

## CAMBIOS ECOLÓGICOS PRODUCTO DE CAMBIOS TECNOLÓGICOS EN SISTEMAS CAFETALEROS DE LOS ANDES VENEZOLANOS

Michele ATAROFF y Maximina MONASTERIO

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

### Introducción

La implementación de cambios tecnológicos en el medio rural genera preocupación por los "efectos secundarios" que pueda ocasionar. Secundarios no por ser menos importantes sino por no referirse al problema que esa nueva tecnología quiere resolver y que, en general, es aumentar la productividad o mejorar la calidad del producto (o ambas).

Esos "efectos secundarios" comienzan a inquietar a todos cuando se hacen tan importantes que amenazan los fines para los cuales se realizó el cambio tecnológico, por ejemplo, cuando amenazan con disminuir la productividad a corto o mediano plazo haciendo insostenible el sistema. Sin embargo, no todos los cambios tecnológicos conducen a una desestabilización, por ello es importante estudiar en cada caso hasta que punto esos cambios afectan al sistema.

Con la idea de analizar el impacto del cambio en la forma de manejo de los cultivos de café en Los Andes de Venezuela, iniciamos una serie de estudios sobre las consecuencias ecológicas del reemplazo de los cafetales tradicionales de las laderas andinas (cultivos de *Coffea arabica* var. *arabica* sombreados por especies nativas de árboles o frutales) por cafetales que crecen a plena exposición solar (*C. arabica* variedades *bourbon*, *caterra*, *catuai*, *mundo nuevo*).

### El cambio en la caficultura

A mediados del siglo pasado, Los Andes venezolanos sufrieron un fuerte impacto en su economía y ambiente por la instalación de cultivos de café en forma muy extendida en las cuencas húmedas entre los 700 a 1900 m, lo que dio origen a toda la zona cafetalera actual.

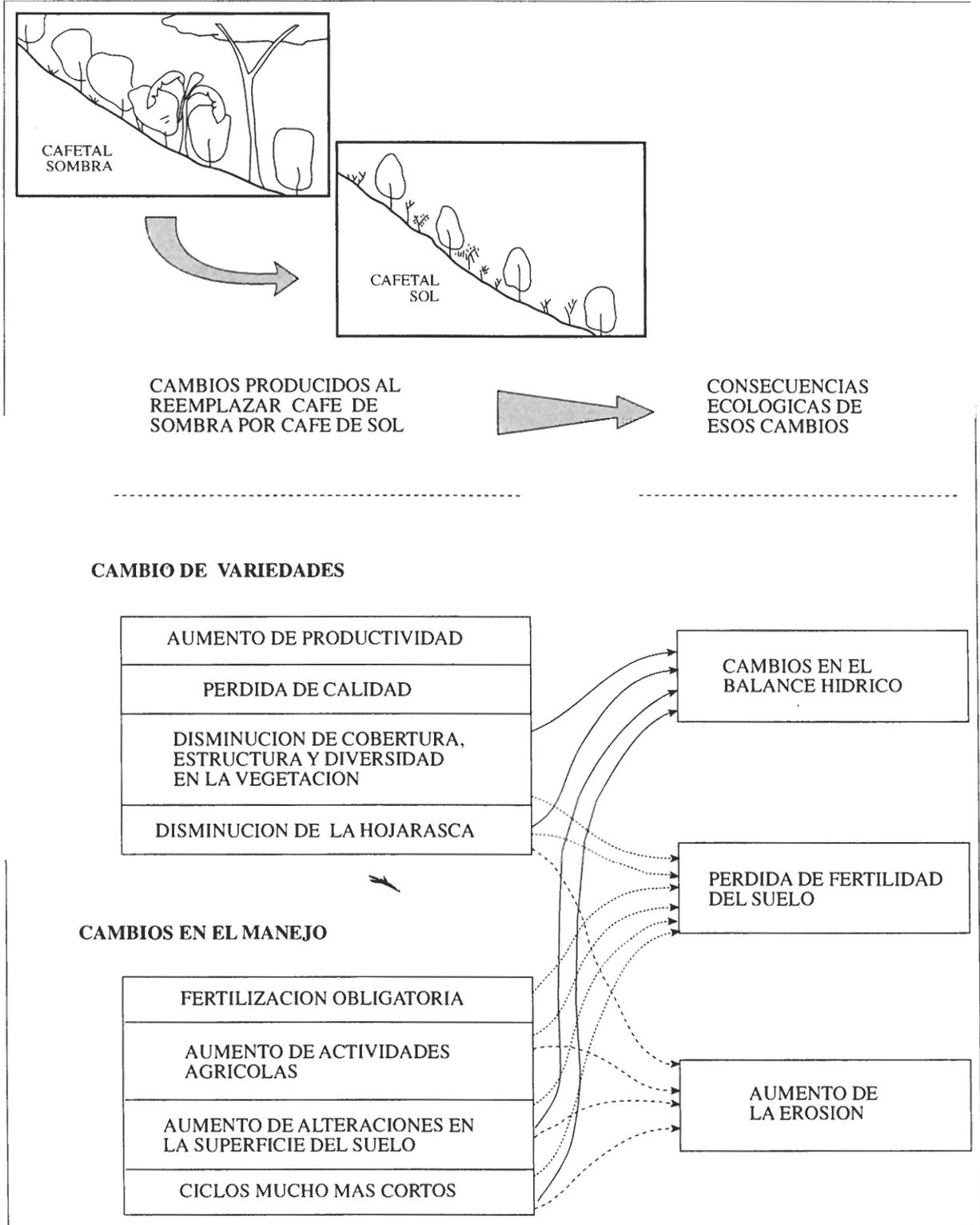
Estos cafetales eran de *Coffea arabica* var. *arabica*, la primera variedad llegada a América. Esta variedad crece a la sombra por lo que hubo que plantar árboles junto a los cafetos y para ello se seleccionó una serie de especies de la selva original (selva estacional montana) como *Erythrina poeppigiana*, *E. glauca*, *Cedrela americana*, *Inga edulis*, *I. oerstediana*, *I. punctata*. En este tipo de plantación (la cual sigue realizándose y que llamamos café de sombra) la estructura comprende un dosel más o menos abierto de árboles de sombra con un sotobosque de cafetos, manteniéndose sobre el suelo una gruesa capa de hojarasca. En muchas fincas se ha

