

Rita Giacalone
(Compiladora)

Mérida a través del tiempo
Siglos XIX y XX. Política, Economía y Sociedad

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
CONSEJO DE PUBLICACIONES
CONSEJO DE DESARROLLO CIENTÍFICO,
HUMANÍSTICO Y TECNOLÓGICO
MÉRIDA - VENEZUELA
1996

Capítulo 8

Impacto Ecológico de los Agroecosistemas Cafetaleros en el Estado Mérida

Michele Ataroff y Maximina Monasterio

Este trabajo ha recibido apoyo financiero del CONICIT (SI-1970), CONICIT REGIONALLOSANDES (CRA-001-87), CDCHT-ULA (C-324-87) y Consejo de Estudios de Postgrado ULA. Estamos agradecidas a la familia Mora por permitirnos trabajar en su finca, al personal técnico del CIELAT: Hely Saúl Rangel, Luis Nieto y David Dugarte.

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

Introducción

El café, a pesar de ser un cultivo introducido en América, es de los que mejor permite conservar algunas características del tipo de vegetación original donde se establece, siendo a su vez rentable por ser muy aceptado tanto para el consumo interno como para la exportación. Sin embargo, de las variedades de café cultivadas en el Estado Mérida, solo la llamada "typica o café de sombra" (*Coffea arabica var. arabica*) posee esa doble ventaja, mientras las variedades de introducción más recientes (*C. arabica* variedades *bourbon*, *caturra*, *catuai*, *mundo nuevo*, etc., llamadas "café de sol") conllevan la eliminación completa de la vegetación original.

Los Andes del Estado Mérida poseen entre los 700 y 1.800 mts de altitud, características climáticas óptimas para el cultivo del café, lo que aunado a la alta diversidad de otros productos que se obtienen en los cafetales, el bajo requerimiento de insumos, el mantenimiento de la fertilidad y la alta calidad del producto, ha determinado el éxito de las plantaciones de *Coffea 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; Jiménez Avila y Gómez Pompa, 1982; Vishveswara y Jacob, 1983; Haarer, 1984; Hoffman 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. Las consecuencias a mediano y largo plazo de este cambio no son bien conocidas.

1. El café en el estado Mérida

El café ha sido para Venezuela uno de sus más importantes productos agrícolas desde que comenzaron en el país plantaciones con fines comerciales, a fines del siglo XVIII. En 1796 se ubicó en el 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). En 1881 Venezuela era el tercer productor de café en el mundo (después de Brasil y las Indias holandesas) y en 1900 llegó a ser el segundo productor, lugar que mantuvo hasta 1916 después de lo cual comenzó a decaer en el mercado mundial (Adriani, 1984).

Entre 1830 y 1910, el café no solo fue el principal soporte de la economía nacional sino que revitalizó la actividad agraria de la región andina transformándola de nuevo en un centro económico importante, después de su depresión a raíz de la caída de su economía triguera.

Hasta comienzos de este siglo, los valles del centro-norte del país mantenían la mayor producción, pero a partir de 1920 los estados andinos tomaron el primer lugar. En 1924, el estado Mérida aportaba el 10,4% de la producción nacional, el 11,3% en 1934 y el 11,6% en 1940 (Moreno 1986). Cuarenta y seis años más tarde, según el Segundo Censo Nacional del Café (1986), el Estado Mérida se ubicó en tercer lugar como productor con 170.522 quintales/año (12,4% del total nacional), después de los estados Táchira y Portuguesa (García, 1988). Para ese mismo año(1986), las localidades de

mayor producción en el estado Mérida fueron Santa Cruz de Mora y Mesa Bolívar (García, 1988), las mismas que para el año 1924 (Moreno, 1986). Santa Cruz de Mora es además uno de los mayores centros de acopio de café para la zona central del estado, concentrando las cosechas de la mayor parte de Los Pueblos del Sur.

Actualmente 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 original del cultivo en Venezuela, el llamado 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 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 de las fincas. La sobreposición de cafetos 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. 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.

El estado Mérida posee muchas zonas con excelentes condiciones ecológicas para el cultivo de esta variedad (vertientes húmedas entre 800 y 1800 mts) que han favorecido el florecimiento de pueblos cafetaleros como Tovar, Zea, Mesa Bolívar, Chiguará, Aricagua, Canaguá, Guaraque, La Azulita, etc., incluyendo en el pasado la misma ciudad de Mérida (Figura 2).

