico y de nutrientes, de este agroecosistema. Nuestros resultados preliminares, a lo largo de un ciclo anual, indican mayores pérdidas de suelo (de la fracción mineral fina) en el cafetal de sol. Esto puede ser de gran impacto para los suelos poco profundos sobre las pendientes tan pronunciadas donde se cultiva el café. En comparación con el límite de la erosión compensable (0.75 t/ha.año) las pérdidas del sistema cafetalero de sombra están en ese mismo orden, mientras que en el sistema de sol las pérdidas duplican esta cantidad (1.58 t/ha.año). Ello fue medido en dos parcelas adyacentes que tenían iguales condiciones de pendiente, material parental y características del suelo, pero cultivadas con los dos sistemas de manejo.

Otros factores no mostraron diferencias tan significativas entre las dos parcelas. Sin embargo, los flujos estacionales del agua indican que el cultivo con sombra retiene más agua durante la estación seca y menos durante la húmeda que el cultivo con sol.

Las pérdidas por escorrentía de los nutrientes en solución fueron muy bajas en ambos agroecosistemas mientras que la hojarasca se descompone más rápidamente en el cafetal de sol. Estos resultados preliminares sugieren cuáles pueden ser las principales tendencias sobre los balances de agua y minerales pero se necesitan más datos de campo para reforzar nuestras conclusiones.

Towards the middle of XIX Century a new economic cycle started in the Venezuelan Andes based on coffee, a recently introduced crop species. Afterwards coffee remained as one of the most important and extended crops in this region.

Traditionally, the coffee bush was grown at the shade of taller trees, under a somewhat cleared forest canopy of the Montane Rain Forest. Various fruit trees may also be used for shade thus increasing the diversification of the crop system. The overlapping of trees and bushes leads to a high vegetation and litter cover. This agroecosystem does not require any extra input since it maintain itself in a similar way as the original Montane Forest does. During the last 15 years, a national policy for increasing coffee production promoted the replacement of the traditional variety *Coffea arabica var. arabica* by *C. arabica var. bourbon*, of higher production but lower quality. Bourbon coffee is grown at full sunlight, it leaves a high proportion of bare ground and requires chemical inputs.

In this paper we analyze some ecological consequences derived from this recently adopted agricultural technology, particularly in what concerns soil erosion and the agroecosystem's water and nutrient budgets. Our preliminary results, involving an annual cycle, indicate greater soil losses in the form of fine particles in the sunlight coffee. This may represent heavy impact on the shallow soils of these steep slopes. In comparison with the limit of compensatory soil erosion (0.75 t/ha.year) the losses of the shaded system are in this order, while the sunlight system losted about twice this quantity (1.58 t/ha.year). This in two neighbouring field plots with similar slope, parent material and soil characteristics.

Other factors were not so different between the two plots. However, the seasonal water fluxes indicate that the shaded crop retains more water during the dry season and less during the wet season than the other system.

Runoff losses of mineral elements in solution were quite low in both agroecosystems while leaf litter decomposed more rapidly under full sunlight. These preliminary results just suggest the possible major trends concerning water and minerals but further field data are needed in order to support our conclusions.

INTRODUCCION

Los agroecosistemas, al igual que los ecosistemas naturales, requieren de un equilibrio global para garantizar su mantenimiento en el tiempo, el cual tiene aspectos tanto socioeconómicos como ecológicos. Estos últimos dependen de las relaciones entre las entradas y salidas de materiales y energía, de las relaciones entre los elementos bióticos del sistema, así como la magnitud de las perturbaciones físicas y químicas y su capacidad de ser revertidas o reemplazadas eficazmente.

Muchas de las formas tradicionales de cultivo son aparentemente estables. Los cambios que se producen a raíz de la implantación de paquetes tecnológicos nuevos, sean importados o propios, afectan sin duda al "equilibrio" preexistente y cabe preguntarse en qué condiciones podría generarse uno nuevo.

El café cultivado bajo sombra siempre ha sido considerado como un ejemplo de utilización "racional" del ambiente (Haarer 1984, Coste 1969, Jiménez Avila y Gómez-Pompa 1982, Vishveswara y Jacob 1983, Hoffmann *et al.* 1987). En general se piensa que el mantener parte de las especies del dosel de la selva original permite a su vez conservar algunas de sus características, como un grueso mantillo, humedad relativa más alta, temperaturas más estables, suelo poco erosionado, además de permitir una diversificación de productos intercalando distintos frutales entre los árboles de sombra. El cambio hacia cultivos sin coberturas de árboles implica la pérdida de esas características y sus consecuencias a largo plazo no son bien conocidas.

EL CAFE EN VENEZUELA

El café ha sido para Venezuela uno de sus más importantes rubros agrícolas, desde que hizo su aparición en este país como plantaciones con fines comerciales, a fines del siglo XVIII. En 1796 se ubicó en cuarto lugar entre los productos exportados, después del cacao, añil y algodón, alcanzando el primer lugar en 1830, puesto que conservó hasta 1910 (Adriani 1984). Durante ese auge, el café no sólo fue el principal soporte de la economía nacional sino que revitalizó la actividad agraria de la región andina transformándola en un centro económico. Según Suarez (1982), esto fue consecuencia de dos hechos: en primer lugar, Los Andes fueron tierra de refugio para los inmigrantes de las grandes llanuras centrales -Los Llanos- que huían de las continuas y devastadoras guerras federales, los cuales encontraron en estas

montañas un ambiente de seguridad para instalarse y las condiciones propicias para el cultivo del café; en segundo lugar, al mismo tiempo este producto aumentó su cotización en el mercado mundial. No es casual que los pueblos cafetaleros de Los Andes del Estado Mérida colindantes con Los Llanos hayan sido en su mayoría fundados a finales del siglo pasado: Canaguá, Chacantá, Mucuchachí, Guaraque, Aricagua, entre otros.

El café ya no tiene ese puesto preponderante en la economía nacional, la cual está dominada por las actividades petroleras y mineras, pero sigue siendo muy importante en especial para los Estados andinos que son fundamentalmente agrícolas.

La forma tradicional del cultivo es la llamada café de sombra (Fig. 1), que se realiza con la variedad *Coffea arabica* var. *arabica*, que fue la primera introducida en América y quizás la primera en el mundo. Esta variedad requiere de poca incidencia de luz directa y por lo tanto debe cultivarse en ambientes sombreados, excepto en las áreas muy nubladas. Para ello se siembran en el cafetal árboles de la selva original los cuales forman un dosel laxo que conserva parte de la fisonomía de la selva. Como árboles para dar sombra también pueden utilizarse frutales como cítricos, aguacates, musáceas, etc., que aumentan la diversidad de los productos. La sobreposición de arbustos y árboles determina una alta cobertura del suelo y la existencia de una gruesa capa de hojarasca. En principio no requiere de insumos para su mantenimiento, aunque el uso de fertilizantes aumenta su productividad.

Desde 1975 el gobierno nacional ha promovido el reemplazo de la variedad tradicional por *Coffea arabica* var. *bourbon* con sus derivados (*caturra*, *catuai*, *mundo nuevo*). Esta variedad popularizada por Brasil (aunque es originaria de la Isla Reunión) requiere estar a pleno sol para su desarrollo, de modo que los cafetos se siembran aislados dejando suelo desnudo entre ellos (Fig. 1). En este caso, es indispensable el uso de fertilizantes para alcanzar los niveles de producción comercializable.

OBJETIVO DEL TRABAJO

Esta política nacional obedece sin duda a un deseo de aumentar la producción de este rubro, pues la variedad *bourbon* es tres veces más productiva. Pero esta campaña parece haber pasado por alto dos cuestiones: (a) la mayor calidad aromática de la variedad *arabica* y (b) las consecuencias de la implantación de un nuevo paquete tecnológico. Con

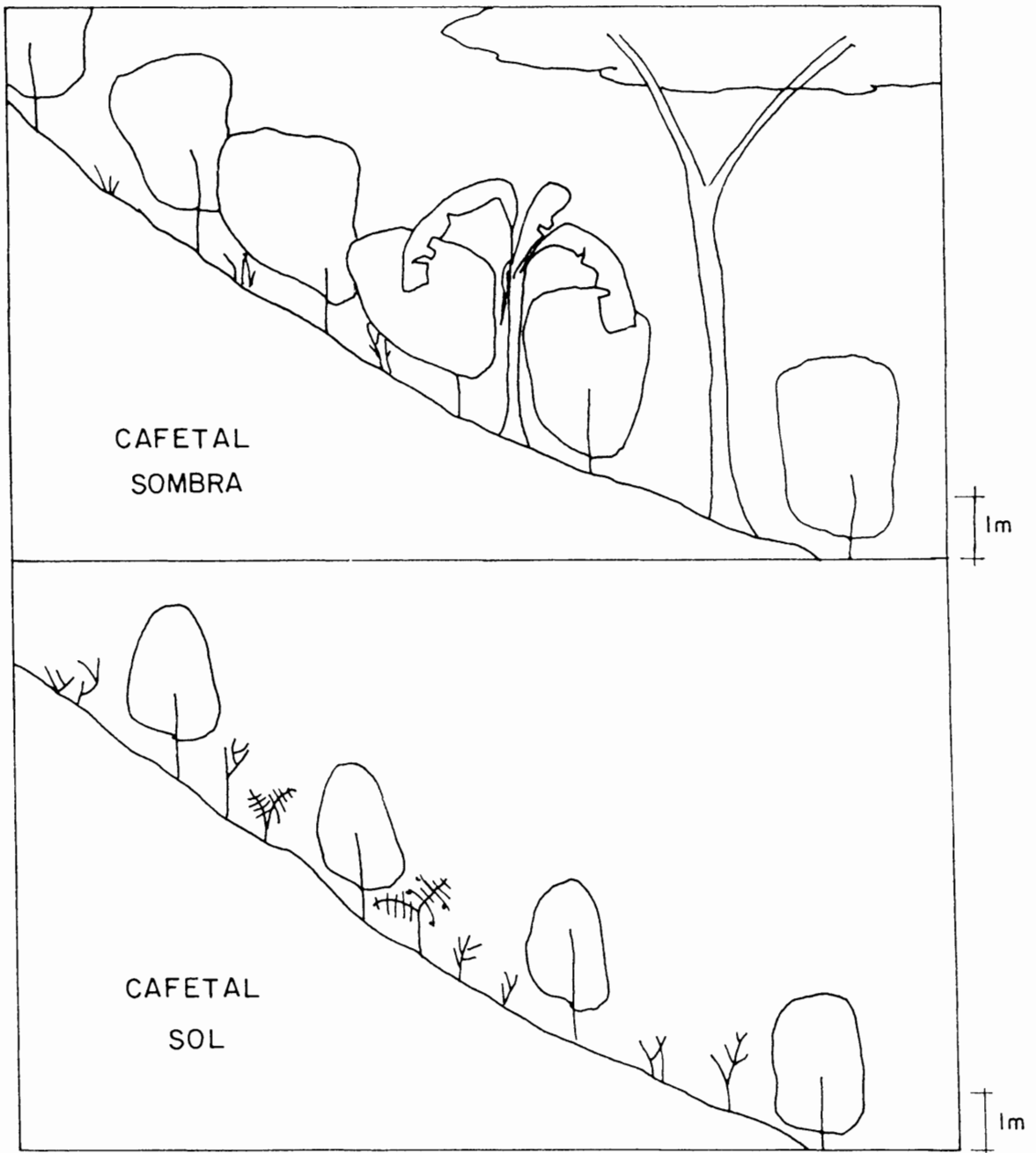


Figura 1

Estructura y fisonomía de los cafetales de sol y sombra

respecto a lo primero, el mercado interno al cual está sujeto el caficultor no hace diferencia de precio entre las variedades, lo cual favorece la variedad *bourbon*. Como los granos de café son mezclados, el producto final será progresivamente menos aromático, en la medida en que la variedad *arabica* disminuya.