reemplazado parte de los árboles de sombra por frutales como cítricos, aguacates y musáceas, con lo cual se aumenta la diversidad de productos extraídos del cafetal. Entre sus características más resaltantes están: el tener una gran cobertura vegetal (lo que debe minimizar la erosión), un buen ciclaje de nutrientes (por lo que la fertilización no es indispensable) y una productividad que puede ser rentable durante más de 50 años.

Este tipo de cafetal ha sido considerado en todo el planeta como un ejemplo de utilización "racional" del ambiente (Coste 1969, Jimenez y Gomez-Pompa 1982, Vishveswara y Jacob 1983, Haarer 1984, Hoffmann *et al* 1987).

Desde 1975, el Gobierno Nacional (a través del Fondo Nacional del Café, FONCAFE) entusiasmado con la alta productividad de variedades de café que crecen a plena exposición solar trazó una campaña para el reemplazo de los cafetales de sombra por estas otras variedades popularizadas por Brasil: *bourbon*, *caterra*, *catuai*, *mundo nuevo*, entre otras, y que son llamadas café de sol. Este cambio de variedades lleva consigo un nuevo plan de actividades agrícolas donde la fertilización y el deshierbe son fundamentales e indispensables para mantener la producción en niveles comerciables altos. Aumenta la frecuencia de todas las labores agrícolas incluyendo las replantaciones ya que el ciclo productivo de estas variedades es mucho más corto: máximo 20 años, pero en general entre 12 y 16 años. Aunque ya no existe presión para ese cambio por parte del Gobierno Nacional, el proceso de reemplazo sigue un curso ascendente ya que las variedades de sol son cerca de tres veces más productivas y, aunque la calidad de producto no es tan buena, en el mercado interno todas las variedades son pagadas al mismo precio.

La mayor cantidad de suelo descubierto, la disminución de la capa de hojarasca, la intensificación de las labores agrícolas por este cambio en la caficultura, son parte de las alteraciones producidas en estos sistemas las cuales pudieran tener consecuencias negativas para la estabilidad de la zona, tanto física como productiva-económica (Figura 1). Pensamos que las consecuencias ecológicas más importantes ocurren en el balance hídrico, en la pérdida de nutrientes y el aumento de la erosión (Figura 1), y es por ello que nuestros estudios se han centrado en analizar estos aspectos. Presentaremos aquí los resultados de varios años de estudio del balance hídrico y erosión.



**Figura 1: Principales consecuencias ecológicas de los cambios producidos al reemplazar cafetales de sombra por cafetales de sol**

## Area de estudio

Para realizar este estudio, se seleccionó una finca piloto en el área de Canaguá, una de las principales zonas cafetaleras del Estado Mérida (Figura 2). Además 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 *caturrey* y otro de sombra con cafetos variedad *arabica* sombreados por *Inga oerstediana* (guamo). Después de un año de trabajo, este último fue transformado en un cafetal de sol con la variedad *caturrey*. Estos cafetales 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 Mucuchachi), sobre las que se ha desarrollado un suelo Typic Humitropept, en el cual sólo los primeros 30 cm son penetrados por las raíces de los cafetos. El área tiene anualmente en promedio 1780 mm de precipitación y 18°C de temperatura y corresponde al límite superior de la selva estacional montana (Sarmiento *et al.*, 1971).

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.

## Metodología

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, la dinámica de la hojarasca y las pérdidas de fracción mineral, consistentes en: a) pluviómetros (20 en el cafetal 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, 2 en *Inga oerstediana*), c) una parcela de erosión en cada cafetal de 6x2 m para medir 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 termohigrógrafos. Posteriormente, un conjunto de tres lisímetros abiertos (30x40 cm) fue instalado en cada cafetal.

El cálculo del índice  $EI_{30}$  de Wischmeier y Smith (erosividad de las lluvias) se realizó según Foster *et al.* 1981.