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*, *caturra*, *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 niveles de producción comerciables. Los cultivos de esta variedad pueden mantenerse productivos durante veinte años, menos de la mitad del tiempo que los cafetales de sombra.

2. 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. Pero esta campaña parece haber pasado por alto dos cosas: 1) la mayor calidad aromática de la variedad *arábica* y 2) las consecuencias de la implantación de un nuevo paquete tecnológico. En el primer caso, el mercado interno al cual está sujeto el caficultor no establece diferencia de precio entre las variedades, lo cual favorece las variedades de sol. Como los granos de café se mezclan antes de su comercialización, el producto final será progresivamente menos aromático, en la medida en que la proporción de granos de la var. *arábica* disminuya.

En el segundo caso, no se ha hecho un análisis del impacto ecológico sobre las áreas donde se cambia el tipo de manejo. 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 tienen pocos terrenos planos, que corresponden a terrazas en general dedicadas a cultivos que obligatoriamente requieren terrenos planos para alcanzar niveles comerciables 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 sustrato, 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, los cuales se presentan a continuación:

1. Balance hídrico: El reemplazo de un cafetal de sombra por uno de sol implica cambios en la estructura y cobertura de la vegetación los cuales a su vez modifican los flujos de agua dentro del sistema; nuestro propósito es evaluar los cambios en esos flujos tanto en su magnitud como en su distribución sobre la superficie del suelo y dentro de él.

2. Dinámica de la hojarasca: Las diferencias en vegetación entre ambos cafetales determinan cambios en la hojarasca cuya calidad y montos deben ser evaluados, así como el papel que juega como una interfase entre la parte aérea y la subterránea de los cafetales afectando el balance hídrico y el de nutrientes. Igualmente, deben analizarse las tasas de acumulación y pérdida de hojarasca para poder interpretar esos balances mencionados.
3. Balance de nutrientes: Los cambios de vegetación y manejo entre los dos cafetales pueden generar tasas de movimiento de nutrientes muy distintas, las cuales debemos estudiar, para lo cual se hace necesario evaluar la magnitud de las entradas y salidas de los elementos más importantes en los cafetales, pues cuando se detectan pérdidas acentuadas de nutrientes éstas llevan a un empobrecimiento de cualquier sistema tanto en la fertilidad como en la cantidad y calidad de los productos que de él se obtienen.
4. Procesos erosivos: Debemos analizar los cambios en la cantidad y tipo de material que es acarreado fuera de los cafetales, así como su principal agente, de modo de identificar la magnitud, las causas y los momentos de mayor erosión. Es necesario conocer esas pérdidas para evaluar la estabilidad del terreno bajo estos tipos de manejos.

Hacer un análisis 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 del balance hídrico y la erosión en 1) un ciclo anual en cafetales de sol y sombra en plena producción y 2) el impacto del primer año de transformación de un cafetal de sombra hacia uno de sol. Es en estos dos aspectos que orientaremos este trabajo.

3. Metodología

3.1. Área de estudio

El trabajo se desarrolla en Canaguá, una de las principales zonas cafetaleras del estado Mérida (Figura 2). Las parcelas bajo estudio se encuentran en dos cafetales, uno de sol con una mezcla de cafetos de las variedades *bourbon* y *caturra* y otro de sombra con cafetos variedad *arabica* sombreados por *Inga oerstediana* (guamo). Estos cafetales son contiguos y

tienen la misma pendiente, 31°. Estas parcelas se encuentran a 1730 mts de altitud, con un sustrato compuesto fundamentalmente por esquistos y areniscas ligeramente metamorfizadas (Formación Mucuchachí), sobre las cuales se ha desarrollado un suelo humitropep franco esquelético en el cual sólo los primeros 30 cms 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 superior de la selva estacional montana (Sarmiento et al, 1971).

3.2. 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.

3.3. Muestreo en el terreno

A principios de 1988, en parcelas seleccionadas de ambos tipos de cafetal se instaló una serie de dispositivos que generan información sobre los flujos de agua en el sistema, los movimientos de hojarasca y la pérdidas de fracción mineral, consistentes en: 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, 2 en *Inga oerstediana*), c) una parcela de erosión en cada cafetal de 6x2 mts para medir drenaje superficial y arrastre de materiales, d) una parcela de drenaje oblicuo de 6x2 mts 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. Más recientemente, un conjunto de tres lisímetros abiertos (30x40 cm) fue instalado en cada cafetal.