En cuanto a la segunda cuestión mencionada, no se ha hecho un análisis del efecto sobre las áreas donde se va a operar el cambio. Los Andes venezolanos tienen muy pocos terrenos planos que corresponden

a terrazas de poca superficie, en general dedicada a cultivos anuales, mientras el café se cultiva sobre las laderas que habitualmente tienen fuertes pendientes, con suelo poco profundo. Estas condiciones de sustrato, unidas a las precipitaciones importantes en las zonas cafetaleras hacen que el sistema sea potencialmente frágil.

El proceso de cambio está en sus inicios y muchos cafetales de sombra se mantendrán aún por mucho tiempo, de modo que el momento es propicio

para estudiar las principales consecuencias ecológicas del cambio y darlas a conocer. Con este objetivo, iniciamos un proyecto de mediano plazo con cuatro líneas de estudio que presentan los cuatro aspectos que parecen más afectados: balance hídrico, dinámica de la hojarasca, balance de nutrientes y procesos erosivos.

- (1) **Balance hídrico.** Los cambios en estructura y cobertura de la vegetación modifican los flujos de agua dentro del sistema, tanto en su magnitud como en su distribución sobre la superficie del suelo y dentro de él. El reemplazo de un cafetal de sombra por uno de sol puede tener ese efecto puesto que implica diferencias en estructura y cobertura.
- (2) **Dinámica de la hojarasca.** La hojarasca actúa como una interfase entre la parte aérea y la subterránea del sistema, jugando un papel muy importante en el balance hídrico y el de nutrientes. Los dos cafetales tienen tasas de acumulación y pérdida que deben ser analizados para interpretar los balances mencionados.
- (3) **Balance de nutrientes.** Una pérdida acentuada de nutrientes lleva a un empobrecimiento del sistema que es necesario evaluar. Los cambios de vegetación entre los dos cafetales pueden generar tasas de movimiento de nutrientes muy distintas.
- (4) **Procesos erosivos.** Cualquier cambio que conlleve un incremento en la ruptura de los agregados del horizonte superficial y su acarreo fuera del sistema puede aumentar considerablemente la erosión. Ese cambio puede esperarse con la implantación de cafetales de sol por su menor cobertura y mayor actividad agrícola.

Hacer un análisis de estos problemas implica varios años de trabajo, de modo que tener resultados completos aún tomará algún tiempo (Hurni 1983, Roose 1981). Sin embargo, el primer ciclo anual permite hacer una discusión preliminar sobre esos aspectos presentando los resultados sobre el balance hídrico y la erosión.

METODOLOGIA

Area de estudio

El trabajo se desarrolla en Canaguá, una de las principales zonas cafetaleras del Estado de Mérida

(Fig. 2). Las parcelas bajo estudio se encuentran en dos cafetales, uno de sol y otro de sombra, que son contiguos y tienen la misma pendiente (31°). Estas parcelas se encuentran a 1730 m de altitud, con un sustrato compuesto fundamentalmente por esquistos y areniscas ligeramente metamorfozadas (Formación Mucuchachí), sobre las que se ha desarrollado un suelo humitropep francoesquelético en el cual sólo los primeros 30 cm parecen penetrables por las raíces de los cafetos. El área tiene anualmente en promedio 1600 mm de precipitación y 18°C de temperatura y corresponde al límite de la Selva Estacional Montaña (Sarmiento *et al.* 1971).

Muestreo en el terreno

A principios de 1988, se instaló una serie de dispositivos que generan información sobre los flujos de agua en el sistema, los movimientos de hojarasca y las pérdidas de fracción mineral: (a) pluviómetros (20 en el cafetal de sol y 30 en el de sombra) para medición de precipitación total y efectiva; (b) colectores de escurrimiento de tronco (3 en cafetos de sol, 4 en cafetos de sombra, y 2 en *Inga oerstediana*); (c) una parcela de erosión de 6x2 m en cada cafetal, en las cuales se mide drenaje superficial y arrastre de materiales; (d) una parcela de drenaje oblicuo de 6x2 m en cada cafetal, que recoge el agua que drena en el sentido de la pendiente entre los -10 y -40 cm del suelo; y (e) 10 colectores de hojarasca de 33 cm de diámetro a 20 cm del suelo en cada cafetal. Se instaló además un pluviógrafo de registro continuo y dos termohidrógrafos, uno en cada cafetal.

La toma de datos en el campo se ha hecho aproximadamente cada 10 días en la época lluviosa y 20 días en la seca. Durante todo el muestreo ninguna actividad agrícola fue interrumpida o modificada. Los datos presentados en este trabajo corresponden al lapso agosto 1988 - julio 1989.

Análisis de la información

Además de las medidas de los flujos de agua, fracción mineral removida, montos de la hojarasca caída y la arrastrada por el proceso erosivo, se tomaron muestras en cada salida para análisis de laboratorio.

Las muestras de agua y de hojarasca son analizadas químicamente. Los resultados de contenido de cationes presentados aquí se obtuvieron por el método de absorción atómica con llama aire-acetileno.

Se ha calculado el contenido de agua en el suelo analizando muestras de tres profundidades en 6

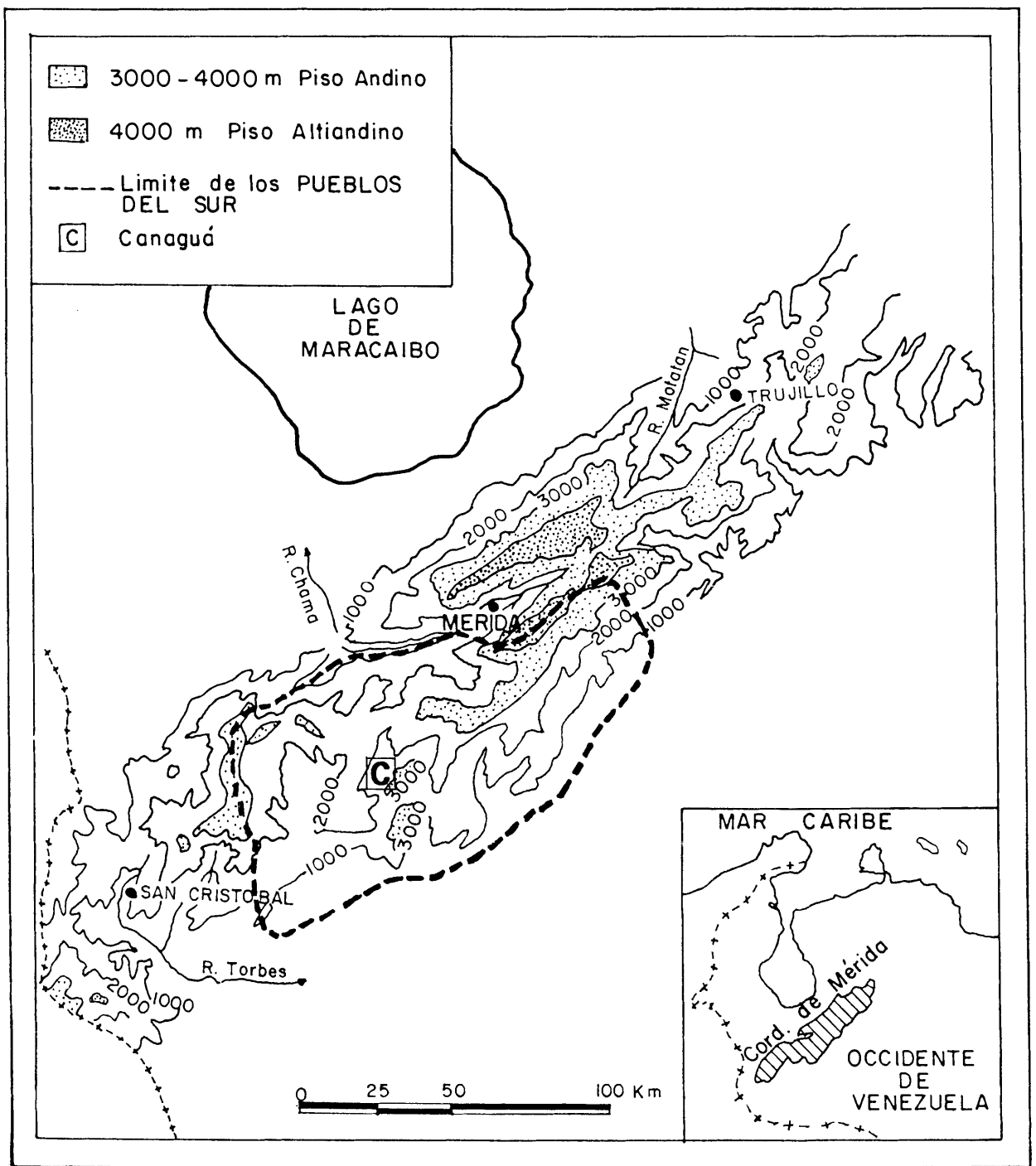


Figura 2

Ubicación del área de trabajo

perfiles por el método gravimétrico y convirtiendo las unidades a su equivalente en $1/m^2$ superficiales por los resultados de un análisis de densidad aparente.

La erosividad de las lluvias se calculó por el índice EI_{30} (Wischmeier y Smith 1960).

Para el cálculo de evapotranspiración hemos utilizado dos fórmulas empíricas: la de Thornthwaite & Matter (1957) y la de García y López (1970). La evapotranspiración real (ETR) la hemos considerado equivalente a la potencial (ETP) durante la época lluviosa y en los momentos de la época seca en que el balance de agua en el suelo fue positivo; para el resto

de la época seca la ETR se consideró equivalente al agua infiltrada menos la retenida en el suelo y la drenada oblicuamente.

Por definición, ambas fórmulas estiman la evapotranspiración potencial general del área. Sin embargo, dado que nuestro interés es poder diferenciar esa pérdida de agua en los dos cafetales, la fórmula de García y López la hemos utilizado con datos de temperatura y humedad relativa tomados dentro del cafetal con un termohigrógrafo en cada parcela ubicado a nivel de los cafetos, a fin de aproximar una evaluación del subsistema "cafetos" en cada cafetal.

RESULTADOS Y DISCUSION

Balance hídrico

La forma como el agua es distribuida en un sistema es de suma importancia para interpretar los aspectos claves del funcionamiento de dicho sistema. En esencia toda el agua que entra debe salir -salvo una pequeña fracción que se almacena-, pero las características del agroecosistema y su posibilidad de mantenerse serán muy distintas dependiendo de los caminos que el agua siga y de la cantidad que circula en cada uno de ellos.

El movimiento general del agua a través del sistema cafetalero (Fig. 3) puede expresarse como:

$$PT = PEp + ESt + I = DS + DO + AS + DP + ETR$$

donde

PT:	precipitación total;
PEp:	precipitación efectiva parcial (goteo y caída libre);
ESt:	escurrimiento por los troncos;
I:	intercepción;
DS:	drenaje superficial;
DO:	drenaje oblicuo;
AS:	almacenamiento en el suelo;
DP:	drenaje profundo;
ETR:	evapotranspiración real.

El estudio del balance hídrico del sistema debe comprender el análisis de cada uno de estos compartimientos. Hasta el momento, hemos medido PT, PEp, ESt, DS, y DO y hemos calculado el resto.

La precipitación total muestra que la lluvia, única fuente de agua, tiene un régimen biestacional, con dos períodos -seco y lluvioso- bien definidos (Fig.