El contenido de agua en el suelo se ha calculado analizando muestras de tres profundidades en 6 perfiles por el método gravimétrico y convirtiendo las unidades a  $L/m^2$ , utilizando los resultados del análisis de densidad aparente.

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

La toma de datos en el campo se realizó 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 por 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 *C. arabica var. caturrey*. El nuevo cafetal de sol se estudió a lo largo de los siguientes dos años (mayo 1990 - abril 1992).

## Balance hídrico

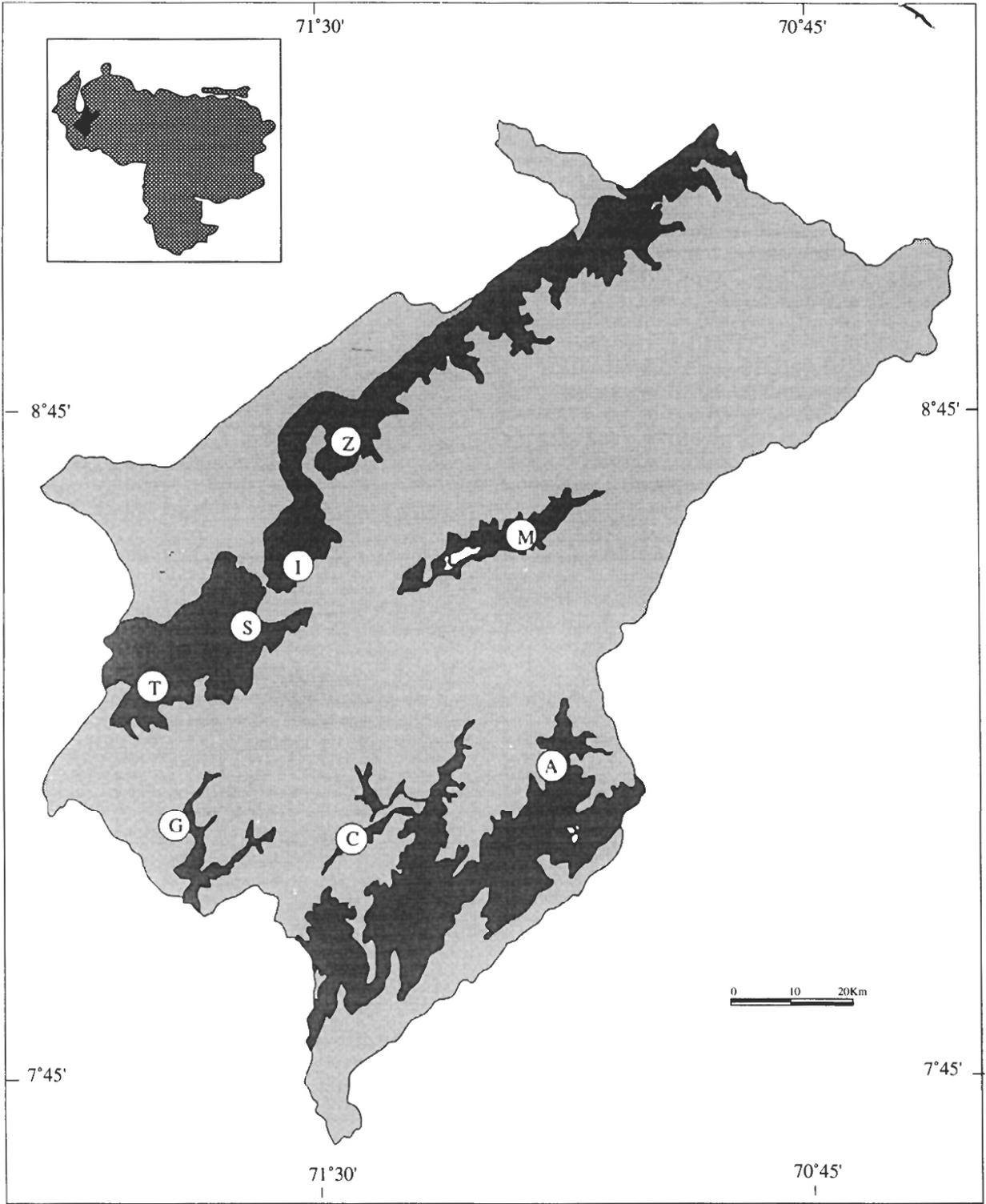
La capacidad del sistema de retener agua, o de cambiar la distribución y destino de ésta, puede estudiarse analizando los principales flujos que intervienen en el balance hídrico.

Las mayores diferencias que podríamos esperar en el balance hídrico debidas al cambio en los cafetales, están en el agua retenida en la parte aérea y en el agua drenada en cada sistema.