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 1/m² utilizando los resultados del análisis de densidad aparente.

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. Durante todo el trabajo ninguna actividad agrícola fue interrumpida o modificada.

Los datos presentados en este trabajo corresponden al lapso 1988-julio 1989, en lo referente a la comparación de los dos cafetales. En abril de 1990, parte del cafetal de sombra fue modificado por el propietario 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*, por lo que el efecto del primer año de transformación se estudió entre abril 1990 y mayo 1991.

4. Resultados y discusión

4.1. 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, en un sistema en equilibrio, 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 distinta dependiendo de los caminos que el agua siga y de la cantidad que circule en cada uno de ellos.

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

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

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; RS: Retención 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.

4.1.1. Comparación entre los cafetales de sol y de sombra

El balance hídrico de los cafetales de sol y de sombra se resume en la Figura 4. Se nota que 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. Cuanto mayor sea la cobertura de la vegetación mayor será su intercepción: así, en el cafetal de sombra, que tiene una

cobertura del 82% de su superficie, el follaje interceptó 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 fue de 13% en el de sol que tiene sólo 66% de cobertura.

Como consecuencia de esa intercepción, la precipitación efectiva (suma PE_p y E_{St}) es mayor en el cafetal de sol, representando el 87% de la pp total, mientras que para el de sombra es de 79%. Esto significa que si la erosión dependiera sólo 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: en mayor proporción 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 (35%) 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: la entrada de agua al pie de los cafetos es menor en los de sol que en los de sombra (1% y 2% de la precipitación total, respectivamente).

Del agua que llega al suelo, parte drena superficialmente, cuyo monto anual muestra valores equivalentes en ambos cafetales (Figura 4). Pero si comparamos los valores de las épocas seca y lluviosa (Tabla 1) vemos que la proporción escurrida en ambos cafetales es equivalente durante la época lluviosa pero menor en el cafetal de sombra en el período seco: esto parece ser consecuencia de la hojarasca acumulada en la superficie. Ella es mayor en el cafetal de sombra (Tabla 2) y está embebida de agua en la época lluviosa, drenando parte de su excedente; pero durante el período seco retiene buena parte de la poca agua que le llega, cosa que no puede suceder con la misma intensidad en el cafetal de sol ya que tiene menos hojarasca. Esta hojarasca además, limita las pérdidas del agua del suelo por evaporación. El papel de la hojarasca no ha sido muy considerado en los estudios de balance hídrico, sin embargo, cuando es abundante como en el cafetal de sombra, puede retener un 20% de las precipitaciones (más que la intercepción por el follaje, Tabla 1); pero incluso en casos de poca hojarasca como en el cafetal de sol puede retener un 10% de las precipitaciones, lo cual es una proporción notable.

El agua que se infiltra puede seguir diferentes rutas de acuerdo a las condiciones del sistema:

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 con un mínimo de follaje en esta época; pero en contraposición, la evaporación del suelo debe ser mucho menor por tener una humedad relativa más alta y por el efecto amortiguador de la capa de hojarasca. En efecto, la Tabla 1 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 menor intercepción. Esto es considerando que la capacidad de infiltración es equivalente en ambos cafetales.
2. En la época lluviosa la relación es inversa, de modo que puede pensarse que en esa época, con máximo follaje, las pérdidas por transpiración en el cafetal de sombra 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, aunque, por no poder hacer medidas directas diferentes métodos de estimación dan diferentes resultados (Tabla 1): el uso de fórmulas empíricas no permite distinguir diferencias entre ambos cafetales (por ser una estimación general del clima), su ajuste a variaciones microclimáticas del cafetal parece responder mejor a la realidad pero no es suficiente; finalmente, la medida directa a través de lisímetros es mucho mejor aunque tiene el inconveniente de que sólo pueden usarse lisímetros abiertos. Los resultados obtenidos con los lisímetros muestran que la proporción de agua infiltrada (drenaje profundo), se mantiene fija durante el año en cada cafetal siendo independiente de la magnitud de las precipitaciones. Eso determina que la evapotranspiración es, en valores globales, similar en ambos cafetales pero las vías por las que se pierde el agua son distintas. En el cafetal de sombra el 37% del valor de evapotranspiración se explica por la intercepción del follaje y de la hojarasca, mientras que en el de sol la retención de agua por esas vías sólo explica el 23%; 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 el cafetal de sol deben ser por evaporación directa del suelo.