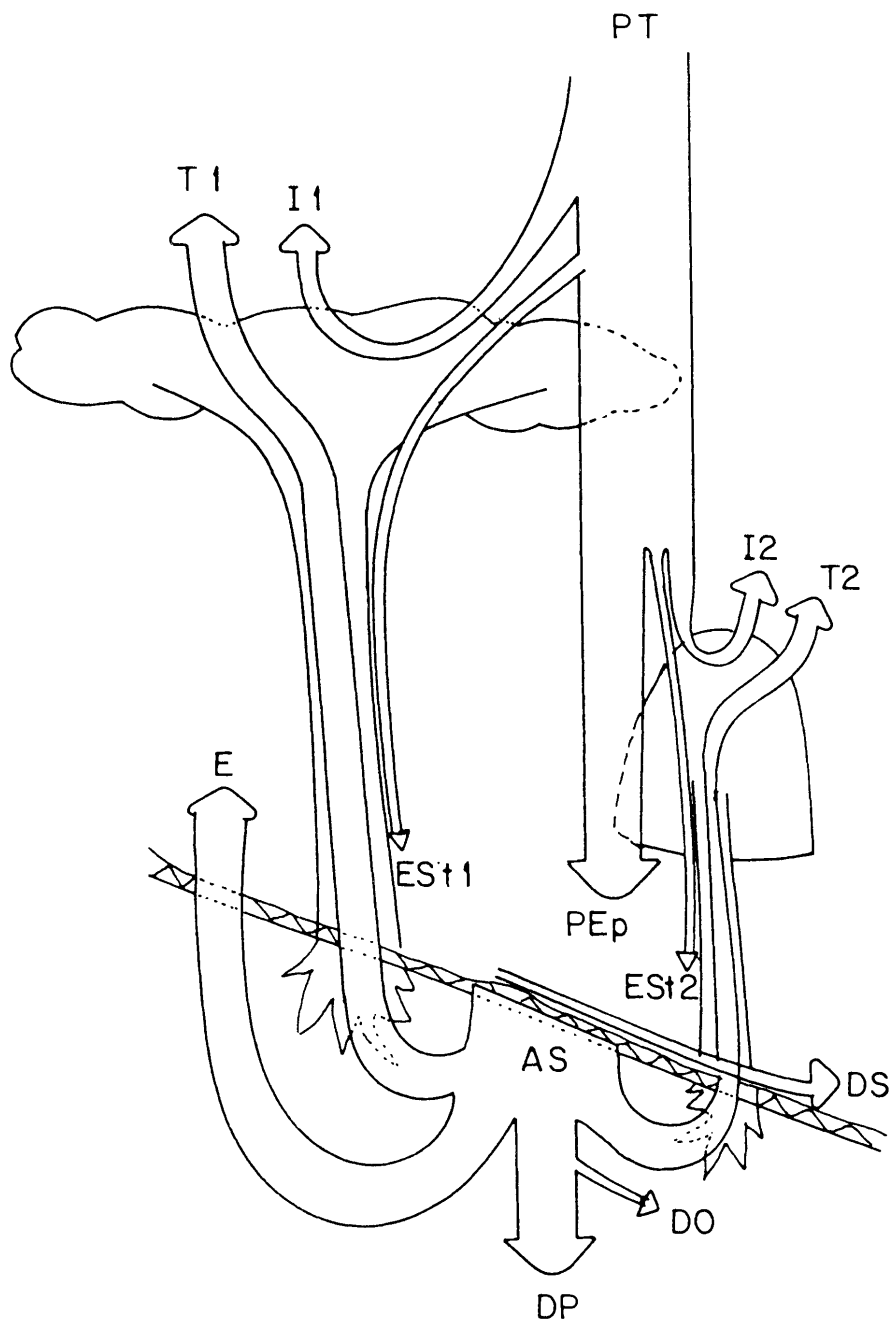
4). El primer cambio introducido por la vegetación es la intercepción de la lluvia, parte de la cual queda retenida por el follaje y es evaporada directamente; la fracción absorbida por la cutícula ha sido indicada como despreciable (Rutter 1963). Cuanto mayor sea la cobertura de la vegetación mayor será su intercepción: así, en el cafetal de sombra, que tiene cubierto el 82% de su superficie, el follaje intercepta 21% de todas las lluvias, lo cual está dentro de lo observado en otros sistemas forestales tropicales (Kline *et al.* 1968, Jordan *et al.* 1973), mientras este valor es de 13% en el de sol que tiene sólo 66% de cobertura.

Durante la época seca, cuando las pocas lluvias son de baja intensidad y aisladas, deberíamos esperar que la intercepción fuera máxima pero no es así (Fig. 4) a causa de las variaciones estacionales de la cobertura. En efecto, el análisis de la fenología de los cafetos y árboles para sombra (Fig. 5) nos muestra que esa época corresponde al mínimo follaje en los dos sistemas y por lo tanto su diferencia en intercepción no es muy elevada, situación que se prolonga durante los comienzos de la época lluviosa cuando el follaje no está completamente desarrollado, pero una vez que éste está en su plenitud las diferencias entre las intercepciones son máximas.

Como consecuencia de esa intercepción, la precipitación efectiva (suma de PEp y ESt) es siempre mayor en el cafetal de sol. En el balance anual (Fig. 6), la precipitación efectiva del cafetal de sol es 87% de la precipitación total mientras para el de sombra es 79%. esto significa que si la erosión dependiera del agua llegada al suelo el cafetal de sol tendría mayor pérdida de material.

La vegetación no sólo modifica el monto del agua que llega al suelo, sino que además determina su distribución sobre la superficie: mucha en el borde de las copas de los cafetos (37% en el de sombra y 40% en el de sol), menos entre líneas de cafetos (34%) y mínima debajo de ellos (25% en el de sol y 28% en el de sombra). Este efecto de paraguas produciría un área seca en el entorno de las raíces si no fuera por el escurrimiento por los troncos y la disminución de la evaporación, pero de todas formas la entrada de agua es menor en los cafetos de sol.

Del agua que llega al suelo, parte drena superficialmente: es la escorrentía, cuya marcha anual muestra valores un poco mayores en el cafetal de sol (Fig. 7). Pero si los comparamos con el agua que realmente llega al suelo -precipitación efectiva-, vemos que la proporción escurrida es mayor en el cafetal de sombra, salvo en el período seco: esto parece ser consecuencia del papel de la hojarasca en la superficie. Esta es mayor en el cafetal de sombra y está embebida



$$PT = PEp + Est + I = DS + DO + AS + DP + ETR$$

CAFETAL SOMBRA

$$Est = Est\ 1 + Est\ 2$$

$$I = I1 + I2$$

$$ETR = I + T1 + T2 + E$$

CAFETAL SOL

$$Est = Est\ 2$$

$$I = I2$$

$$ETR = I + T2 + E$$

Figura 3

Principales flujos en el balance hídrico - Leyenda en el texto

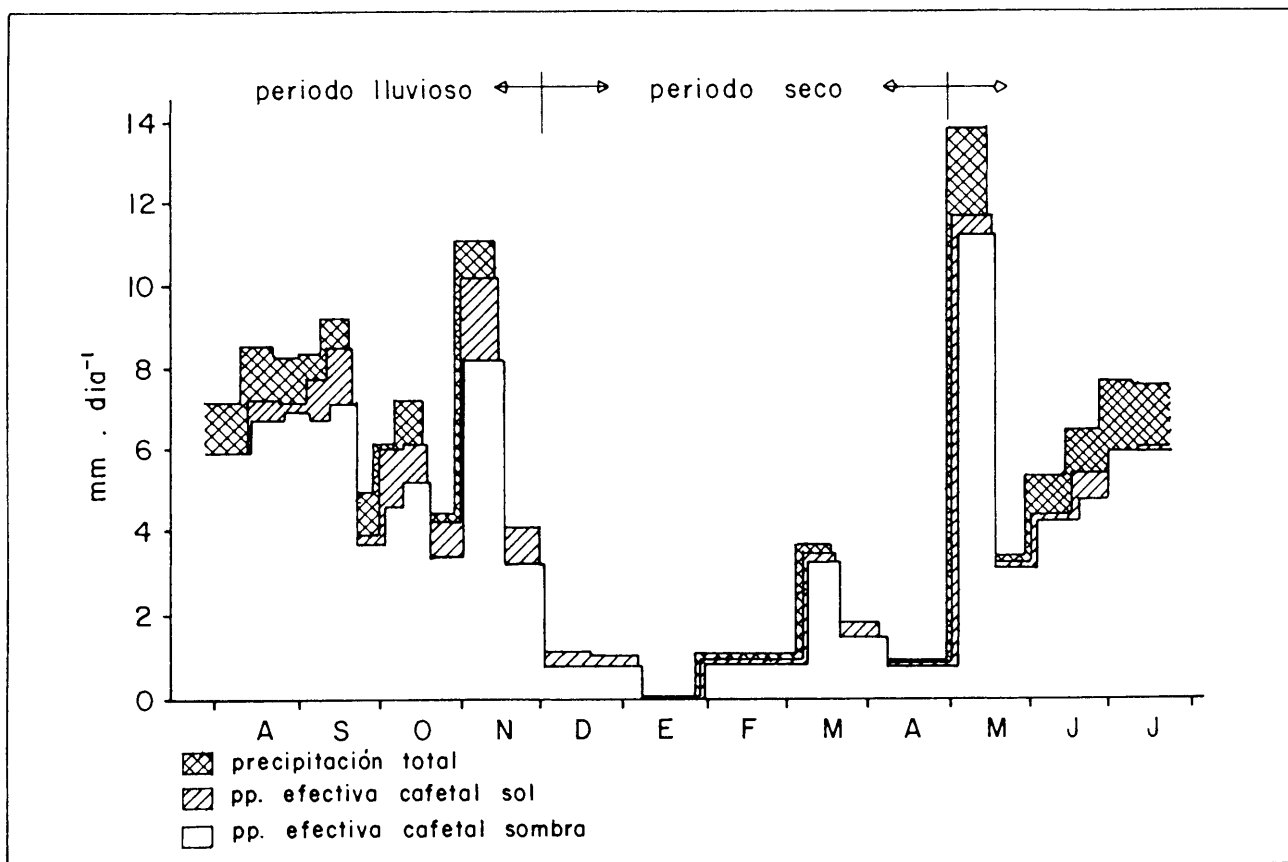


Figura 4
Precipitación total y precipitación efectiva en ambos cafetales

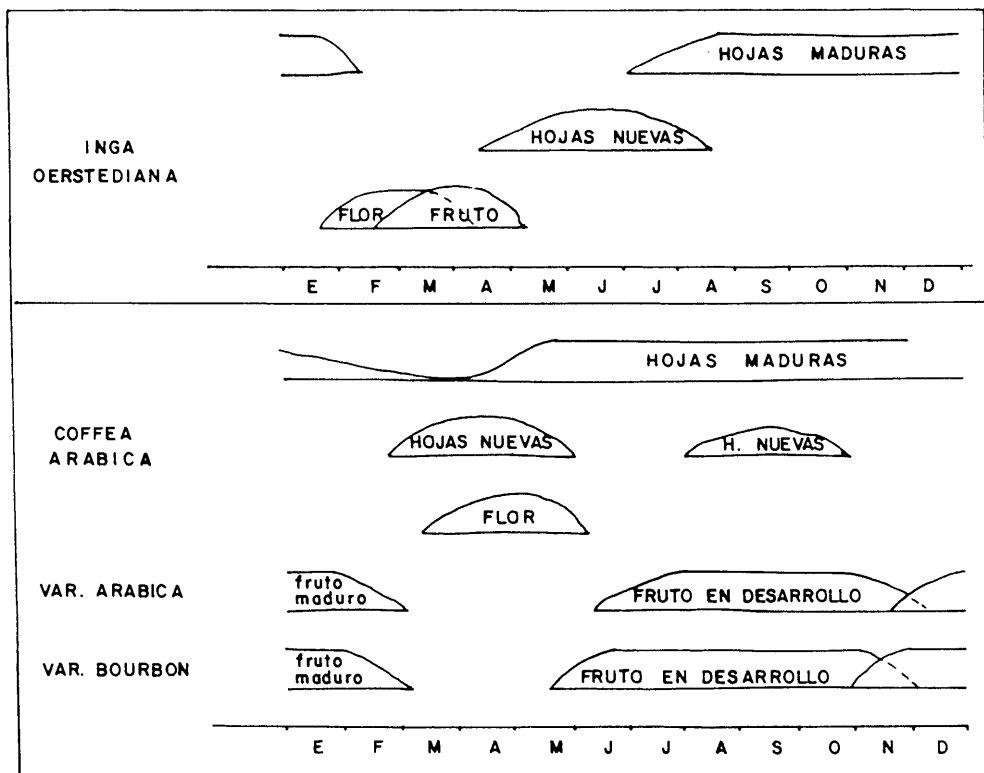


Figura 5
Fenología de las dos variedades de Coffea arabica y de Inga oerstediana principal árbol de sombra