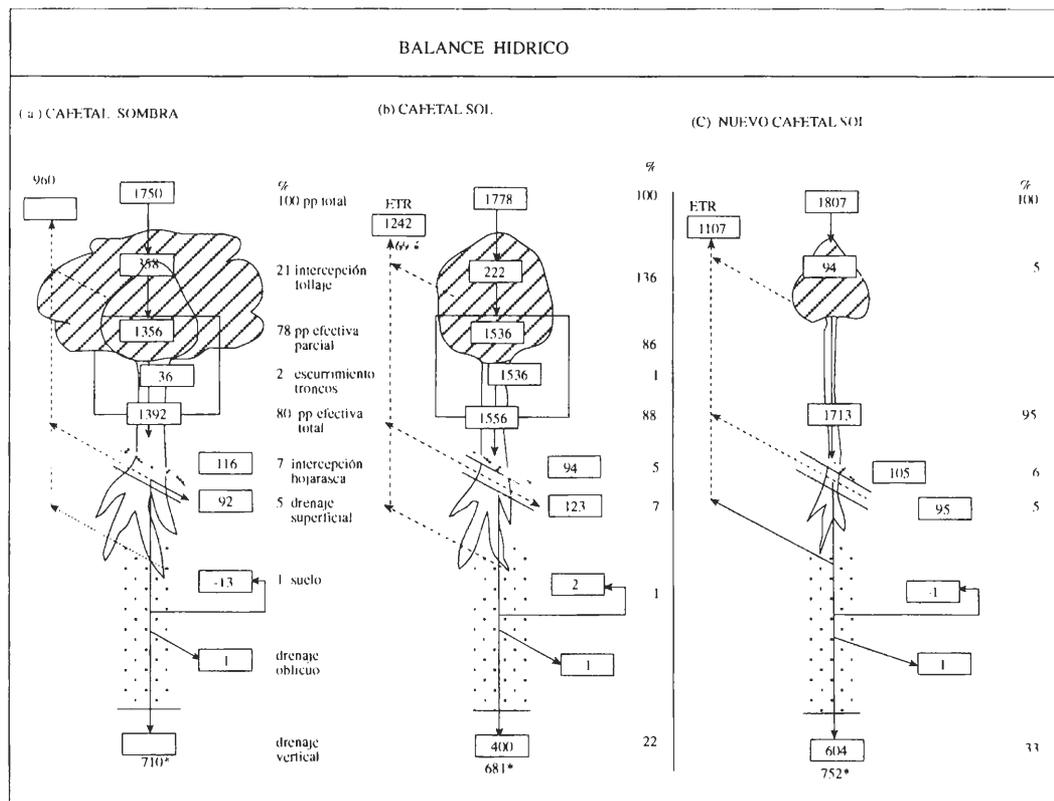
En el primer caso las diferencias vienen dadas por la capacidad de retención de agua en el follaje y en la hojarasca (intercepción por el follaje y la hojarasca respectivamente). Ambas son mucho mayores en el cafetal de sombra (Figura 3) sumando el 28% del agua precipitada. Se asume que ese agua regresa a la atmósfera por evaporación, pero mientras tanto contribuye a aumentar la humedad relativa y disminuir la transpiración. El agua interceptada por la hojarasca en el cafetal de sombra (con un máximo de  $2.3 L m^{-2}$ ) retorna lentamente a la atmósfera demorando cuatro días en evaporarse si no ocurren nuevas lluvias en ese lapso (Ataroff y Monasterio 1996a). Esto es en parte consecuencia del mayor espesor de la hojarasca en este cafetal, donde se mantiene en  $1.1 Kg m^{-2}$  (peso seco promedio de dos años), mientras que en el cafetal de sol sólo es de  $0.4 Kg m^{-2}$  (peso seco promedio de 5 años).

En el cafetal de sol la retención de agua es menor (18%, Figura 3). En este caso, la hojarasca no sólo retiene menos agua (con un máximo de  $0.9 L m^{-2}$ ) sino que ésta se evapora completamente con sólo un día sin lluvia.

En sus primeros años, el cafetal de sol puede retener 11% de las precipitaciones (Figura 3), donde la hojarasca heredada del antiguo cafetal de sombra es la que juega el mayor papel en esta retención (6%).



**Figura 2: Distribución de las zonas óptimas para producción cafetalera en el Estado Mérida. Algunos centros cafetaleros importantes y la capital del Estado: M. Mérida, C: Canaguá, A. Aricagua, G: Guaraque, T: Tovar, S: Santa Cruz de Mora, I: Chiguará, Z: La Azullita.**



**Figura 3: Balance hídrico de a) cafetal de sombra mayo 1988-abril 1990, b) cafetal de sol en plena producción mayo 1988-abril 1992, c) cafetal de sol en sus dos primeros años de mayo 1990-abril 1992. Valores en los recuadros: promedios anuales en mm. Drenaje vertical: según lisímetros máximos, \*según ETP-Thornthwaite**

El agua drenada por escorrentía superficial es relativamente poca (5 a 7 %) a pesar de la alta pendiente del terreno (31°) y depende de la capacidad de infiltración del suelo pero también de cuanto intercepte la hojarasca. Por el contrario, el agua que drena verticalmente en el suelo constituye una de las principales salidas del sistema. Los resultados de los lisímetros máximos (Figura 3) muestran una mayor infiltración durante los dos primeros años del cafetal. Luego de su estabilización, el cafetal de sol muestra valores proporcionalmente mucho más bajos. Para el cafetal de sombra sólo tenemos resultados de lisímetros en la época seca, pero la comparación del mayor valor posible (calculado a partir de ETP) indica un drenaje mayor que el del cafetal de sol estabilizado y menor que el del cafetal en sus primeros años.

