



INTERNATIONAL SOCIETY OF  
SOIL SCIENCE



MARNR

**CIDIAT**



SOIL AND WATER  
CONSERVATION  
SOCIETY

World  
Association  
of Soil  
and Water  
Conservation



**ESSC** EUROPEAN  
SOCIETY for  
SOIL  
CONSERVATION

# SOIL EROSION PROCESSES ON STEEP LANDS EVALUATION AND MODELLING

## PROCESOS DE EROSION EN TIERRAS DE ALTAS PENDIENTES EVALUACION Y MODELAJE

*Proceedings of the International Workshop on  
Soil Erosion Processes on Steep Lands  
Evaluation and Modelling*

Mérida, Venezuela May 16-20, 1993

I. PLA SENTIS  
R. LOPEZ FALCON  
D. LOBO LUJAN

Editores

# CAMBIOS EN LA EROSION RELACIONADOS CON LA FORMA DE MANEJO DE LOS CAFETALES EN LOS ANDES VENEZOLANOS

Michele Ataroff y Maximina Monasterio\*

## ABSTRACT

### CHANGES IN SOIL EROSION RELATED TO THE MANAGEMENT OF COFFEE CULTURES IN THE VENEZUELAN ANDES

In the Venezuelan Andes, coffee (*Coffea arabica* var *arabica*) has been traditionally cultivated in the shade. During the last two decades, the Venezuelan State has been promoting a shift towards full sunlight coffee, where shade trees (normally seasonal montane forest species) are eliminated and the old coffee plants are replaced by other varieties such as *C. arabica* var *bourbon* and *var caturra*. In order to assess the possible consequences that this cultural changes may induce on soil erosion, the ecosystem water budget and the dynamic of nutrients a field experiment was carried on a mountain slope in the coffee area of Canagua, Merida State.

Results refer to losses of mineral soil as measured monthly in erosion plots in: 1) a 16 years old shade coffee plantation; 2) the same plantation in its first year after removing shade tree and replacing coffee plants by plants of *C. arabica* var *caturra*; 3) a 7 years old, highly productive sun coffee plantation. Our results show that: a) the amount of lost mineral material smaller than 4 mm represents the major distinction between the behavior of sun and shade coffee plots; b) total losses during the first year of the sun coffee culture are four times greater than those of the traditional shade coffee plot; c) as the cover of coffee plots in the unshaded plot increase soil activities in field plots (derived from agricultural practices) and the amount of mineral soil removed, contrasting with a low correlation with runoff and with rain fall erosivity.

## RESUMEN

En los Andes venezolanos, la forma tradicional de cultivo de café ha sido bajo sombra con la variedad *Coffea arabica* var *arabica*. Desde hace cerca de 20 años el Estado promueve el cambio de esa forma de cultivo hacia la modalidad llamada "café de sol" que implica la eliminación de los árboles de sombra

\* Centro de Investigaciones Ecológicas de Los Andes Tropicales (CIELAT), Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

(generalmente especies de la selva estacional) y el remplazo de los antiguos cafetos por los de otras variedades como *Coffea arabica* var bourbon y var caturra. Con el objeto de analizar las posibles consecuencias de este cambio en el balance hídrico, la erosión y la dinámica de nutrientes de los cafetales de laderas, se realizó un estudio en la zona cafetalera de Canaguá, Edo. Mérida.

Los resultados que se presentan son producto del seguimiento mensual de la pérdida de fracción medida en parcelas de erosión ubicadas en : 1) un cafetal de sombra de 16 años, 2) el mismo cafetal transformado en cafetal de sol en su primer año de implantación y 3) un cafetal de sol de 7 años (en plena producción).

Los resultados muestran que: a) la pérdida de la fracción mineral menor de 4 mm representa la mayor diferencia entre los montos de material erosionado en los cafetales de sol y sombra en plena producción, b) las pérdidas durante el primer año de implantación del cafetal de sol son cuatro veces superiores a las del antiguo cafetal de sombra, c) disminuye la erosión una vez que el cafetal de sol alcanza una mayor cobertura, y d) se presenta una alta correlación entre las actividades humanas dentro del cultivo (por labores agrícolas) y el aumento de la fracción mineral removida, en contraste con la baja correlación con la escorrentía y erosividad de las lluvias.

## INTRODUCCION

Tradicionalmente el café ha sido uno de los cultivos que mejor permite conservar algunas características del tipo de vegetación original donde se establece, siendo además rentable por ser muy aceptado tanto para el consumo interno de las regiones productoras como para exportación. Sin embargo, de las variedades de café cultivadas actualmente en Los Andes venezolanos, sólo la llamada "típica" o "café de sombra" (*Coffea arabica* var. *arabica*) posee esa doble ventaja, mientras las variedades de introducción más reciente (*C. arabica* variedades *bourbon*, *caturrea*, *catuai*, *mundo nuevo*, etc., llamadas "café de sol") conlleven la eliminación completa de la vegetación original.

En las vertientes lluviosas de Los Andes venezolanos, entre los 700 y 1800 m de altitud, se encuentran las características climáticas óptimas para el cultivo del café, lo que aunado a la alta diversidad de otros productos que se obtienen en los cafetales, así como el bajo requerimiento de insumos, el mantenimiento de la fertilidad y la alta calidad del producto, ha determinado el éxito de las plantaciones de *C. arabica* var. *arabica* desde el siglo pasado. El café cultivado bajo sombra siempre ha sido considerado como un ejemplo de utilización "racional" del ambiente (Coste, 1969; Jimenez Avila & Gómez-Pompa, 1982; Vishveswara & Jacob, 1983; Haarer, 1984; Hoffmann et al, 1987). El reemplazo

de estos cafetales por los de *var. bourbon* o *var. caturra* ha causado preocupación ya que estos últimos dejan mucho suelo desprotegido, requieren de altos insumos y tienden al monocultivo.

La forma original del cultivo en Venezuela, la llamada café de sombra (Figura 1), se realiza con la variedad *Coffea arabica* var. *arabica*, que fue la primera introducida en América y quizás la primera en cultivarse 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 resiembra en el cafetal árboles de la selva original los cuales forman un dosel laxo que conserva parte de la fisonomía de esa selva. Como árboles para dar sombra también pueden utilizarse frutales como cítricos, aguacates, musaceas, etc. que aumentan la diversidad de los productos de las fincas. La sobreposición de cafetos y árboles determina una alta cobertura del suelo y la formación de una gruesa capa de hojarasca. En principio no requiere de insumos para su mantenimiento, aunque el uso de fertilizantes aumenta su productividad. Todas las variedades de café son perennes, pero ésta es particularmente longeva ya que un cultivo bien mantenido puede tener una producción rentable durante 50 años.

Luego de la creación del Fondo Nacional del Café (FONCAFE) en 1975, el gobierno nacional promovió a través de este organismo el reemplazo de esa variedad por otras "de sol", en particular *bourbon*, *caturrea*, *catuai* y *mundo nuevo*. Estas variedades popularizadas por Brasil requieren estar a pleno sol para su desarrollo, de modo que los cafetos se siembran aislados dejando suelo desnudo entre ellos (Figura 1). Además en este caso, es indispensable el uso de fertilizantes para alcanzar y mantener niveles de producción comerciable. Los cultivos de esta variedad pueden mantenerse productivos durante 16 años, un tercio de los cafetales de sombra.