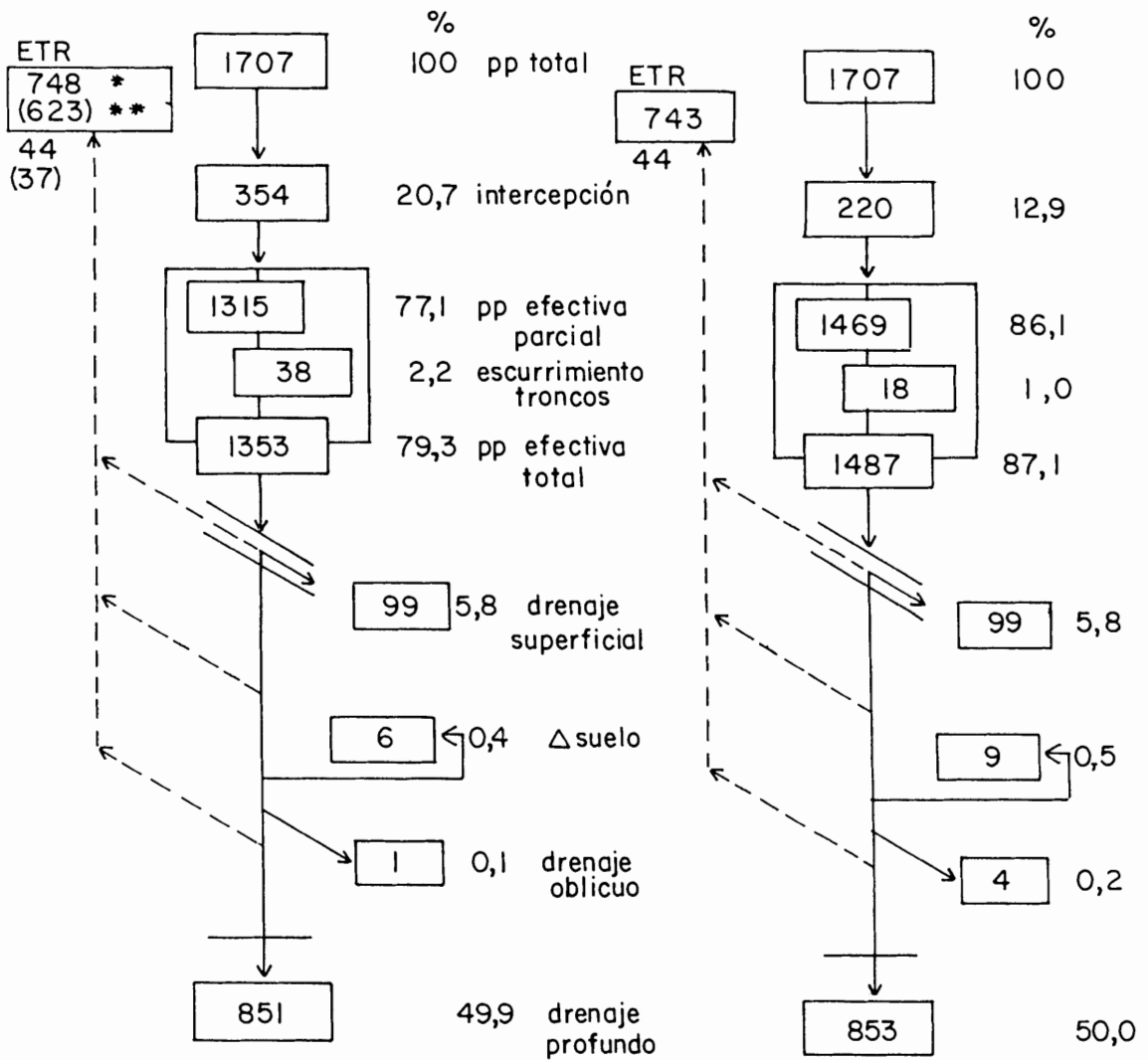


Figura 6

Balance hídrico anual, lapso 27-07-88 al 24-07-89. Dentro de las casillas: valores absolutos en mm. Fuera de las casilla: % de precipitación total; *: incluye intercepción total; **: no incluye intercepción Inga oearstediana

de agua en la época lluviosa drenando parte de su excedente, pero durante el período seco retiene la poca agua que le llega, cosa que no sucede en el cafetal de sol. Además, esta hojarasca limita las pérdidas del agua del suelo por evaporación.

El agua que se infiltra puede seguir diferentes rutas de acuerdo a las condiciones del sistema durante la época seca y la lluviosa.

- (1) En la época seca, las pérdidas por transpiración e intercepción deben ser un poco mayores en el cafetal de sombra por su mayor masa vegetal,

aunque está en su mínimo follaje, pero en contraposición, la evaporación del suelo debe ser mucho menor por tener una humedad relativa más alta y el efecto amortiguador de la capa de hojarasca. En efecto, la Fig. 8 muestra una menor pérdida de agua en el suelo en el cafetal de sombra lo cual significa que la disminución en la evaporación del suelo es muy importante, tanto que a pesar de tener mayor transpiración e intercepción el suelo pierde menos agua. Por el contrario, en el cafetal de sol la evaporación del suelo es tan importante que la retención es menor a pesar de que hay menos transpiración y menos

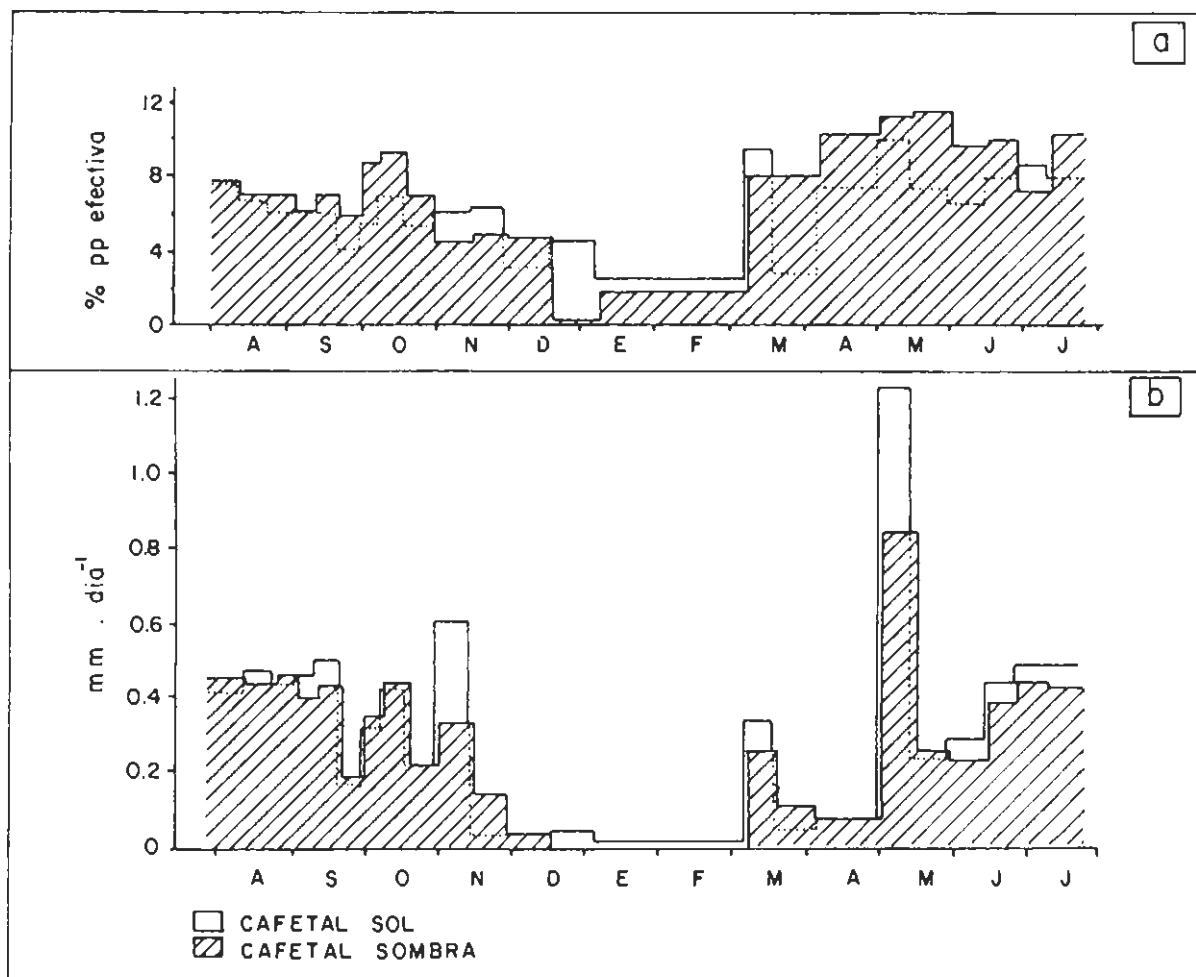


Figura 7

Drenaje superficial: a) % de la precipitación efectiva; b) valores absolutos

intercepción. Esto es considerando que las condiciones de drenaje profundo son equivalentes en ambos cafetales.

- (2) En la época lluviosa la relación es inversa (Fig. 9), de modo que puede pensarse que en esa época, con máximo follaje, las pérdidas por transpiración en el cafetal superan las pérdidas evaporativas en ambos cafetales.

Los cálculos de evapotranspiración dan un valor aproximado de lo que puede esperarse por pérdidas en ese concepto. De acuerdo con esto, esa pérdida es muy semejante en ambos cafetales, aunque es ligeramente mayor en el cafetal de sombra durante el período seco y menor en el período lluvioso. En el cafetal de sombra el 47% del valor de evapotranspiración se explica por intercepción,

mientras que en el de sol la intercepción sólo explica el 30%, se deduce que el resto es debido a evaporación y transpiración pero, como no es probable que el cafetal de sol tenga mayor transpiración que el de sombra, la mayor parte de pérdidas hacia la atmósfera en este cafetal deben ser por evaporación del suelo.

Erosión

La erosión en un área incluye todas las pérdidas de material del suelo: hojarasca, nutrientes disueltos y fracción mineral. Esta última es sin duda la más estudiada por sus consecuencias en los cambios físicos del perfil, los cuales en casos extremos pueden llegar a la desaparición de horizontes. Es también la fracción más difícil de sustituir.