Según los cálculos por parámetros climáticos, el agua que sale del sistema por evaporación y transpiración (ETP) es mayor en el cafetal de sol que en el de sombra (Figura 3). Por el contrario, el agua que sale por drenaje vertical es mayor en el cafetal de sombra, como en la mayoría de los sistemas forestales donde las características edáficas incluyendo el papel canalizador de las raíces profundas, facilitan el drenaje interno y en consecuencia aumenta el agua que drena hacia los cursos de agua principales.

**Erosión: Monto anual y variaciones**

La pérdida del suelo por erosión es una de las consecuencias más temidas de la intervención realizada sobre laderas, máximo cuando se trata de ambientes lluviosos como en este caso.

Comparando los dos cafetales, de sol y de sombra en plena producción, para un período de dos años (mayo 1988 a abril 1990), se nota una mayor pérdida de fracción mineral en el de sol (Tabla I, Figuras 4 y 5). La pérdida de la fracción menor de 4mm (la más importante en la relación suelo-planta) en el cafetal de sol fue el doble (1,6 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> durante el primer año y 0,7 durante el segundo) que en el de sombra (0,8 y 0,4 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente) (Ataroff y Monasterio 1996b).

La pérdida de material varía mucho de un año a otro (Tabla I). Durante el lapso mayo 1988 a abril 1990, la pérdida promedio de la fracción menor de 4 mm es de 1,15 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en el cafetal de sol y 0,61 en el de sombra, lo cual sugiere 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 86,01 t ha<sup>-1</sup> de fracción menor de 4 mm en el cafetal de sombra y 90,89 t ha<sup>-1</sup> en el de sol) (Ataroff y Monasterio 1996b).

**Tabla 1: Pérdida de la fracción mineral ( $t\ ha^{-1}$ ) por período, indicando el número de incursiones (I) en el cafetal para labores agrícolas.**

período	cafetal sombra 16 años			cafetal sombra 17 años			cafetal sol 1 año			cafetal sol 2 años		
	<4mm	>4mm	I	<4mm	>4mm	I	<4mm	>4mm	I	<4mm	>4mm	I
lluvioso	0.49	0.91	2	0.20	0.05	0	2.97	3.10	6	0.41	0.75	1
seco	0.30	0.10	2	0.24	0.17	1	0.25	0.30	0	1.74	0.60	3
total/fr.	0.79	1.01	0.43	0.22	3.22	3.39	2.14	1.35				
total/año	1.80	4	0.65	1	6.62	6	3.49	4				

período	cafetal sol 7 años			cafetal sol 8 años			cafetal sol 9 años			cafetal sol 10 años		
	<4mm	>4mm	I	<4mm	>4mm	I	<4mm	>4mm	I	<4mm	>4mm	I
lluvioso	0.46	0.01	3	0.22	0.79	1	0.18	0.05	4	0.18	0.12	1
seco	1.11	0.24	4	0.51	0.31	3	0.13	0.03	2	0.29	0.15	2
total/fr.	1.57	0.25	0.73	1.10	0.31	0.07	0.46	0.28				
total/año	1.82	7	1.83	4	0.39	6	0.74	3				

El monto total de las pérdidas por erosión es bajo, en las plantaciones en plena producción de ambos cafetales. Otros autores también ha señalado valores bajos de erosión en cafetales de zonas montañosas en América tropical: Lizaso (1980) midió  $1,36\ t\ ha^{-1}$  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, registraron  $0,0035$  y  $0,0012\ t\ ha^{-1}$  en pendientes de  $12^{\circ}$  y  $9^{\circ}$  respectivamente bajo lluvia simulada de  $25\ mm$  (con  $1,6$  y  $1,85\ mm\ min^{-1}$ ).

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, en consecuencia, la erosión debe disminuir. En este sentido el cafetal de sombra debería tener menor erosión por tener mayor protección tanto en follaje como en hojarasca. En cuanto a la forma de manejo, ésta es muy diferente en ambos cafetales.

El ritmo anual de las pérdidas es distinto en cada cafetal estudiado (Figuras 4, 5 y 6). Sin embargo, de los

factores que cambian a lo largo del año, ni la erosividad de las lluvias, ni la escorrentía, siguen el mismo patrón que la erosión (Figuras 4, 5 y 6). 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 con la magnitud de la erosión en cada caso (Figuras 4, 5 y 6).

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 la Tabla I, que al aumentar la frecuencia de incursiones al cafetal durante el período seco aumenta la pérdida de la fracción mineral) (Ataroff y Monasterio 1996b).

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.