En relación al impacto sobre la erosión causado por el cambio de cafetales de sombra a cafetales de sol, se ha sugerido que: a) el suelo es más susceptible de ser erosionado en razón de la disminución de la cobertura vegetal, y b) el período más crítico en los cafetales (la fase de implantación) ocurre cada 17 años en los de sol y sólo cada 50 años en el de sombra (Sanchez 1976, Van Putten 1985, Rice 1990, Ataroff and Monasterio 1995a).

## OBJETIVOS DEL TRABAJO

Esta política nacional obedece sin duda a un deseo de aumentar la producción de café, pues las variedades de sol son, en promedio, tres veces más productivas. Sin embargo, no se ha hecho un análisis de las consecuencias de la implantación de un nuevo paquete tecnológico, en particular del impacto

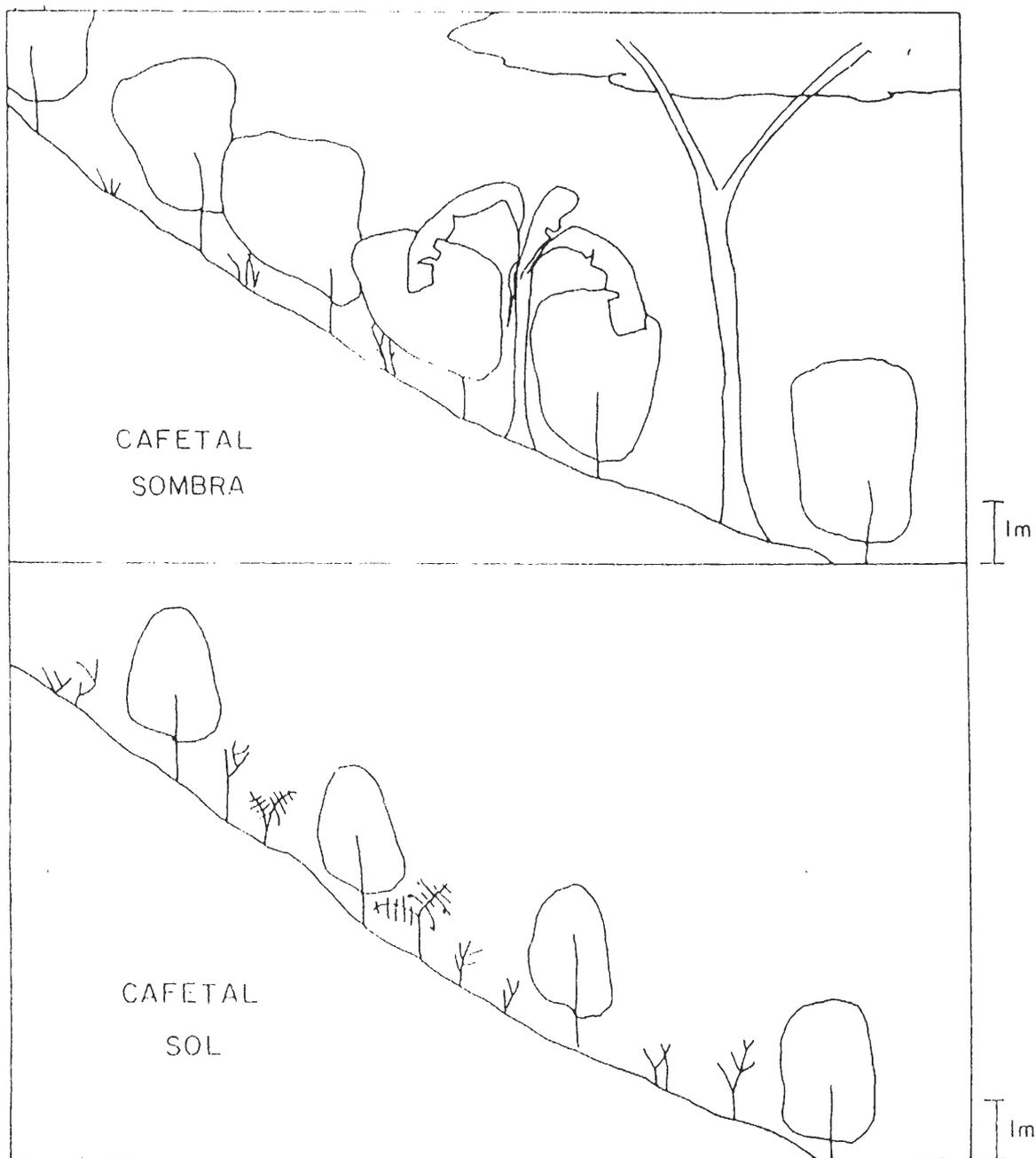


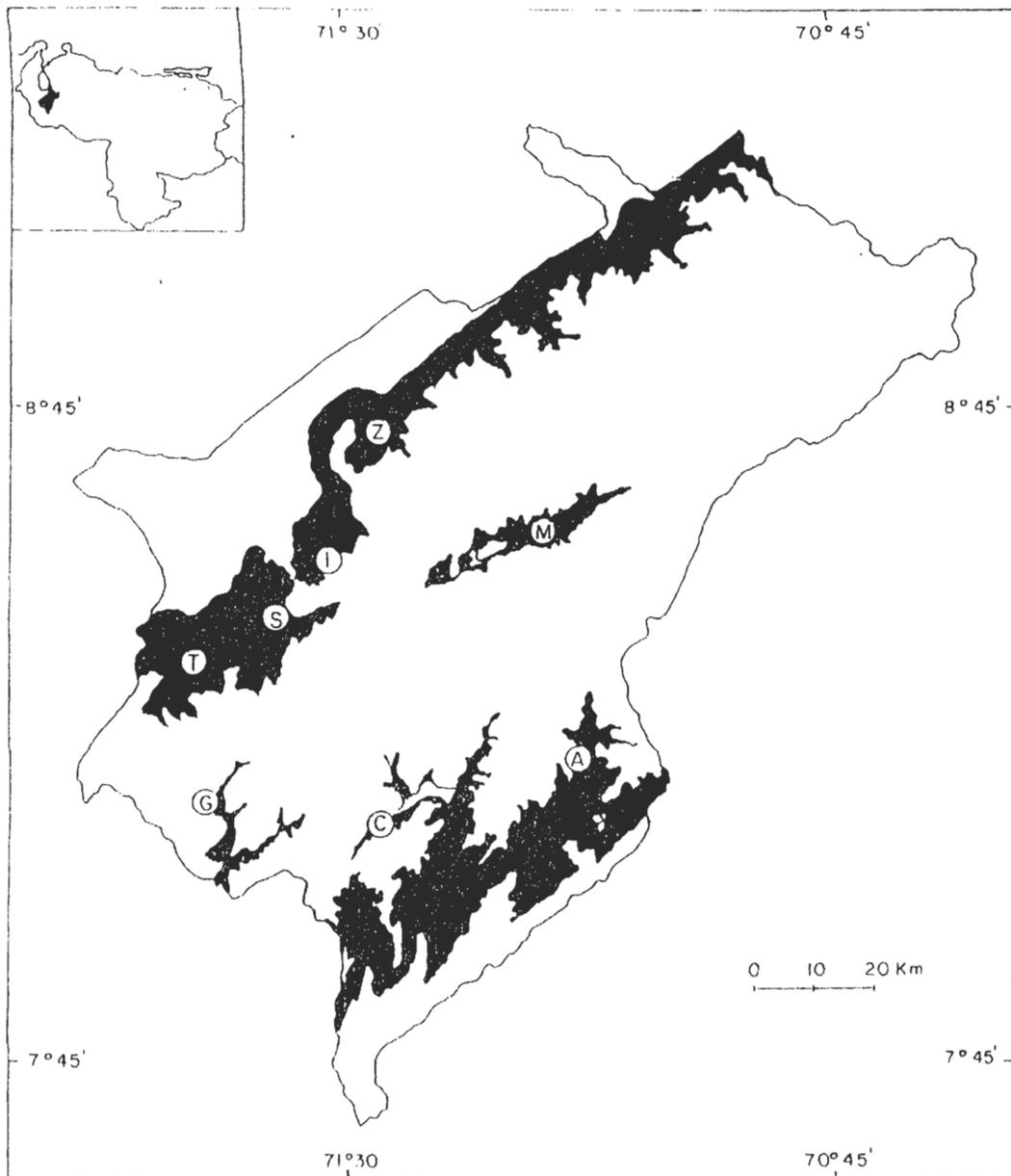
Figura 1. Estructura y fisonomía de los cafetales de sol y sombra.