CAFETAL SOMBRA

CAFETAL SOL

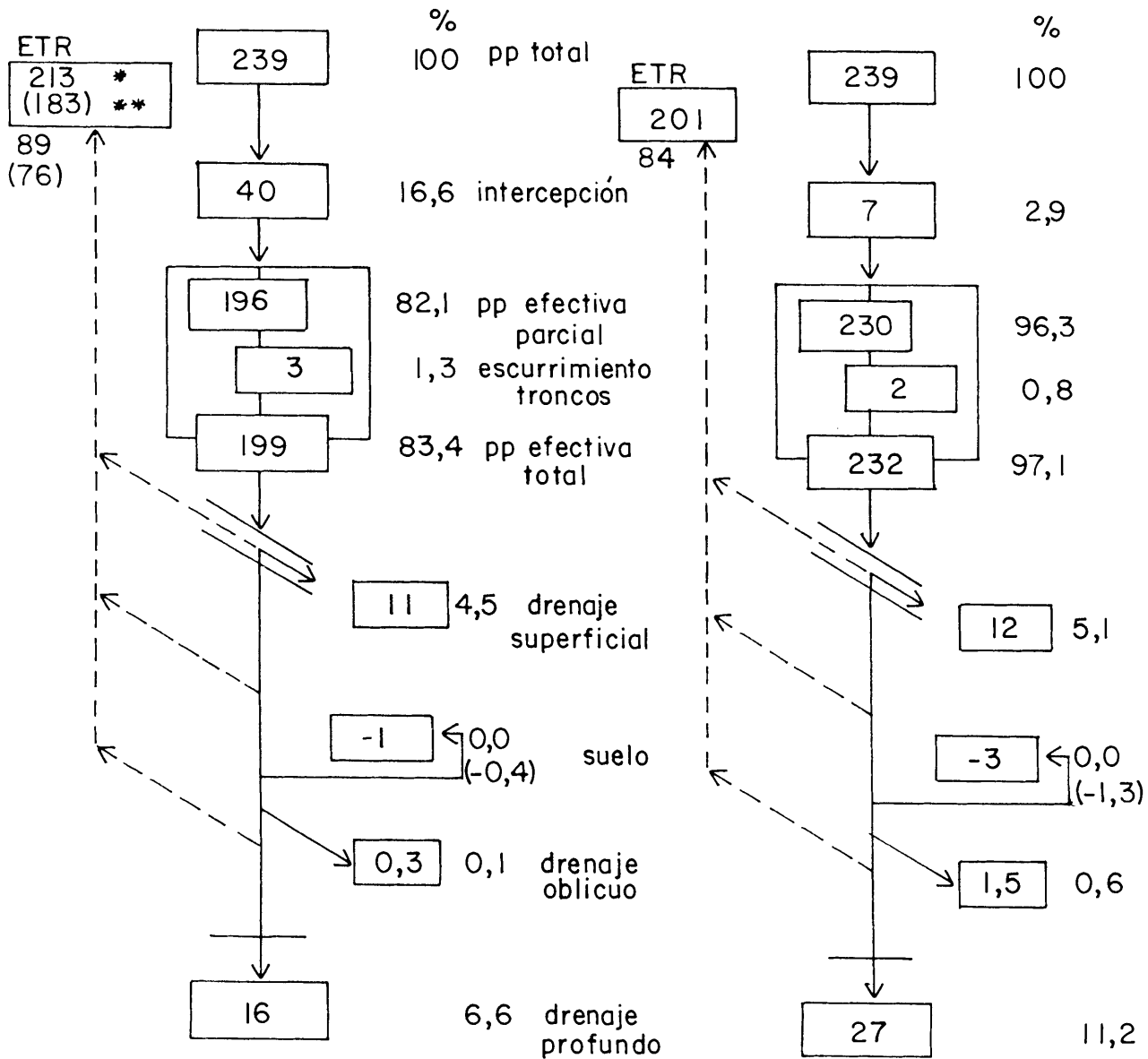


Figura 8

Balance hídrico del periodo seco. Dentro de las casillas: valores absolutos en mm. Fuera de las casillas: % de precipitación total; *: incluye intercepción total; **: no incluye intercepción Inga oerstediana

(a) Fracción mineral

Las pérdidas de fracción mineral las hemos medido diferenciando tres categorías de acuerdo al tamaño del grano: fracción gruesa mayor de 4 mm, fracción fina menor de 4 mm y fracción muy fina en suspensión: cuando no se indica lo contrario ésta última se suma a la anterior.

Las Figuras 10 y 11 muestran los resultados para los dos cafetales. Se nota que las pérdidas en el cafetal de sol son mucho más importantes que en el de sombra, lo cual era de esperarse por la mayor cobertura vegetal en este último. Sin embargo el ritmo anual de pérdida es diferente en ambos casos, lo cual no es comprensible si partimos del supuesto de que la erosión está determinada en primera instancia por la erosividad de las lluvias, la cobertura vegetal que la

CAFETAL SOMBRA

CAFETAL SOL

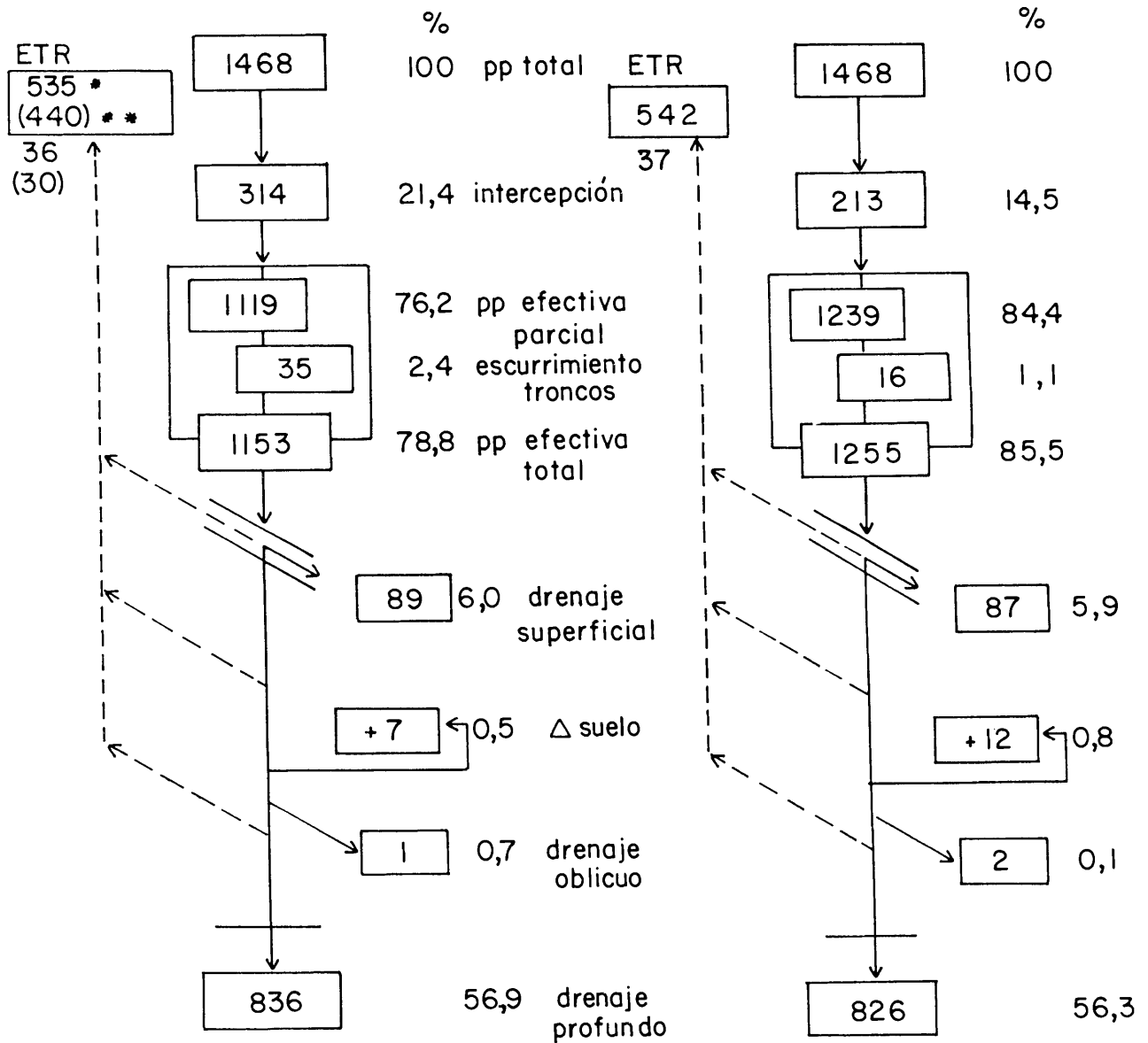


Figura 9
 Balance hídrico del período lluvioso. Dentro de las casillas: valores absolutos en mm. Fuera de las casillas: % de precipitación total; *: incluye intercepción total; **: no incluye intercepción Inga oerstediana

mitiga y la erodabilidad del suelo. En nuestro caso, esta última se considera equivalente ya que los horizontes superficiales son semejantes, las precipitaciones son las mismas y la cobertura vegetal es siempre mayor en el cafetal de sombra pero varía en la misma secuencia durante el año.

La realidad de los resultados no está del todo de acuerdo con ese supuesto: si bien es cierto que en el cafetal de sol los montos son superiores, las pérdidas mayores no están en relación ni con los picos de erosividad de las lluvias ni con los de escurrimiento, es decir, con la capacidad del agua para disgregar partículas y transportarlas. La erosión debe relacionarse con algún factor que tenga un ritmo distinto en cada cafetal.

II. Andes Septentrionales

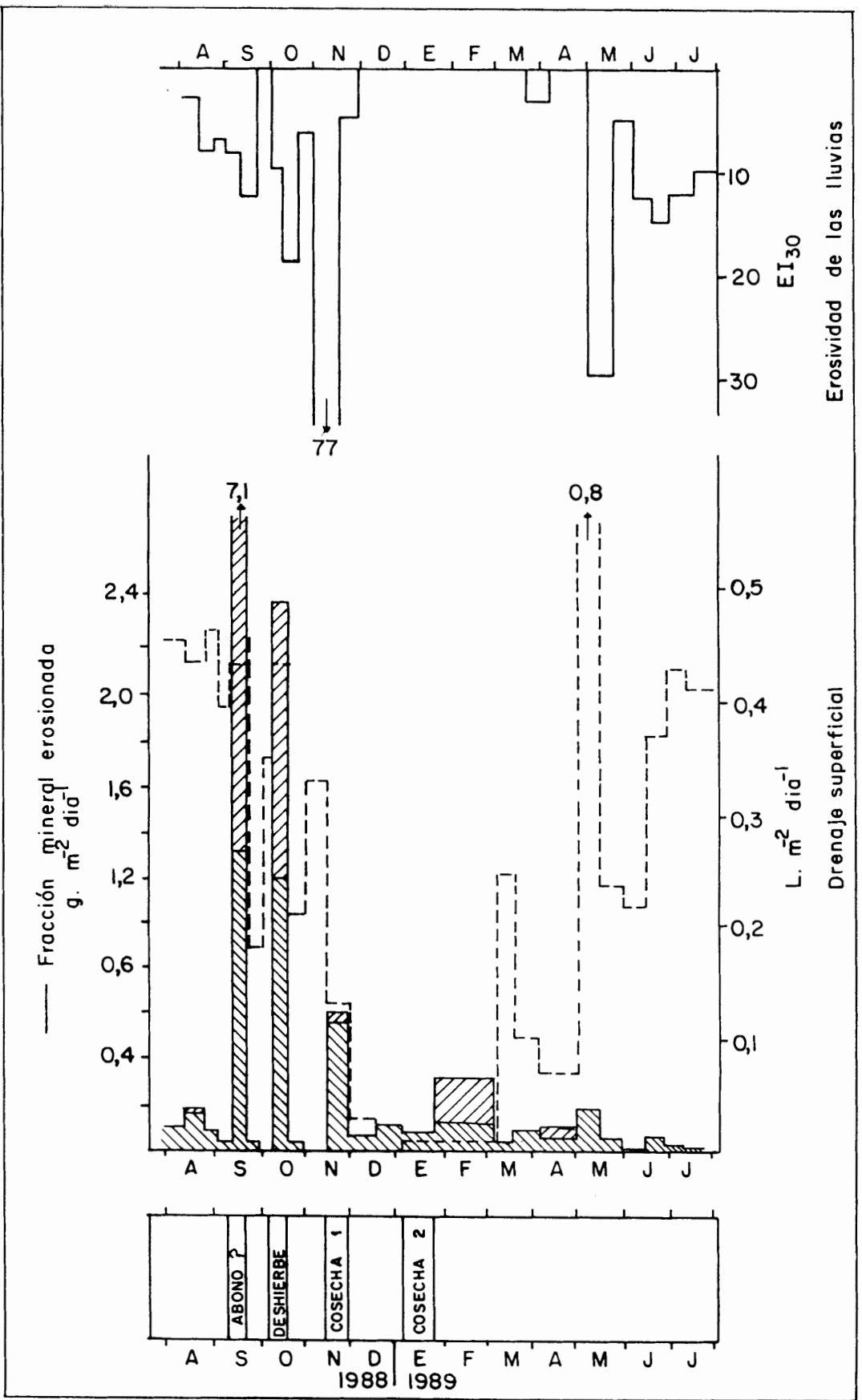


Figura 10

Erosión en el cafetal de sombra. Parte superior: erosividad de las lluvias. Parte media: pérdida de la fracción mineral < 4 mm y > 4 mm. --- drenaje superficial. Parte inferior: actividades agrícolas