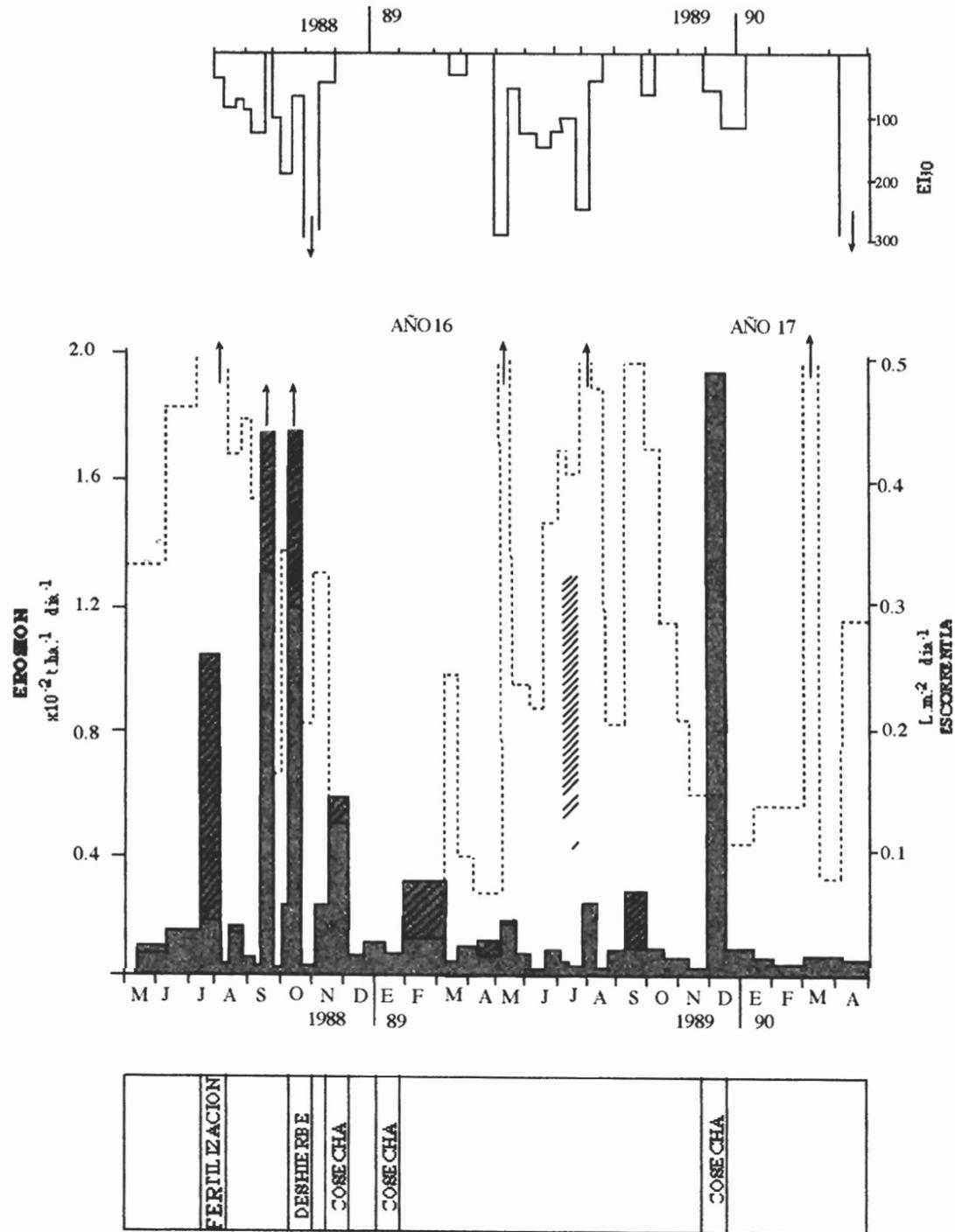


Figura 5: Erosión de la fracción mineral en el cafetal de sombra en plena producción entre mayo 1988 y abril 1990: 1) en el gráfico central, la relación entre esa pérdida a lo largo del año (sombreada, el área rayada indica fracción mayor de 4mm) y la escorrentía (línea punteada); 2) en el gráfico superior,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