ecológico que pueda causar. En este sentido, las características ecológicas de las áreas cultivadas con café determinan la capacidad de esas áreas de mantener su estabilidad frente a cambios tecnológicos. Los Andes del Estado Mérida (uno de los tres Estados andinos venezolanos) tienen pocos terrenos planos, que corresponden a terrazas en general dedicadas a cultivos que obligatoriamente requieren terrenos planos para alcanzar niveles comerciados como la caña y las hortalizas, mientras el café puede cultivarse sobre las laderas, aún las de fuertes pendientes, con suelo poco profundo. Estas condiciones de substrato unidas a las precipitaciones importantes de las zonas cafetaleras hace que el sistema sea potencialmente frágil bajo manejos inadecuados.

El proceso de cambio en el Estado Mérida ha sido lento y muchos cafetales de sombra se mantendrán por mucho tiempo, de modo que aún es tiempo de estudiar sus principales consecuencias y darlas a conocer. Con este objetivo, se inició un proyecto de mediano plazo con cuatro líneas de estudio que representan los cuatro aspectos que podrían ser más afectados por el cambio tecnológico: balance hídrico, dinámica de la hojarasca, balance de nutrientes y procesos erosivos. El análisis global de estos problemas implica varios años de trabajo (Hurni, 1983; Roose, 1981), que permitan hacer una evaluación considerando las variaciones ambientales interanuales. En esta oportunidad, sólo presentaremos los resultados sobre el análisis de la erosión en 1) dos ciclos anuales en cafetales de sol y sombra en plena producción y 2) el impacto de los dos primeros años de transformación de un cafetal de sombra hacia uno de sol.

## AREA DE ESTUDIO

Para realizar las mediciones necesarias con el fin de analizar la erosión en cafetales, se seleccionó una finca en el área de Canaguá, una de las principales zonas cafetaleras del Estado Mérida (Figura 2). Aparte de la generosa y desinteresada colaboración de los caficultores propietarios de la finca (la familia Mora Mora), una de las principales ventajas fue el disponer de cafetales con diferentes formas de manejo: uno de sol con una mezcla de cafetos de las variedades *bourbon* y *caturre* y otro de sombra con cafetos variedad *arabica* sombreados por *Inga oerstediana* (guamo), este último fue transformado en un cafetal de sol con la variedad *caturre*. Estos cafetales son contiguos y tienen la misma pendiente, 31°. Estas parcelas se encuentran a 1730 m de altitud, con un substrato compuesto fundamentalmente por esquistos y areniscas ligeramente metamorizadas (Formación Mucuchachí), sobre las que se ha desarrollado un suelo Humitropep franco esquelético, en el cual sólo los primeros 30 cm parecen penetrables por las raíces de los cafetos. El área tiene anualmente en promedio 1750 mm de precipitación y 18°C de temperatura y corresponde al límite superior de la selva estacional montana (Sarmiento *et al*, 1971).

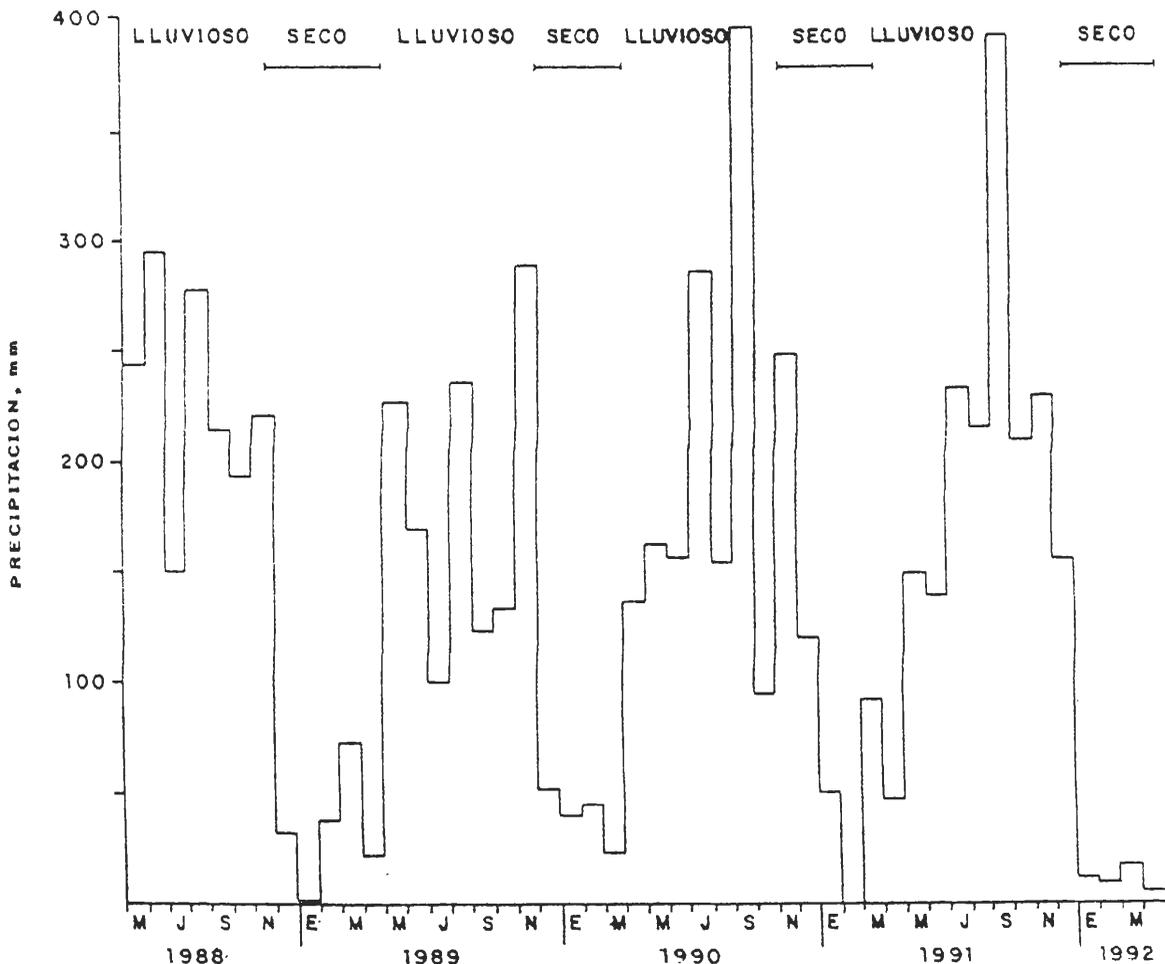


**Figura 2.** Distribución de las zonas potencialmente cafetaleras del Estado Mérida. Ubicación de algunos centros cafetaleros y la capital del Estado: M: Mérida, C: Canaguá, A: Aricagua, G: Guaraque, T: Tovar, S: Santa Cruz de Mora, I: Chiguará, Z: La Azulita.