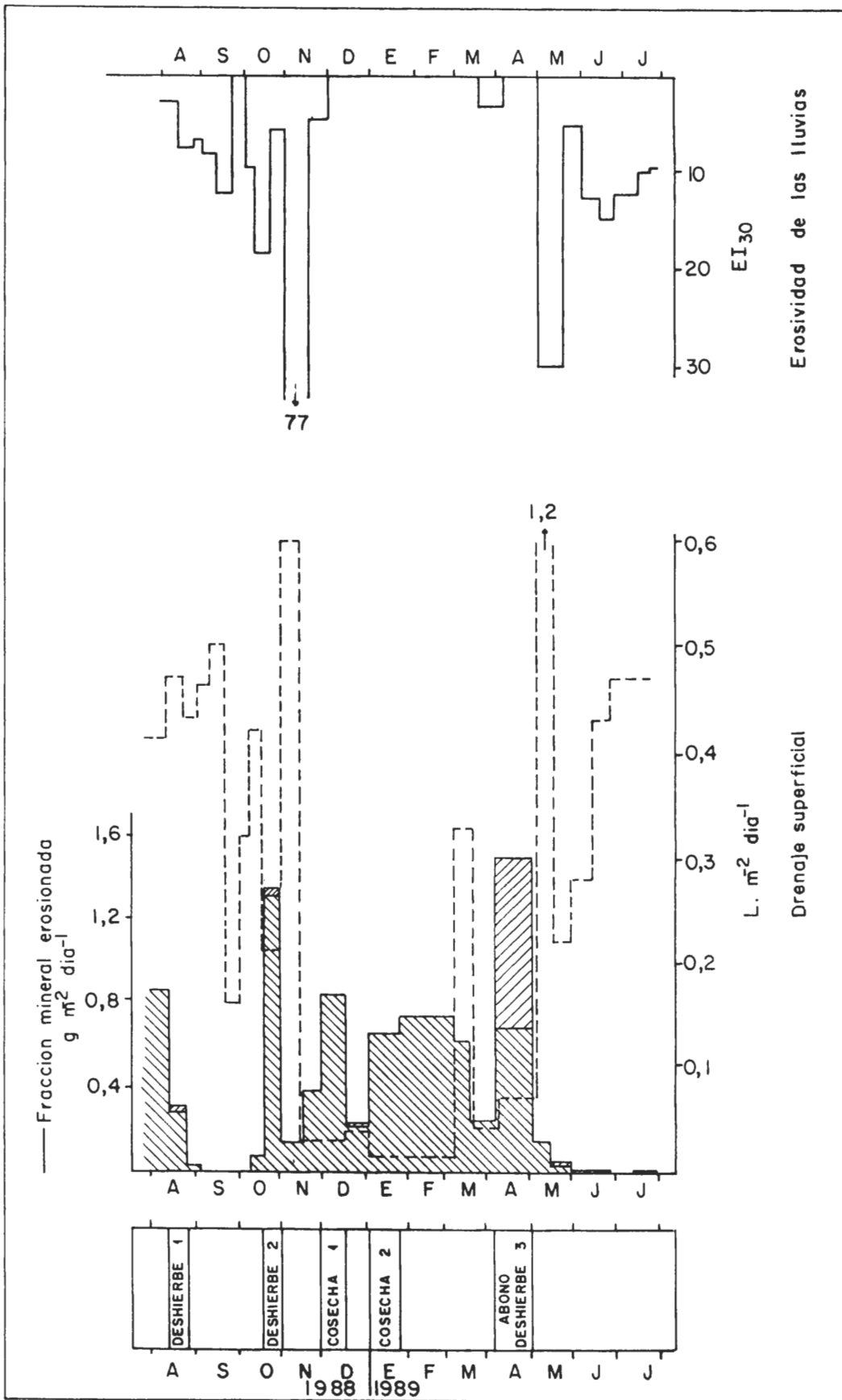




Figura 11

Erosión en el cafetal de sol. Parte superior: erosividad de las lluvias. Parte media: pérdida de la fracción mineral  < 4 mm y  > 4 mm. --- drenaje superficial. Parte inferior: actividades agrícolas

Aparte de la vegetación, la mayor diferencia entre estos dos cafetales son las actividades agrícolas que se desarrollan en cada uno de ellos (Fig. 12). El cafetal de sol requiere mayor número de labores que implican "incurSIONES" importantes al cafetal lo cual significa un mayor pisoteo. En zonas de fuerte pendiente, el pisoteo desplaza los primeros centímetros del suelo bajo cada pisada, al contrario de lo que sucede en terrenos planos donde el efecto es de compactar el suelo. Pensamos que durante la época seca, cuando los primeros centímetros del suelo están secos, la disgregación es mayor y entonces una lluvia aislada no necesita ser muy fuerte para que el escurrimiento arrastre el material, en consecuencia esa época es la de mayor fragilidad. Para el período de datos representados en las Figuras 10 y 11, durante la época seca hubo cuatro momentos de pase importante de personas en el cafetal de sol y sólo uno en el de sombra; durante la época lluviosa hubo dos pases en cada uno. La relación entre esos momentos de movimientos de personas y los principales picos de pérdidas de fracción mineral es muy estrecha, por lo que atribuimos a ese factor los desplazamientos de tierra más importantes, o el inicio de los mismos.

La Tabla 1 contiene un resumen de los resultados. Damos un mayor peso a la fracción menor de 4 mm para las comparaciones entre los dos cafetales, en primer lugar porque la fracción más gruesa no es equivalente en ambos sitios ya que en los primeros cm de suelo la proporción de esa fracción gruesa es el doble en el cafetal de sombra y en consecuencia es de esperar que éste tenga mayores pérdidas de esa fracción sin que eso represente un esfuerzo especial por parte de los agentes erosivos. En segundo lugar, la mayor parte de la fracción gruesa está compuesta por guijarros grandes por lo que la aparición de un solo de ellos puede alterar considerablemente los montos totales sin que esto signifique que el proceso erosivo ha aumentado en intensidad. Hay que agregar que esta fracción contribuye poco al mantenimiento de las características agronómicas necesarias para el cultivo, de modo que su pérdida no es lamentable en comparación con la de las otras dos.

Por lo tanto, las pérdidas de la fracción fina son las más claves y son el doble en el cafetal de sol. Las muestras tomadas del horizonte superficial (Ah1) indican que cada centímetro en profundidad, para los primeros 10 cm, tiene 86.006,00 kg/ha de fracción

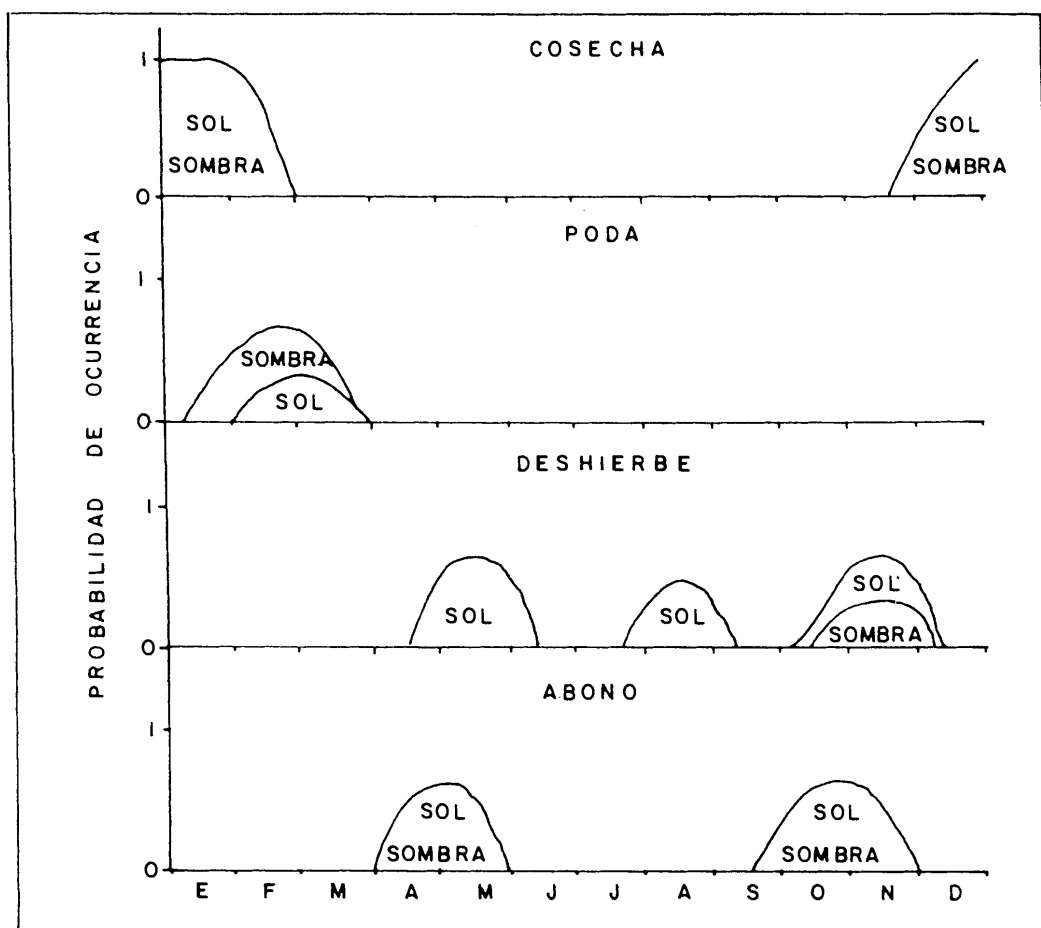


Figura 12

Calendario agrícola en los cafetales de sol y sombra

Tabla 1

Pérdida de la fracción mineral, en kg/ha

Período	Cafetal Sombra			Cafetal Sol		
	Suspensión	< 4 mm	> 4 mm	Suspensión	< 4 mm	> 4 mm
Lluvioso	70,6	388,9	766,4	72,2	402,0	8,6
Seco	70,4	231,2	96,7	159,3	950,8	242,5
Total Año	141,0	620,1	863,1	231,5	1.352,8	251,1
Total < 4 mm	761,1			1.584,3		
Total Cafetal	1.624,2			1.835,4		

menor de 4 mm. Esto significa que si la tasa de pérdida de material se mantiene se necesitarían 113 años para eliminar un centímetro de suelo en el cafetal de sombra y 54 años en el de sol.