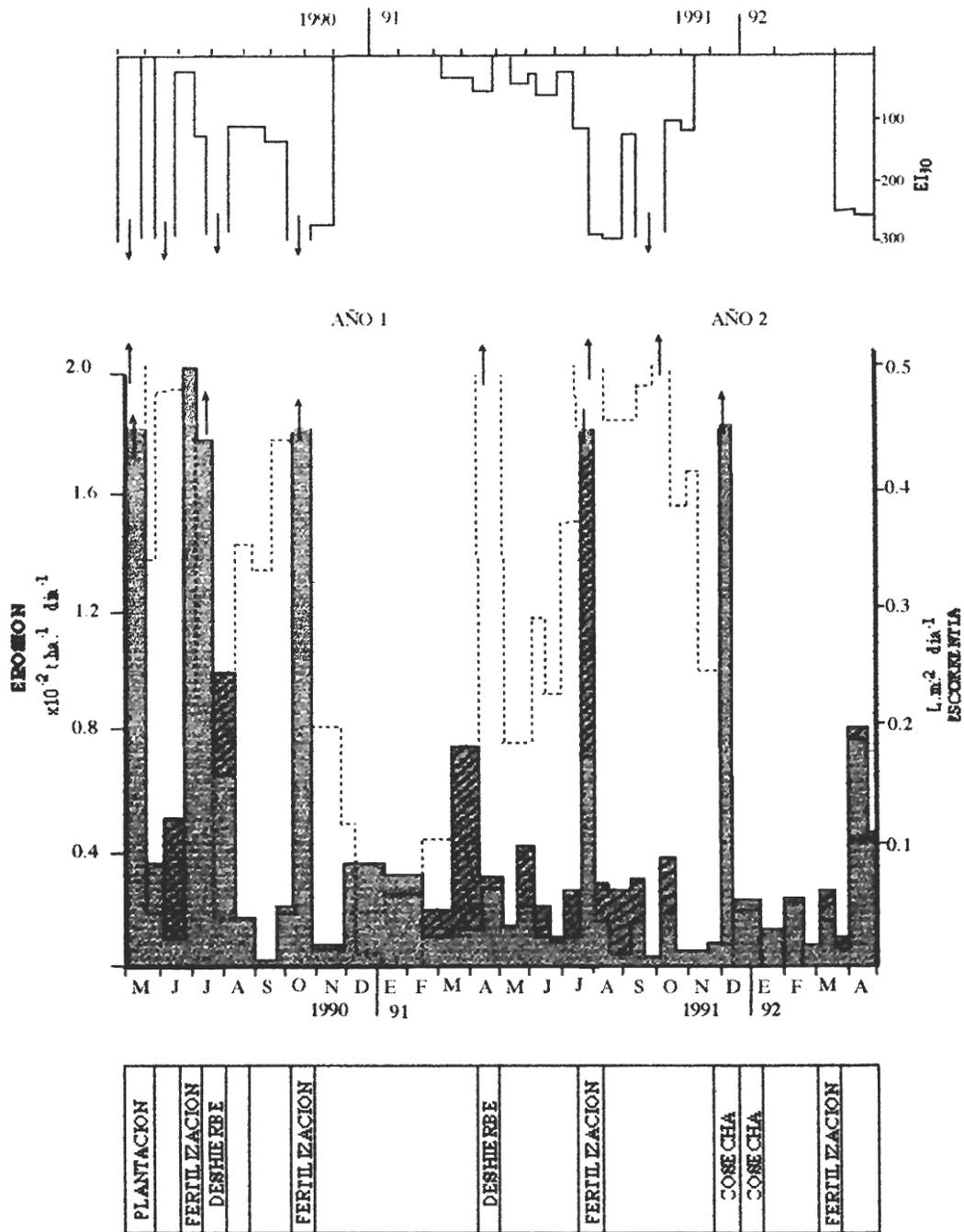
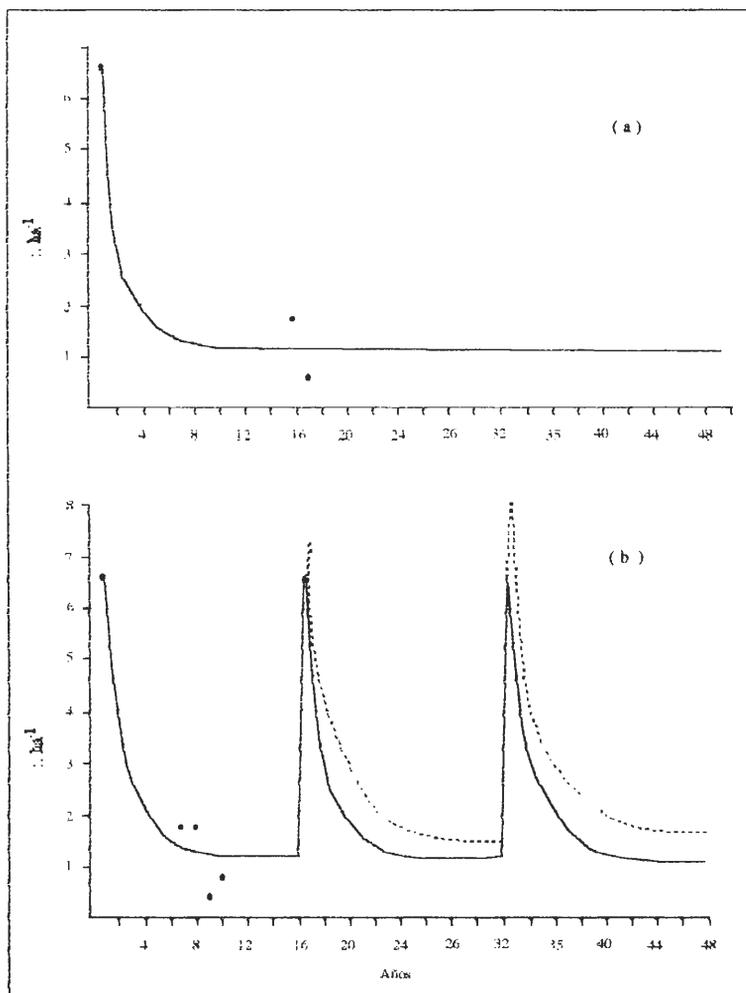


Figura 6: Erosión de la fracción mineral en el cafetal de sol durante su primero y segundo año entre mayo 1990 y abril 1992: 1) en el gráfico central, la relación entre esa pérdida a lo largo del año (sombreada, el área rayada indica fracción mayor de 4m) y la escorrentía (línea punteada); 2) en el gráfico 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.