Las precipitaciones presentan dos períodos anuales bien diferenciados (uno lluvioso y otro seco) entre los cuales existe un mes de transición cuyas características de secos o húmedos varían enormemente de un año a otro (Figura 3).

## EL SISTEMA CAFETALERO

Desde el punto de vista ecológico, el sistema cafetalero está integrado por: a) la vegetación del cafetal, es decir los cafetos más las hierbas y malezas varias, otras especies sembradas como cambures, plátanos, etc. y, en el caso de cafetales de sombra, los árboles para sombra, sean frutales o no; b) la hojarasca y c)



el suelo, en forma particular los horizontes explotados por las raíces del cultivo (en nuestro caso 30 cm).

En los cafetales estudiados, la fenología de la vegetación es de particular importancia dado que se pueden reconocer varias fases diferentes a lo largo de un ciclo anual (Figura 4), con las que deben relacionarse las actividades agrícolas. Así, durante el período seco los cafetos están en la etapa de maduración de sus frutos de modo que las labores de cosecha se encuentran concentradas en este lapso, igualmente, con frecuencia se aprovecha el final de este período para realizar una fertilización del suelo antes del inicio de la floración y desarrollo de nuevas hojas. Como durante el período seco los cafetos pierden paulatinamente casi todo su follaje, éste se regenera en los primeros meses del período lluvioso mientras ocurre la floración. A lo largo del período lluvioso, los frutos se desarrollan y los caficultores proceden a fertilizar el suelo en una o dos oportunidades con el fin de favorecer ese desarrollo, terminando por hacer un deshierbe antes que termine la maduración de los frutos de forma que los cafetos no tengan competencia en ese lapso.

## MUESTREO EN EL TERRENO

A finales de 1987, en parcelas seleccionadas de ambos tipos de cafetal se instaló una serie de dispositivos que generaron información sobre los flujos de agua en el sistema, los movimientos de hojarasca y las pérdidas de fracción mineral del suelo, estos últimos consistentes en una parcela de erosión en cada cafetal de 6x2 m para medir drenaje superficial (escorrentía) y arrastre de materiales por erosión.

Se separó la fracción mineral erosionada en dos categorías: menor y mayor de 4 mm.

La toma de datos en el campo se ha hecho aproximadamente cada 10 días en la época lluviosa y cada 20 días en la seca, habiéndose desechado los primeros meses de datos por su posibilidad de ser afectados por la alteración causada en la instalación de las parcelas. Durante todo el trabajo ninguna actividad agrícola fue interrumpida o modificada por los caficultores.

Los datos presentados en este trabajo corresponden al lapso mayo 1988-abril 1990, en lo referente a la comparación de los cafetales de sol y de sombra en plena producción. En mayo de 1990, parte del cafetal de sombra fue transformado por el propietario en cafetal de sol, provocando el secado de los árboles y la tala de los cafetos existentes, después de lo cual plantó cafetos de la variedad de sol *Coffea arabica var. caturra*. El nuevo cafetal de sol se estudió a lo largo de los siguientes dos años (mayo 1990 - abril 1992).

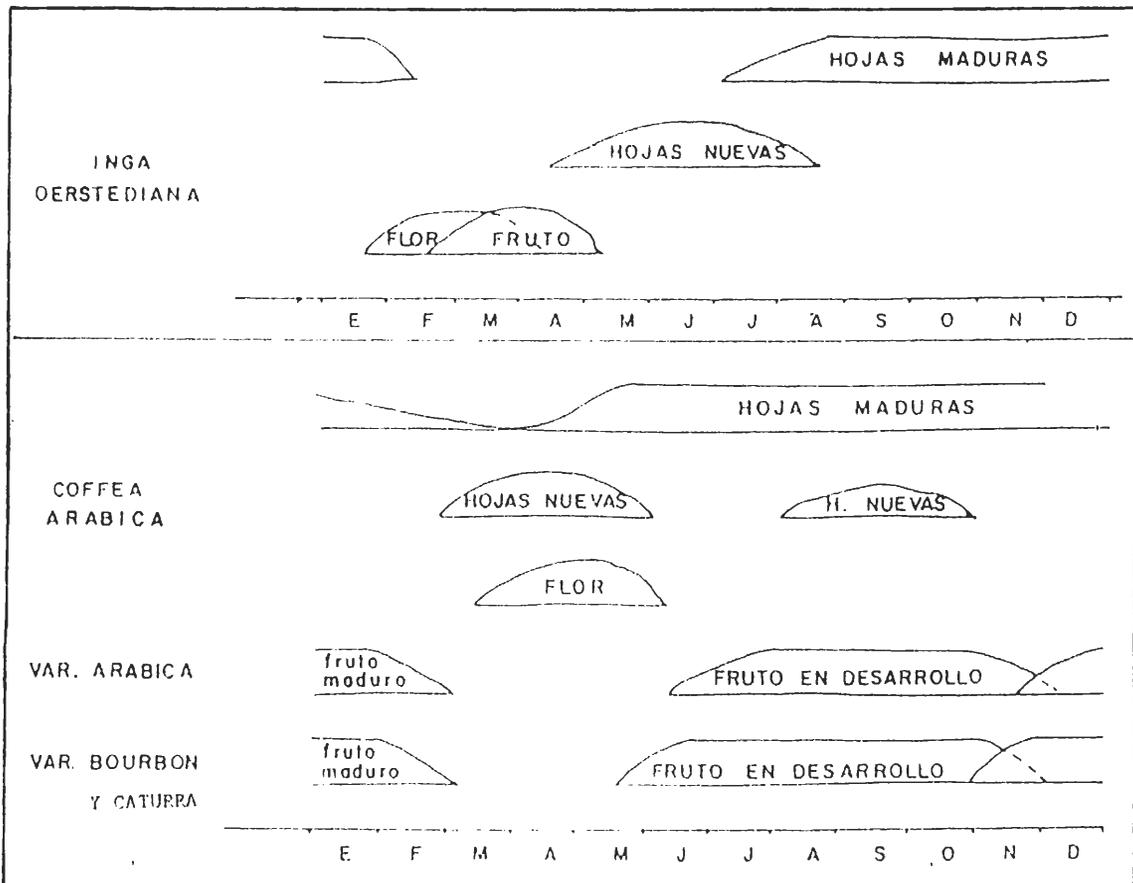


Figura 4. Fenología de las variedades de café de sol y sombra *Coffea arabica* var *arabica*, *caturra* y *bourbon*, así como del árbol sombreante *Inga oerstediana*, en el área de estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSION

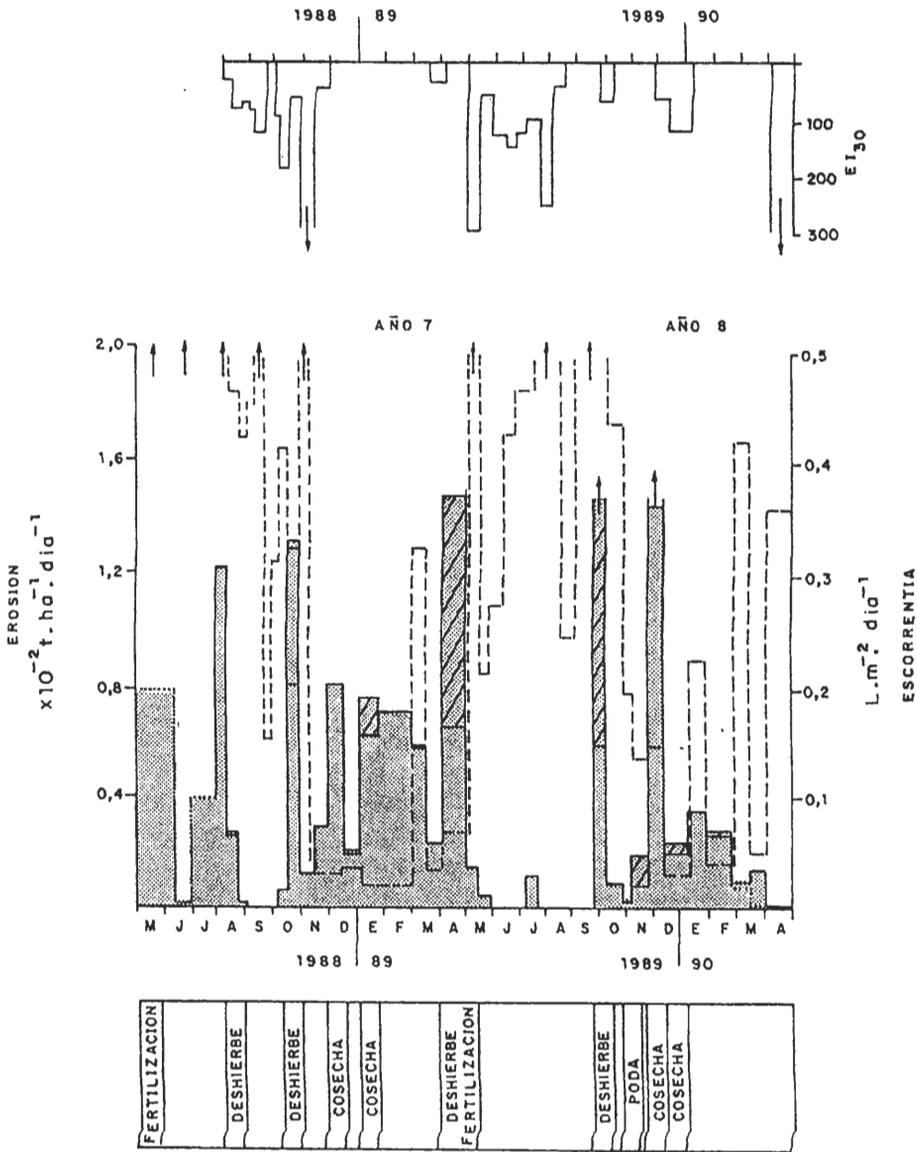
La erosión en un área incluye todas las pérdidas de material del suelo, tales como nutrientes disueltos y fracción mineral, además de la hojarasca arrastrada. La fracción mineral es sin duda la más estudiada por sus consecuencias en los cambios físicos del perfil, los cuales en casos extremos pueden llegar a la desaparición de horizontes. Es también la fracción más difícil de reemplazar. En esta discusión consideraremos sólo las pérdidas en fracción mineral.

## 1. MAGNITUD DE LAS PERDIDAS

Comparando los dos cafetales, de sol y de sombra, en plena producción, para el mismo período se nota una mayor pérdida de fracción mineral en el de sol (Cuadro 1, Figuras 5 y 7). Durante los dos primeros años de estudio, la pérdida de la fracción menor de 4mm en el cafetal de sol ( $1.569$  y  $0.734 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ ) fue el doble que en el de sombra ( $0.790$  y  $0.430 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ , respectivamente). Damos mayor importancia 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 centímetros 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 uno 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.

La pérdida de material varía mucho de un año a otro (Cuadro 1). Durante el lapso comparable entre cafetales de sol y sombra en plena producción (mayo 1998 a abril 1990) la pérdida promedio de la fracción menor de 4 mm es de  $1.152$  y  $0.610 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ , respectivamente, lo cual nos permitiría sugerir una tasa de pérdida de 1 cm cada 140 años en los cafetales de sombra y 79 años en los de sol (cada centímetro en profundidad (para los primeros 10 cm) tiene  $86.013 \text{ t.ha}^{-1}$  de fracción menor de 4 mm en el cafetal de sombra y  $90.888 \text{ t.ha}^{-1}$  en el de sol).

Durante el primer año de implantación del cafetal las manipulaciones a las que se ve sometido el sistema tienen como consecuencia un aumento importante de la erosión (Cuadro 1, Figura 8): 1) primero se corta la vegetación anterior (en nuestro caso un cafetal de sombra), 2) se abren huecos y se planta en ellos los pequeños cafetos crecidos en viveros, 3) se fertiliza y 4) se deshierba. Todas esas actividades (en especial la apertura de huecos) implican una alteración en el horizonte superficial del suelo cuyos efectos perduran varios meses. Ese primer año de perturbación ocasionó pérdidas de la fracción menor de 4 mm de más de cuatro veces ( $3.220 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ ) que el promedio de un cafetal de sol entre su 7º y 10º año ( $0.770 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ ) y seis veces mayor si se considera toda la fracción mineral. Suarez de Castro y Rodriguez (1955, citado por Sanchez 1976) registraron que la erosión se triplicó en la fase de establecimiento de la planta-



**Figura 5.** Erosión de la fracción mineral en el cafetal de sol en plena producción entre agosto 1988 y abril 1990. En esta figura se muestra: 1) en el gráfico central, la relación entre esa pérdida a lo largo del año (sombreada, el área rayada indica fracción mayor de 4mm) y la escorrentía (línea punteada); 2) en el gráfico superior, la erosividad de las lluvias entre agosto 1988 y julio 1989 por el índice  $EI_{30}$  ( $Mj \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$ ), y 3) en el gráfico inferior, lapsos en que ocurrieron las actividades agrícolas.

ción (1.80 t.ha<sup>-1</sup> contra 0.60 t.ha<sup>-1</sup> en una plantación ya establecida, en Colombia).

**Cuadro 1.** Pérdida de la fracción mineral (t.ha<sup>-1</sup>) por período, indicando el número de incursiones (I) en el cafetal para labores agrícolas.

periodo	caf. sombra 16 años			caf. sombra 17 años			caf. sol 1 año			caf. sol 2 años		
	<mm	>4mm	I	<mm	>4mm	I	<mm	>4mm	I	<mm	>4mm	I
lluvioso	0.489	0.910	2	0.195	0.048	0	2.973	3.099	6	0.406	0.751	1
seco	0.301	0.097	2	0.235	0.168	1	0.247	0.295	0	1.738	0.595	3
total/fr.	0.790	1.007		0.430	0.216		3.220	3.394		2.144	1.346	
total/año	1.797		4	0.646		1	6.614		6	3.490		4
periodo	caf. sol 7 años			caf. sol 8 años			caf. sol 9 años			caf. sol 10 años		
	<mm	>4mm	I	<mm	>4mm	I	<mm	>4mm	I	<mm	>4mm	I
lluvioso	0.459	0.009	3	0.224	0.786	1	0.180	0.048	4	0.177	0.124	1
seco	1.110	0.242	4	0.510	0.313	3	0.134	0.026	2	0.285	0.152	2
total/fr.	1.569	0.251		0.734	1.099		0.314	0.074		0.462	0.276	
total/año	1.820		7	1.833		4	0.388		6	0.738		3

Si consideramos las pérdidas totales, la Figura 9 muestra una proyección de lo que pueden ser las tasas de pérdida durante los primeros diez años de vida del cafetal de sol, con un promedio para los últimos cuatro años de 1.2 t.ha<sup>-1</sup> (con oscilaciones anuales que analizaremos más adelante y que dependen principalmente de las actividades agrícolas). De acuerdo con esa tendencia, hasta el 10<sup>o</sup> año se habrían perdido 25.5 t.ha<sup>-1</sup>.