Los valores anteriores corresponden a las condiciones más favorables para estos suelos. Es decir, que en este momento ambos cafetales están en el mínimo de sus perturbaciones por actividades agrícolas porque: (a) ha pasado suficiente tiempo para que se hayan mitigado los efectos de instalación (6 años para el cafetal de sol, 15 para el de sombra); y (b) ambos están en plena producción y con una edad equivalente respecto a la vida media productiva de cada cafetal. En el mejor de los casos, esta situación podría mantenerse hasta el envejecimiento de la plantación, es decir dentro de unos 40 años para el cafetal de sombra y 18 para el de sol, después de lo cual hay que eliminar los cafetos viejos y acomodar el terreno para la nueva plantación.

(b) Hojarasca

El movimiento de la hojarasca en el sentido de la pendiente sigue un patrón que se relaciona más con la pérdida de la fracción mineral que con el ritmo de caída de la misma hojarasca (Fig. 13). Sin embargo, ese patrón tiene su propia forma que es una combinación de: (a) el desplazamiento por pisoteo y

(b) el monto en superficie producto de la relación entre caída y descomposición. El pisoteo sin duda se lleva la mayor parte ya que los principales picos se corresponden con los de la fracción mineral y además hemos observado sobre el terreno la facilidad con la que ocurre ese desplazamiento.

La diferencia entre la caída y el arrastre es mayor en el cafetal de sol, por lo que deberíamos esperar: (a) una mayor acumulación en la superficie del suelo o bien (b) una tasa de descomposición mayor. Respecto a la acumulación tenemos algunas medidas que indican que es muy variable a lo largo del año pero en todo caso es siempre menor en el cafetal de sol, por lo tanto la descomposición debe ser mayor en ese ambiente. De hecho, los primeros datos nos permiten calcular una constante de descomposición (K = tasa de caída/acumulación sobre suelo) de 1,5 para el cafetal de sol y 0,7 para el de sombra, es decir que en el de sol la velocidad de descomposición es el doble. Estos valores están dentro del rango citado para cafetales de sombra (Aranguren 1979) pero varían mucho dependiendo de las características del cafetal.

El monto total de hojarasca perdido en el cafetal de sombra es mayor, pero como su composición es diferente al de sol, sobre todo por las hojas de los árboles del dosel, no conoceremos la importancia de esa pérdida hasta hacer el análisis químico de ese material.

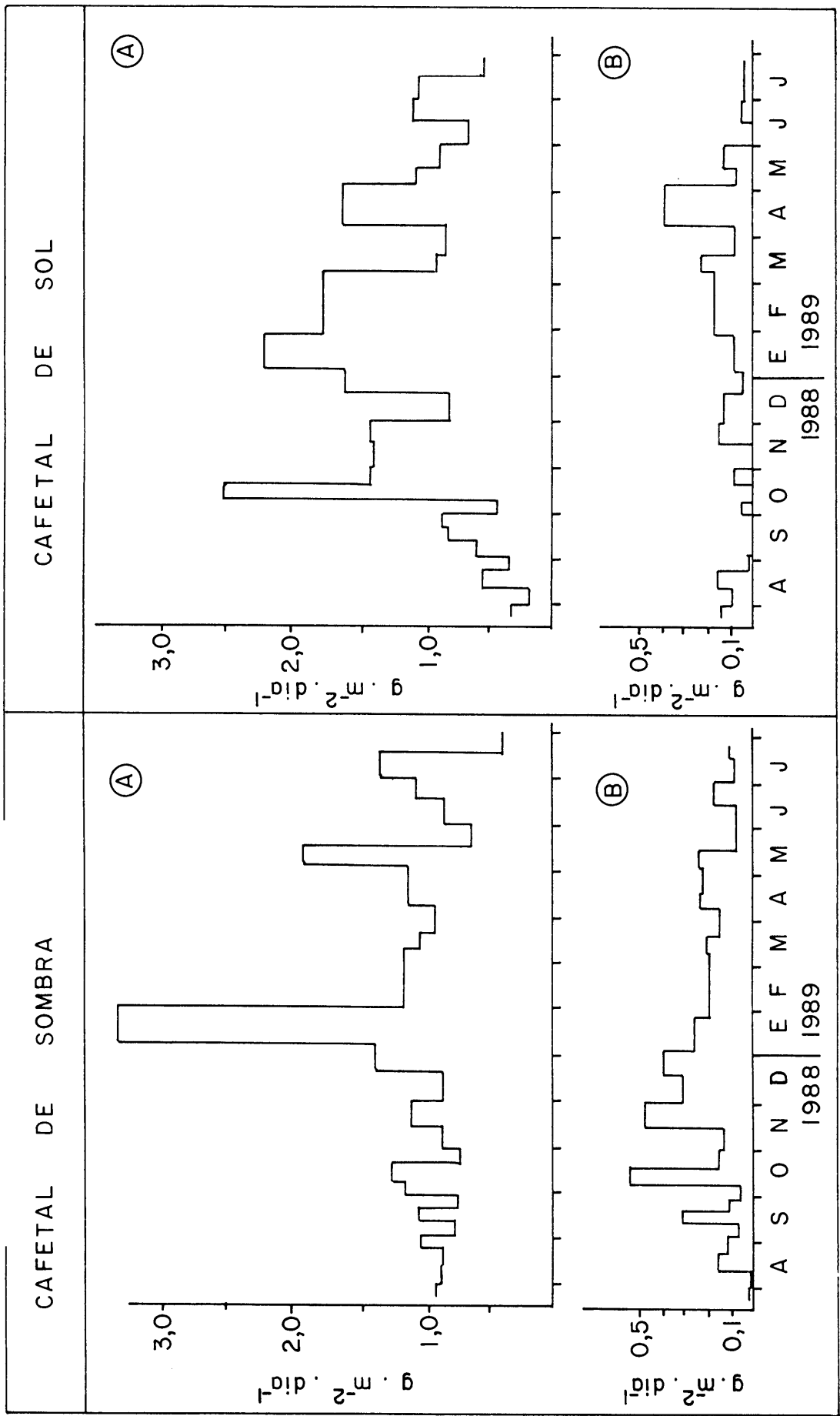


Figura 13
 Dinámica de la hojarasca en ambos cafetales durante un ciclo anual: A) Caída de hojarasca y B) Arrastre de hojarasca por erosión superficial

Los primeros análisis químicos nos permiten conocer los montos de los principales cationes, K, Mg, Ca, Na, en el agua de precipitación total, precipitación efectiva y drenaje superficial (Figs. 14 y 15). Los resultados muestran que las pérdidas por drenaje superficial son muy bajas en comparación con las entradas. Se pierde el 23% del K que llegó al suelo disuelto en agua, el 6% del Na, el 7% de Ca y el 8% del Mg. Las pérdidas son mayores durante la época lluviosa, tanto en valores absolutos como en proporciones. En forma global, el cafetal de sombra perdió mayor cantidad de cada catión (Figs. 14 y 15).

Los ritmos de las entradas son los mismos que los de salida por escorrentía (Figs. 14 y 15), indicando que su principal fuente es la de las precipitaciones totales, reforzadas en el caso de K, Ca y Mg por el pluviolavado. Aparentemente, el agua que drena superficialmente lo hace con demasiada rapidez para arrastrar nutrientes de la hojarasca o de los primeros centímetros del suelo, ya que las proporciones en que se encuentran en el agua de drenaje son las mismas que las de la precipitación efectiva, con excepción del K que se encuentra en una proporción 4 veces mayor en el cafetal de sombra y 2 veces en el de sol. Esto debe ser reflejo de la menor cantidad de hojarasca en este último ya que es seguramente de esta de donde el agua obtiene tan rápidamente ese elemento, ampliamente conocido por su movilidad.

Todo esto indica que el grueso de los nutrientes se infiltra en el suelo. Aunque existen pocos trabajos en los que se analice aparte el agua de escorrentía, podemos tomar como referencia los análisis de Godfrey *et al.* (1970) para un platanal en Côte d'Ivoire en el cual las pérdidas por drenaje se reparten 2 a 10% en drenaje superficial y 90 a 98% en drenaje profundo. Por lo tanto, sólo el análisis del agua de drenaje oblicuo y profundo nos permitirá conocer la pérdida total de nutrientes disueltos.

Para calcular la pérdida total de nutrientes habrá que agregar los contenidos en la hojarasca arrastrada, la fracción mineral fina y los frutos extraídos.

CONSIDERACIONES FINALES

Hasta ahora, la pérdida de la fracción mineral fina parece la diferencia más importante entre los dos cafetales y quizás la de mayores consecuencias. Más del 98% del material del horizonte superficial está constituido por esa fracción, así que su pérdida puede ser fatal para ese suelo de sólo 30 cm de horizonte funcional. Para tener una idea de la magnitud de las

pérdidas podemos compararlas al límite teórico de la erosión compensable (Zachar 1982) que es de 0,75 t/ha.año: se nota que los valores obtenidos en el cafetal de sombra son de ese orden (0,76 t/ha.año) mientras que los del cafetal de sol son el doble (1,58 t/ha.año).

Bajo condiciones similares de pendiente, suelo y prácticas antierosivas, los factores más importantes en la pérdida de la fracción mineral son la erosividad de las lluvias, la escorrentía y las formas de manejo del sistema (Wischmeier & Smith 1960). En el área estudiada, la erosividad de las lluvias y la escorrentía son bajas, pero el último factor, el manejo del sistema que comprende las diferencias en la vegetación y las actividades agrícolas, parece ser el más importante.

El hecho de que la remoción de la fracción mineral esté directamente relacionada con las actividades agrícolas nos hace prever un aumento muy importante de erosión en los momentos de arreglo del terreno para las nuevas plantaciones; y esto sucede aproximadamente cada 20 años para los cafetales de sol y 50 años para los de sombra.

En las pérdidas de fracción mineral, así como en las otras, es importante no sólo el monto total sino la calidad del material. En general la fracción más fina, en suspensión, tiene un mayor papel en la fertilidad del suelo por sus características fisicoquímicas aunque sus montos nunca sean muy elevados (Zachar 1982); en nuestro caso la pérdida de esa fracción es mucho más alta en el cafetal de sol.

El resto de los factores estudiados no muestra diferencias tan claras a favor del cafetal de sombra. En el balance hídrico anual, las principales salidas de agua (ETR y drenaje profundo) tienen valores semejantes en ambos cafetales. Sin embargo, las variaciones estacionales muestran que los procesos que controlan los flujos dominantes son diferentes en cada sistema y esa diferencia indica un mejor equilibrio en el cafetal de sombra, en el cual se retiene una mayor cantidad de agua en los momentos de déficit y se pierde más en los períodos de exceso. Pero esta ventaja del cafetal de sombra sólo se hace importante en ambientes secos y, en consecuencia, parece poco relevante en zonas como Canaguá, donde las precipitaciones de los años más secos no bajan de 1100 mm.

De todas formas, parece evidente que como consecuencia de la mayor evaporación en superficie en el cafetal de sol, la sequedad de los primeros centímetros de suelo facilita su desplazamiento por pisoteo.