**Figura 7: Proyección de pérdidas por erosión durante un ciclo de 50 años en un cafetal de sombra (a) y su equivalente durante el mismo tiempo en un cafetal de sol (b) considerando ciclos de 16 años. línea continua: según tendencias actuales, línea punteada: con un incremento del 10% en cada nuevo ciclo.**

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 pueden ser fundamentales en determinar la magnitud de las pérdidas 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 escorrentía (aunque sea poca) arrastre el material. Esto se observa con mayor frecuencia cuando el suelo está más desprotegido como en el cafetal de sol.

#### **Los dos primeros años de establecimiento: la etapa crítica**

El primer año de implantación del cafetal es la etapa más crítica del sistema bajo muchos aspectos pero en particular en lo referente a la erosión (Sanchez 1976, Van Putten 1985, Rice 1990, Ataroff y Monasterio 1996a). Durante esa etapa, las manipulaciones a las que se ve sometido el sistema tienen como consecuencia

un aumento importante de la erosión (Tabla 1, Figura 6): 1) primero se elimina por corte 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 ( $3,22 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) que el promedio de un cafetal de sol entre su 7<sup>o</sup> y 10<sup>o</sup> año ( $0,77 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) y seis veces mayor si se considera toda la fracción mineral (Ataroff y Monasterio 1996b). Suarez de Castro y Rodriguez (1955, citado por Sanchez 1976) registraron que la erosión se triplicó en la fase de establecimiento de la plantación ( $1,80 \text{ t ha}^{-1}$  contra  $0,60 \text{ t ha}^{-1}$  en una plantación ya establecida, en Colombia).

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 (Tabla I). 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 6). 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 (Tabla I).

## Conclusiones

La retención de agua en el cafetal depende de la cantidad y calidad del follaje y de la hojarasca, siendo ambas mayores en el cafetal de sombra. Esto debe determinar mayor humedad relativa, tasas de transpiración menores en los cafetos y tasas de evaporación menores a nivel del suelo.

El papel de la erosividad de las precipitaciones y capacidad de arrastre de la escorrentía sobre 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 ( $31^\circ$ ) el agua de escorrentía es una proporción pequeña de la que llega al suelo, paralelamente el drenaje vertical es alto indicando que se trata de suelos con buena infiltración, quizás más susceptibles de sufrir movimientos de masa que erosión superficial laminar como la que estamos midiendo. Los resultados muestran que esto es mucho más factible durante los primeros dos años del ciclo.

Los resultados sobre erosión 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  $0,61 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en el cafetal de sombra y de  $1,15 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en el de sol. Considerando el total de las pérdidas para ese mismo período, en el cafetal de sombra fue de  $1,22 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  y en el de sol  $1,82 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ .

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 ( $6,61 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ).

Si consideramos las pérdidas totales, la Figura 7a muestra una proyección de lo que pueden ser las tasas de pérdida durante un ciclo de vida promedio en un

cafetal de sombra, donde las mayores pérdidas ocurren en la fase de establecimiento y luego se mantiene una tasa baja con valores que oscilan dependiendo de la intensidad de las labores agrícolas. Si esta situación se mantiene, se pueden estimar pérdidas de  $72 \text{ t ha}^{-1}$  en 50 años ( $x=1,4 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) pero con un sólo período verdaderamente crítico (primeros dos años). Durante ese mismo lapso pueden darse por lo menos tres ciclos de café de sol (tres ciclos de 16 años, o cuatro ciclos de 12 años) (Figura 7b), multiplicando la frecuencia de períodos críticos mientras más corto sea el ciclo. Así, para ciclos de 16 años, si las tendencias de erosión se mantuvieran tal como en el primer ciclo se pueden calcular pérdidas de  $98 \text{ t ha}^{-1}$  en 48 años ( $x=2 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ), pero si las tendencias no se mantienen sino que incrementan, por ejemplo, en un 10% cada nuevo ciclo entonces las pérdidas pueden ser de  $108 \text{ t ha}^{-1}$  ( $x=2,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ).

## 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, 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.

## Bibliografía

- ATAROFF, M., MONASTERIO, M. 1996a. Impacto ecológico de los agroecosistemas cafetaleros en el Estado Mérida. En R. Giacalone (Ed.): Mérida a Través del Tiempo, Siglos XIX y XX: Política, Economía y Sociedad. Capítulo 8. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- ATAROFF, M., MONASTERIO, M. 1996b. Soil erosion under different management of coffee plantations in the Venezuelan Andes. *Soil Technology* 118 (en prensa)
- COSTE, R. 1969. *El Café*. Blume Ed., Barcelona.
- FOSTER, G.R., McCOOL, D.K., RENARD, K.G., MOLDENHAUER, W.C. 1981. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI metric units. *Journal of Soil and Water Conservation* 36:355-359.
- HAARER, A.E. 1984. *Producción Moderna de Café*. Ed. Continental (C.E.C.S.A.), México.
- 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.
- 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.
- 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, Sx., JACOB, V.J. 1983. Coffee management with special reference to shade nutrition and plant training. Indian coffee 47(2):9-12.