El monto total de las pérdidas es bajo en las plantaciones en plena producción de ambos cafetales. Otros autores también ha señalado bajos valores de erosión en cafetales de zonas montañosas en América tropical: Lizaso (1980) midió 1.360 t.ha<sup>-1</sup> en los tres meses de mayor precipitación en el noreste de Los Andes venezolanos, Renda et al. (1988) trabajando en cafetales de sombra en Cuba, registró 0.0035 y 0.0012 t.ha<sup>-1</sup> en pendientes de 12° y 9° respectivamente bajo lluvia simulada de 25 mm (con 1.6 y 1.85 mm.min<sup>-1</sup>).

## 2. MECANISMOS EROSIVOS

Varios factores han sido señalados tradicionalmente como responsables fundamentales de las pérdidas por erosión bajo climas lluviosos: erosividad de las lluvias, erosionabilidad de los suelos, grado y longitud de la pendiente, cobertura vegetal y uso de la tierra. En nuestro caso, los tres primeros factores son iguales en ambos cafetales, de modo que los montos perdidos dependen de la cobertura vegetal y la forma de manejo. Se supone que al aumentar la cobertura vegetal disminuye el efecto de erosividad de las lluvias, y, en consecuencia, la erosión debe disminuir. En este sentido el cafetal de sombra debería tener menor erosión por tener mayor protección. En cuanto a la forma de manejo, ésta puede tener o no un efecto negativo sobre la erosión, dependiendo de sus características.

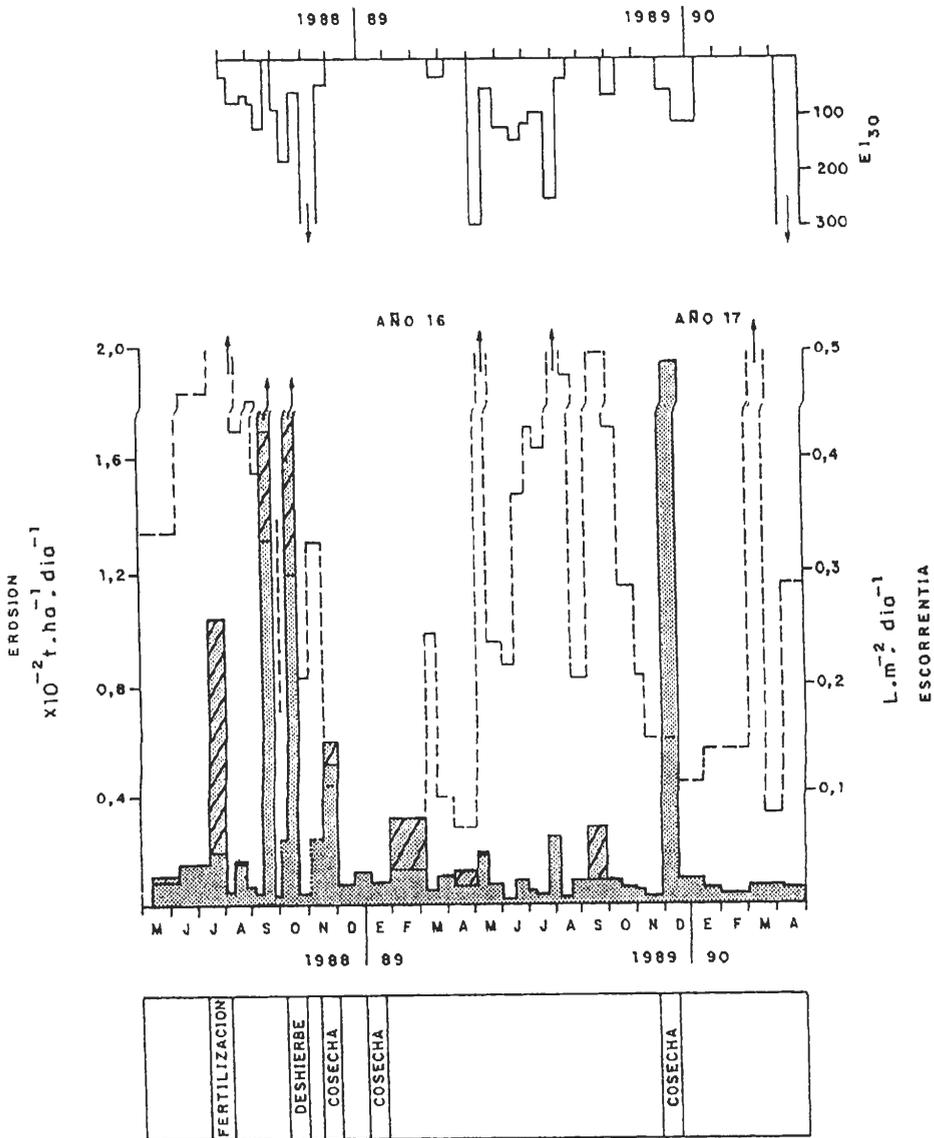
Si analizamos el ritmo anual de las pérdidas (Figuras 5, 6, 7 y 8) notamos que es distinto en cada cafetal estudiado. Sin embargo, de los factores que cambian a lo largo del año, ni la erosividad de las lluvias (Figuras 5 y 7) ni la escorrentía siguen el mismo patrón que la erosión (Figuras 5, 6, 7 y 8). Por el contrario, la forma de manejo, en lo referente a la frecuencia de incursiones humanas en el cafetal para diversas labores agrícolas, se muestra altamente relacionada a la magnitud de las pérdidas de la fracción mineral en cada caso (Figuras 5, 6, 7 y 8).

Las actividades agrícolas rutinarias dentro de los cafetales comprenden las labores de fertilización, deshierbe, poda y cosecha. El análisis de la ocurrencia de estas actividades en los cafetales estudiados indica que, en promedio, en un cafetal de sombra se realiza anualmente una fertilización, una o dos cosechas dependiendo del año, y eventualmente un deshierbe o poda (2.5 incursiones anuales). En un cafetal de sol las actividades son más frecuentes: se realizan, en promedio anual, una fertilización, dos deshierbes y dos cosechas (5 incursiones anuales). Se nota en el Cuadro 1, que al aumentar la frecuencia de incursiones al cafetal durante el período seco aumenta la pérdida de la fracción mineral.