4.1.2 El primer año de implantación de un cafetal de sol

Una parte del cafetal de sombra bajo estudio fue convertido a cafetal de sol en abril de 1990, lo cual permitió analizar los cambios en el balance hídrico del sistema en esta primera etapa de instalación, considerada como la de mayores perturbaciones (Ataroff y Monasterio, 1992).

La disminución en cobertura vegetal determinó una disminución en la intercepción al 6,7 % de la precipitación total (Figura 4), con el consecuente aumento en la precipitación efectiva que resultó ser el 93 % del total. Así, el agua que realmente llega al suelo está en mayor cantidad que en cualquier otra etapa del desarrollo del cafetal.

La escorrentía disminuyó a un 4,5 % de la precipitación total (Figura 4), lo que indica que la manipulación a que fue sometido el suelo aumentó su capacidad de infiltración. El agua retenida en el suelo tiene proporciones del 0,7 % de la precipitación total, valor que a pesar de ser muy bajo es mayor que el registrado en los otros cafetales. Dado que el suelo es el mismo que el del antiguo cafetal de sombra, esta diferencia indica que la toma de agua por las plantas en el antiguo cafetal y su transpiración superan las pérdidas por evaporación directa del suelo. Esta misma idea se ve respaldada por el valor calculado de la evapotranspiración que es de 83 % de la precipitación total, valor menor que los obtenidos en los otros cafetales.

El drenaje profundo llega al 11,7 % de la precipitación total (Figura 4) lo que, aunado al hecho de que el drenaje oblicuo disminuyó a 0,05 %, apoya la idea de que la capacidad de infiltración de ese suelo aumentó en forma significativa afectando todas las formas de drenaje.

4.2. Erosión

La erosión en un área incluye todas las pérdidas de material del suelo, 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 consideramos sólo las pérdidas en fracción mineral.

4.2.1 Magnitud de las pérdidas.

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

Comparando los dos cafetales de sol y de sombra, en plena producción, se nota una mayor pérdida de fracción mineral en el de sol (Figuras 5 y 6, Tabla 3). La fracción menor 4 mm perdida en el cafetal de sol (1584 Kg/ ha.año) es más del doble que en el de sombra (761 Kgs/ ha.año). 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 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 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 las de las otras dos.

Muestras tomadas del horizonte superficial (Ah1) indican que cada cm en profundidad (para los primeros 10 cms) tiene 86.013,00 Kgs/ha de fracción menor de 4 mm., en el cafetal de sombra y 90.888 Kg/ha., en el de sol, esto significa que si la tasa de pérdida de material fuera siempre la misma se necesitarían 113 años para eliminar un cm de suelo en el cafetal de sombra y 57 años en el de sol.

Sin embargo, es sabido que la erosión no tiene forzosamente tasas constantes (Zachar, 1982). En nuestro caso, se entiende que si la magnitud de las pérdidas depende estrechamente de las actividades dentro del cafetal, cuando éstas cambien también cambiará el monto de las pérdidas. En particular, 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: 1) primero se corta la vegetación anterior (en nuestro caso un cafetal de sombra), 2) se abren huecos y se plantan en ellos los pequeños cafetos crecidos en viveros, 3) se abona 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, como veremos más adelante. En total, ese primer año de perturbación ocasionó pérdidas de más del doble (3357 Kg/ha.año) que un cafetal semejante en su 7º año (1584 Kg/ha-año), en lo relativo a la fracción fina (Tabla 3).

4.2.2 Mecanismos erosivos.

Varios factores han sido señalados tradicionalmente como responsables fundamentales de las pérdidas por erosión bajo climas lluviosos: erosividad de las lluvias, erodabilidad 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 número y magnitud de impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y, en consecuencia, la erosión debe disminuir. En este sentido no es de extrañar que las pérdidas sean mayores en el cafetal de sol. 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 y 7) notamos que es distinto en cada cafetal de los estudiados. Esa ritmicidad debe dar la clave del factor principal de la erosión: debe encontrarse cuál factor tiene el mismo ritmo. De los factores que cambian a lo largo del año, ni la erosividad de las lluvias ni la magnitud de la escorrentía siguen el mismo patrón que la erosión (Figuras 5 y 6). El índice utilizado para estimar la erosividad de las lluvias (EI30, diseñado por Wischmeier y Smith 1960) muestra un patrón distinto al de la erosión. Lo mismo puede decirse de la escorrentía. 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 las pérdidas de la fracción mineral en cada caso (Figuras 5, 6 y 7).