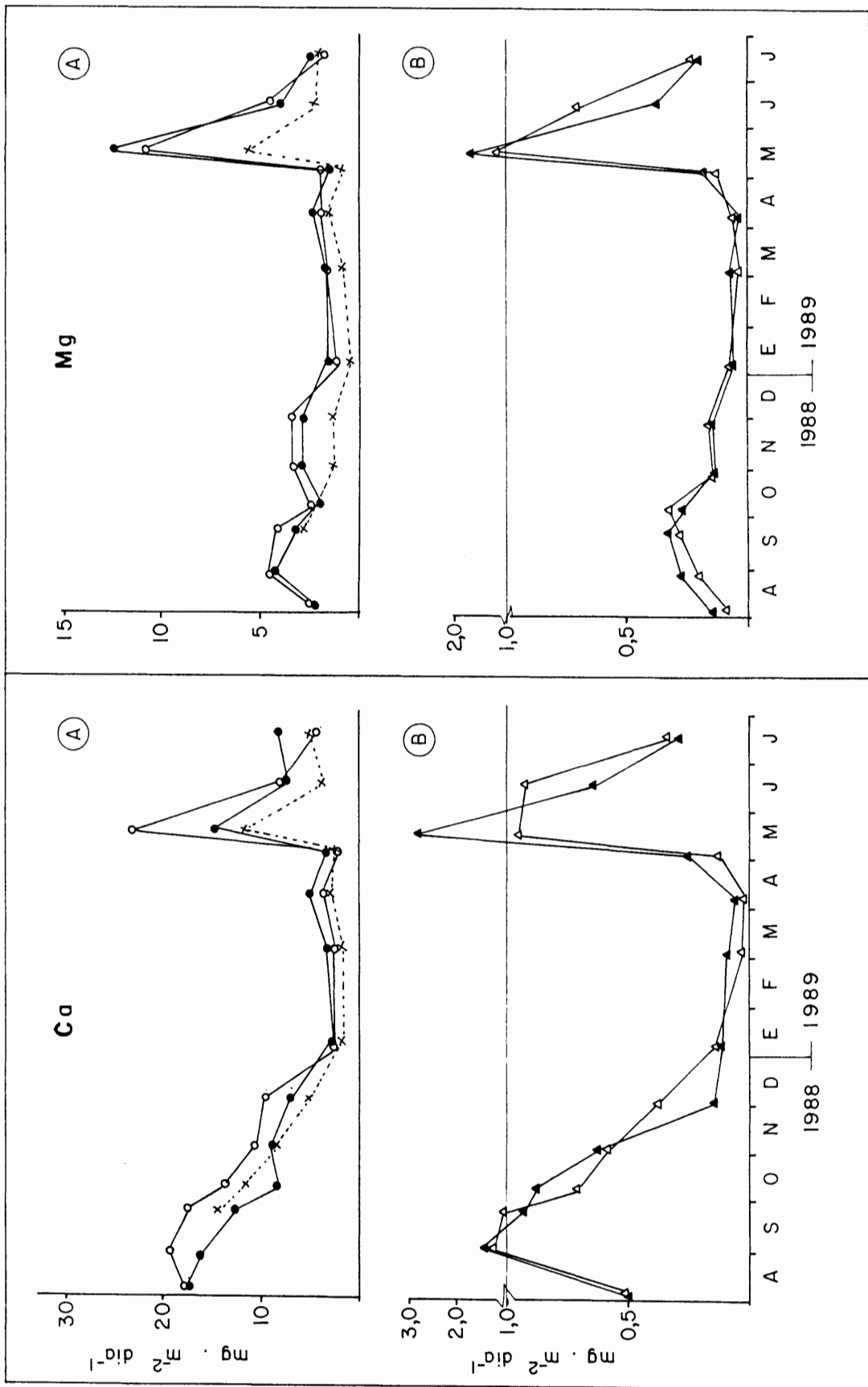


Figura 14

Variación anual del contenido de calcio y magnesio en:

- A) precipitación total x --- x, precipitación efectiva del café de sombra ● --- ● y del café de sol ○ --- ○
 B) drenaje superficial del café de sombra ▲ --- ▲ y del café de sol △ --- △

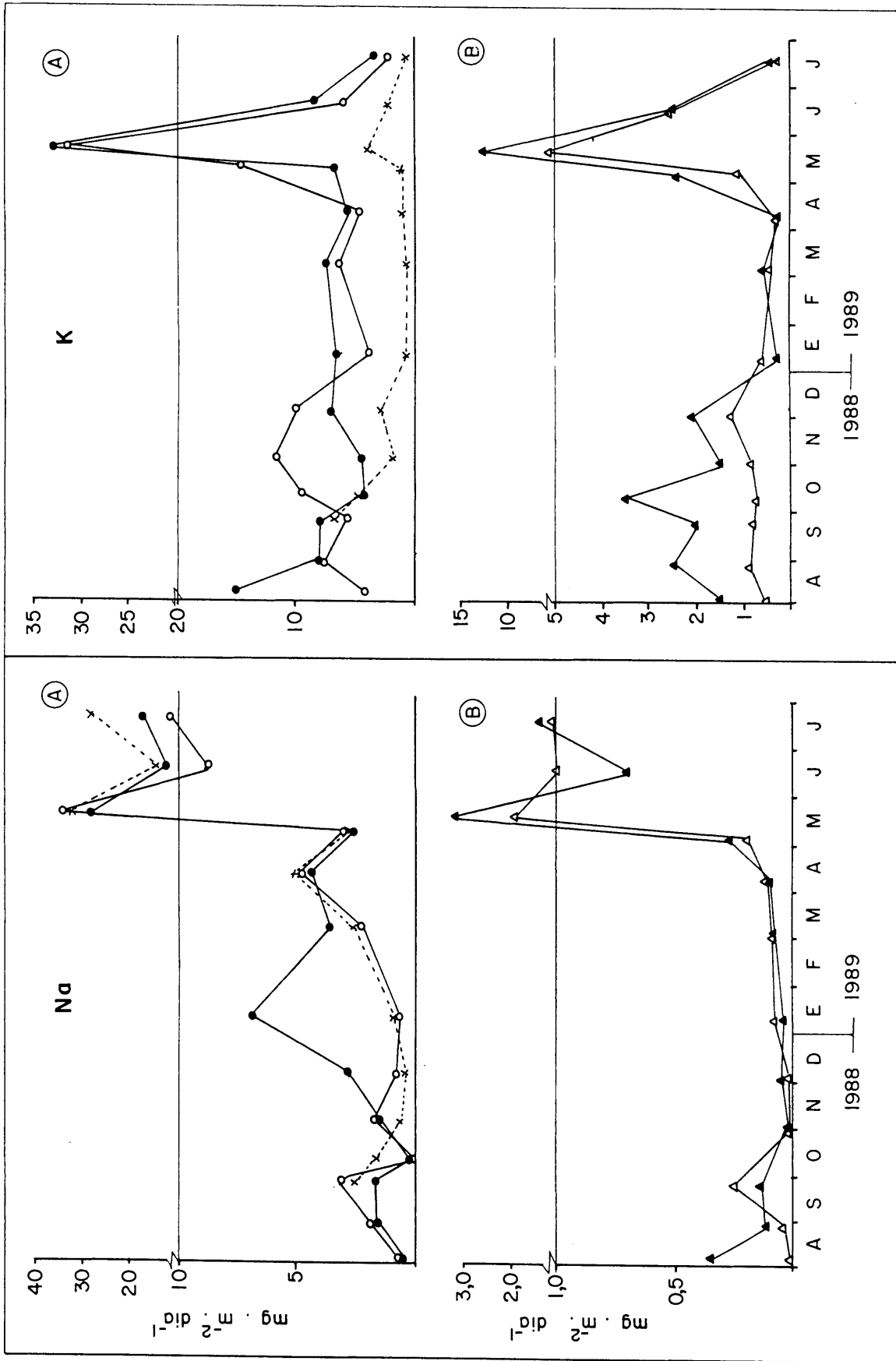


Figura 15

Variación anual del contenido de sodio y potasio en:

A) precipitación total x --- x, precipitación efectiva del café de sombra • • • • • y del café de sol ° ° ° ° °

B) drenaje superficial del café de sombra ▲ ▲ ▲ ▲ ▲ y del café de sol △ △ △ △ △

La exportación de nutrientes requiere de mayores análisis para tener valores definitivos. En el caso de los nutrientes disueltos las pérdidas por escorrentía son muy bajas en ambos sistemas y en el caso de la hojarasca el balance es positivo en los dos cafetales pero con una descomposición mucho más

acelerada en el cafetal de sol. En ambos casos las pérdidas son menores en el cafetal de sol, pero esto no es concluyente hasta que se evalúen los nutrientes implicados en la pérdida de la fracción mineral. De igual manera, el arrastre de nutrientes por el drenaje profundo es indispensable para conocer el balance de esos elementos en cada sistema.

BIBLIOGRAFIA

- ADRIANI, A. 1984. Labor Venezolana. Caracas: Academia Nacional de Ciencias Económicas.
- ARANGUREN, J. 1979. Contribución de la caída de hojarasca al ciclo de nutrientes en cultivos bajo árboles de sombra (café y cacao). Tesis de Maestría, I.V.I.C., Caracas.
- COSIE, R. 1969. El café. Barcelona: Blume.
- GARCÍA, B. Y LÓPEZ, J. 1970. Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico (15°N-15°S). *Agronomía Tropical*, 20(5): 335-345.
- CODEFROY, J., MULLER, M., Y ROOSE, E. 1970. Estimation des pertes par lixiviation des éléments fertilisants dans un sol de bananeraie de Basse Côte d'Ivoire. *Fruits*, 25(6): 403-423.
- HAARER, A. E. 1984. Producción moderna de café. México: Ed. Continental (CECSA).
- HOFFMANN, O., BLANC-PAMARD, C. Y ROSSIGNOL, J. P. 1987. Paisaje y sociedad en un ejido veracruzano (Xico): Prácticas campesinas y dinámica cafetalera. México: INIREB-ORSTOM.
- HURNI, H. 1983. Soil erosion and formation in agricultural ecosystems: Ethiopia and Northern Thailand. *Mountain Res. and Development*, 3(2): 131-142.
- JIMÉNEZ AVILA, E. Y GÓMEZ-POMPA, A. 1982. Estudios ecológicos en el agroecosistema cafetalero. México: Co. Ed. Continental S.A. (CECSA).
- JORDAN, C. F., KLINE, J. R. Y SASSCER, D. S. 1973. A simple model of strontium and manganese dynamics in a tropical rain forest. *Health Physics*, 24: 477-489.
- KLINE, J. R., JORDAN, C. F. Y DREWRY, C. 1968. Tritium movement in a soil of a tropical rain forest (Puerto Rico). *Science* 160: 550-557.
- LAL, R. 1976. Soil erosion problems on an Alfisol in western Nigeria and their control. IITA monograph no. 1. Ibadan, Nigeria: IITA.
- ROOSE, E. J. 1981. Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, no. 130. Paris.
- RUTTER, A. J. 1963. Studies in the water relations of *Pinus sylvestris* in a plantation conditions: I. Measurements of rainfall and interception. *J. Ecol.*, 51 (1): 192-204.
- SARMIENTO, G. MONASTERIO, M., AZCOCAR, A., CASTELLANO, E. Y SILVA, J. 1971. Vegetación natural: Estudio integral de la cuenca de los ríos Chama y Capazón. Sub-Proyecto N° III. Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
- SUÁREZ, M. M. 1982. Fincas familiares en los Andes. Caracas: Cuadernos Lagoven.
- THORNTHWAITE, C. W. Y MATTER, J. R. 1957. Instructions and tables for computing potencial evapotranspiration and the water balance. *Publications in Climatology*, 10(3). Centerton: Drexel Institute of Technology.
- VISHVESHWARA, S. Y JACOB, V. J. 1983. Coffee management with special reference to shade nutrition and plant training. *Indian Coffee*, 47(2): 9-12.
- WISCHMEIER, W. H. Y SMITH, D. D. 1960. A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. *Trans. 7th International Congress of Soil Science*, 1: 418-425.
- ZACHAR, D. 1982. Soil Erosion. *Dev. in Soil Science*, 10. Amsterdam Elsevier Scientific Pub.