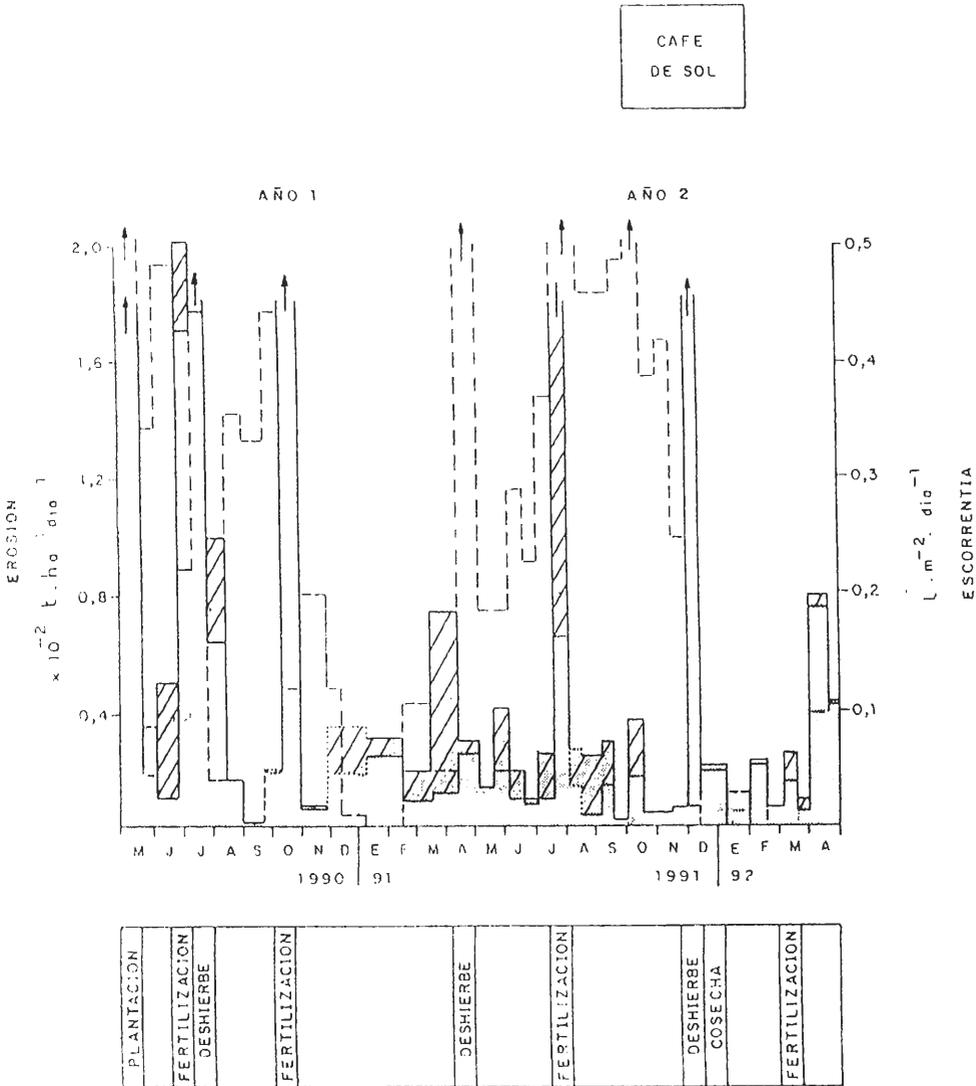
Estas incursiones dentro de los cafetales significan un mayor pisoteo. En zonas de fuerte pendiente como en este caso, el pisoteo desplaza los primeros centímetros del suelo bajo cada pisada y ese efecto se intensifica cuando esa capa superficial del suelo es más seca.

En los cafetales bien establecidos, las diferencias en cobertura vegetal (82% en cafetal de sombra y 66% en el de sol) y la cantidad de hojarasca (1.15 Kg secos.m<sup>-2</sup> en el cafetal de sombra y 0.39 en el de sol, Ataroff and Monasterio 1995b) pueden ser fundamentales en determinar la magnitud de las pérdidas

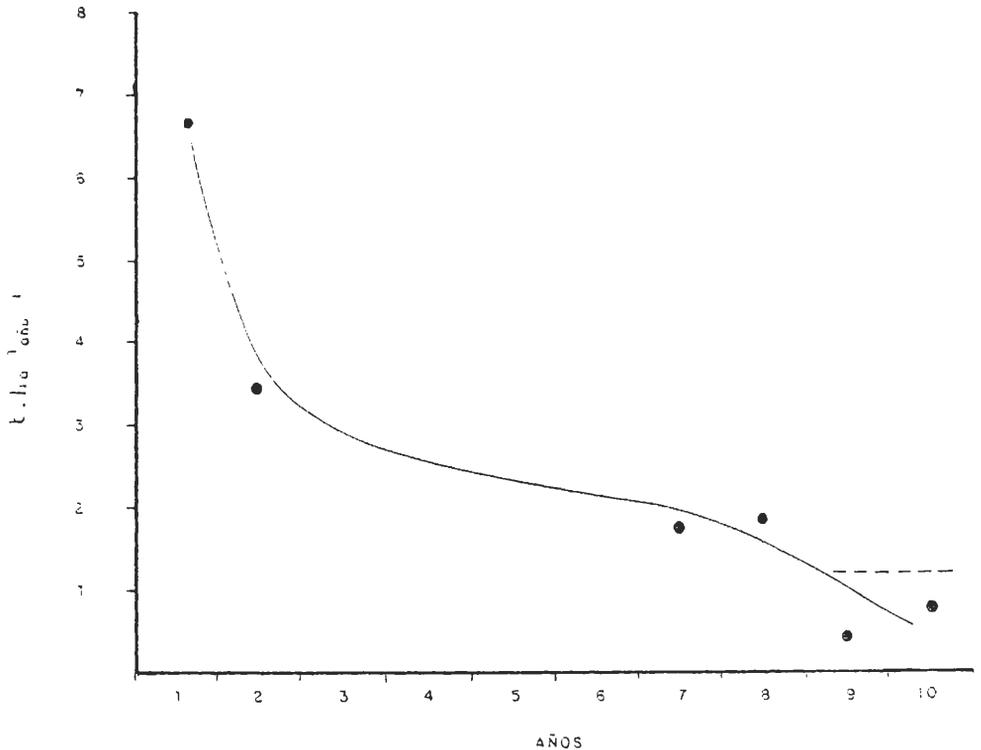




**Figura 7.** Erosión de la fracción mineral en el cafetal de sombra en plena producción entre agosto 1988 y abril 1990. En esta figura se muestra: 1) en el gráfico central, la relación entre esa pérdida a lo largo del año (sombreada, el área rayada indica fracción mayor de 4mm) y la escorrentía (línea punteada); 2) en el gráfico superior, la erosividad de las lluvias entre agosto 1988 y julio 1989 por el índice EI<sub>30</sub> (Mj.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>), y 3) en el gráfico inferior, lapsos en que ocurrieron las actividades agrícolas.



**Figura 8.** Erosion de la fracción mineral en el cafetal de sol durante su primero y segundo año entre mayo 1990 y abril 1992 (continuación de la Figura 7). En esta figura se muestra: 1) en el gráfico central, la relación entre esa perdida a lo largo del año (sombreada, el área rayada indica fracción mayor de 4mm) y la escorrentía (línea punteada); y 2) en el gráfico inferior, lapsos en que ocurrieron las actividades agrícolas.



**Figura 9.** Erosión del total de la fracción mineral en cafetales de sol según su edad.

durante la época seca cuando los primeros centímetros del suelo están secos y la posibilidad de disgregación es mayor. En ese momento, una lluvia aislada después de un pisoteo no necesita ser muy fuerte para que se rompan los agregados y el agua de escurrimiento (aunque sea poca) arrastre el material. Esto se observa con mayor frecuencia cuando el suelo está más desprotegido como en el cafetal de sol.

Durante el primer año de la implantación no hubo movimientos importantes en la época seca, así que la erosión fue menor en ese periodo a pesar de estar en un año de gran perturbación (Cuadro 1). El corte de los antiguos cafetos y la plantación de los nuevos crea una alteración importante que ocasiona

grandes pérdidas inmediatas y mayores aún dos meses después, cuando los caficultores entran al cafetal para fertilizarlo y eliminar la maleza en crecimiento (Figura 8). Cinco meses más tarde, el efecto se sigue sintiendo cuando una nueva incursión para fertilizar ocasiona una gran pérdida de material. Sin embargo, en el segundo año las pérdidas totales disminuyeron significativamente aunque fueron muy superiores a las registradas en el cafetal de sol de 7 a 10 años, y se debieron principalmente a las actividades durante la época seca (Cuadro 1).

Los movimientos registrados de los caficultores durante las actividades agrícolas permiten explicar 3 de los 4 grandes picos de pérdida de material en el cafetal de sombra, 6 de 7 picos en el cafetal de sol entre 7 y 8 años, 4 de 6 en el cafetal de sol entre 9 y 10 años y 6 de 8 en el cafetal de sol entre su primer y segundo años.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos hasta ahora indican que la pérdida de la fracción mineral fina (menor de 4 mm) constituye la diferencia más importante entre los cafetales de sol y sombra, y probablemente la de mayores consecuencias: para un mismo período de dos años, esta pérdida fue de  $0.61 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  en el cafetal de sombra y de  $1.15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  en el de sol. Más del 98% del material del horizonte superficial está constituido por esa fracción, así que su pérdida puede ser grave para ese suelo de sólo 30 cm de horizonte funcional. Considerando el total de las pérdidas para ese mismo período, en el cafetal de sombra fue de  $1.22 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  y en el de sol  $1.82 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ .

Sin embargo, hasta que tengamos idea de las tasas de formación de suelo para la zona, los valores de pérdida de material pueden considerarse bajos. Incluso la tasa máxima de pérdida de la fracción mineral, que suponemos es la del primer año de alteración, muestra valores moderados ( $6.61 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ). El mayor motivo de preocupación frente a estos valores es que el grosor del horizonte funcional también es pequeño.

En la zona estudiada, la erosividad de las lluvias y la escorrentía son bajas en ambos tipos de manejo, siendo las diferencias en las actividades agrícolas el principal factor en la remoción de la fracción mineral. En este sentido, los cafetales de sombra que requieren menos incursiones muestran menor erosión.

Los valores de erosión para los cafetales en plena producción corresponden a las condiciones más favorables para estos suelos, es decir, que en ese momento ambos cafetales están en el mínimo de sus perturbaciones por actividades agrícolas porque: 1.- ha pasado suficiente tiempo para que se hayan mitigado

los efectos de instalación (de 7 a 10 años para el cafetal de sol, 16 y 17 años para el de sombra) y 2.- 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 30 años para el cafetal de sombra y 6 para el de sol, después de lo cual habrá que eliminar los cafetos viejos y preparar el terreno para la nueva plantación, lo que provoca un aumento muy importante de la erosión, como hemos podido apreciar con los resultados para los primeros dos años del cultivo. La frecuencia de esta alteración es más del triple para cafetales de sol.

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 tiene un mayor papel en la fertilidad del suelo por sus características fisicoquímicas aunque sus montos no sean muy elevados (Zachar, 1982); en nuestro caso la pérdida de esa fracción es mucho más alta en el cafetal de sol.

La importancia de la precipitación y la escorrentía en la erosión parece muy limitada, aunque sí parece evidente que como consecuencia de la mayor evaporación en la superficie del suelo del cafetal de sol, la sequedad de los primeros centímetros de suelo facilita su desplazamiento por pisoteo. Así, en aquellos años con mayor movimiento de personas en los cafetales durante el período seco también es mayor la erosión.

A pesar de la fuerte pendiente (31°), el agua de escorrentía es una proporción pequeña de la que llega a la superficie del suelo (5-7%, Ataroff and Monasterio 1995b), indicando que se trata de suelos con una alta capacidad de infiltración, quizás más susceptibles de sufrir movimientos de masa que erosión superficial como la que estamos midiendo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha recibido apoyo financiero de CONICIT (SI-1970), CONICIT REGIONAL LOS ANDES (CRA-001-87), CDCHT-ULA (C-324-87), Consejo de Estudios de Postgrado ULA. Estamos muy agradecidas a la familia Mora por permitirnos trabajar en su finca, y al personal técnico del CIELAT, Hely Saul Rangel, Luis Nieto y David Dugarte. Este trabajo forma parte del Programa: Tropical Mountain Ecosystems, IUBS/MAB-UNESCO.

## **BIBLIOGRAFIA**

ATAROFF, M. & MONASTERIO, M. 1995a. Impacto ecológico de los agroecosistemas cafetaleros en el Estado Mérida. En GIACALONE, R. (Ed.): Mérida a Través del Tiempo. Tomo 3. Universidad de Los Andes, Mérida, en prensa.

- ATAROFF, M. & MONASTERIO 1995b. Cambios ecológicos producto de cambios tecnológicos en sistemas cafetaleros de Los Andes venezolanos. En LIBERMANN, M. (Ed.): Memorias del II Simposio Internacional Desarrollo Sostenible de Ecosistemas de Montaña. En prensa.
- COSTE, R. 1969. El Café. Blume Ed., Barcelona.
- HAARER, A.E. 1984. Producción Moderna de Café. Ed. Continental (C.E.C.S.A.), Mexico.
- HOFFMANN, O., BLANC-PAMARD, C. & ROSSIGNOL, J.P. 1987. Paisaje y sociedad en un ejido veracruzano (Xico). Prácticas campesinas y dinámicas cafetaleras. INEREB-ORSTON, México. 74 pp.
- HURNI, H. 1983. Soil erosion and formation in agricultural ecosystems: Ethiopia and Northern Thailand. Mountain Research and Development 3(2): 131-142.
- JIMENEZ, E. & GOMEZ-POMPA, A. 1982. Estudios Ecológicos en el Agroecosistema Cafetalero. Ed. Continental (C.E.C.S.A.), México. 150 pp.
- LIZASO, J. 1980. Erosión laminar bajo diferentes coberturas y pendientes en un Palehumult de las cuencas altas del programa Guanare-Masparro. CIDIAT, Mérida, Venezuela, 149 pp.
- RENDA, A., MOLINA, R., HERRERO, J. & MOLINA, G. 1988 Algunas consideraciones sobre la erosión de los principales suelos de la Sierra Maestra. Seminario-Taller Latinoamericano sobre Manejo de Ecosistemas Protegidos en Zonas de Montaña. Santiago de Cuba.
- ROOSE, E. 1981. Dynamique actuelle de sols ferralitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Travaux et Documents de l'ORSTOM, N°130, Paris.
- RICE, R.A. 1990. Transforming Agriculture: The Case of Coffee Leaf Rust and Coffee Renovation in Southern Nicaragua. California Univ., Berkeley, Ph.D. Tesis, 304 pp.
- SANCHEZ, P.A. 1976. Properties and Management of Soils in the Tropics. John Wiley & Sons, New York, 618 pp.
- SARMIENTO, G., MONASTERIO, M., AZOCAR, A., CASTELLANOS, E. & SILVA, J. 1971. Vegetación Natural. Estudio Integral de la Cuenca de los Ríos Chama y Capazón. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Los Andes, Mérida.
- VAN PUTTEN, J.H. 1985. Soil conservation in coffee plantations in the Mareeba district. Queensland Agricultural Journal Jan-Feb:51-53
- VISHVESHWARA, S. & JACOB, V.J. 1983. Coffee management with special reference to shade nutrition and plant training. Indian coffee 47(2):9-12
- WISCHMEIER, W.H. & 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, Elsevier Scientific Pub., Amsterdam.