En efecto, el cafetal de sol requiere mayor número de trabajos, tales como deshierbe, abono y cosecha, que implican "incursiones" importantes al cafetal, lo cual significa un mayor pisoteo. En zonas de fuerte pendiente como en este caso, 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.

La Figura 7 muestra las variaciones de las pérdidas en ese primer año. 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 abonarlo y eliminar la maleza en crecimiento. Cinco meses más tarde, el efecto se sigue sintiendo cuando una nueva incursión para abonar ocasiona una gran pérdida de material. Sin embargo, al pasar un año, transcurridos un período lluvioso y uno seco completos, una nueva incursión para deshierbe no mostró un efecto tan importante, como puede verse en la Figura 7.

5. Sobre el impacto del cambio de manejo en la zona estudiada

Hasta ahora, la pérdida de la fracción mineral fina (menor de 4 mm) constituye 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 grave 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).

Sin embargo, hasta que tengamos idea de las tasas de formación de suelo para el área, 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 (aprox. 3,5 T/ha.año). El mayor motivo de preocupación frente a estos valores es que el grosor del horizonte funcional también es pequeño, como ya mencionamos.

En el área 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 para los cafetales en plena producción corresponden a las condiciones más favorables para estos suelos, es decir, que en estos momentos 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 (7 años para el cafetal de sol, 16 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 34 años para el cafetal de sombra y 13 para el de sol, después de lo cual hay que eliminar los cafetos viejos y preparar el terreno para la nueva plantación, lo cual provoca, como mostramos, un aumento muy importante de la erosión.

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.

En la dinámica hídrica, el cafetal de sombra muestra una mayor retención de agua, así como un mayor equilibrio entre la época seca y la época lluviosa. Las pérdidas más importantes en todos los casos son las de evapotranspiración, pero las vías de esa pérdida difieren: durante el primer año de implantación la mayor cantidad de agua se pierde por la evaporación directa del suelo, mientras que la retención por la vegetación es mínima; el cafetal de sol en plena producción muestra las mayores pérdidas debido seguramente a la suma de los flujos de agua por transpiración y evaporación, mientras el cafetal de sombra pierde más por transpiración que por evaporación del agua en el suelo.

El reservorio de agua que forma parte de la biomasa vegetal es mayor en el cafetal de sombra. La retención por el follaje y la hojarasca (aunque sea transitoria) cambia las características microclimáticas en el cafetal de sombra más que en los otros, aumentando la humedad relativa y disminuyendo la temperatura, así como interfiriendo con la evaporación del agua del suelo. Algunos autores consideran el agua retenida como "reserva útil" (Nizinski y Saugier, 1988) y; aunque en general se considera que es devuelta a la atmósfera por evaporación, su movimiento dentro del sistema no es conocido y pudiera ser muy importante.

La importancia de la precipitación y la escorrentía en la erosión parece muy limitada, aunque sí resulta 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.

Conclusiones

-El impacto más notable del cambio de cafetales de sombra a cafetales de sol lo constituye el aumento en la pérdida de la fracción mineral fina (menor que 4mm) del suelo. Estas pérdidas son el doble en cafetales que tienen varios años establecidos y cuatro veces mayores durante el primer año de implantación.

-Esas pérdidas por erosión son tanto más importantes por cuanto a) el suelo útil es delgado y b) la fracción fina es reservorio de muchos nutrientes.

-El pisoteo ocasionado por los caficultores durante las labores agrícolas es la principal causa de erosión. Ese pisoteo es mayor en los cafetales de sol ya que éstos requieren mayor mantenimiento.

-La retención de agua por el follaje y la hojarasca es mayor en los cafetales de sombra ocasionando cambios como el aumento de la humedad relativa, disminución de la temperatura y disminución de la evaporación del agua del suelo.

-Esos cambios microclimáticos son los que deben permitir un mayor equilibrio hídrico en los cafetales de sombra durante la época seca, equilibrio que debe ser muy importante en zonas cafetaleras más secas que Canaguá.

-A pesar de la fuerte pendiente (31°) el agua de escorrentía es una proporción pequeña de la que llega a la superficie del suelo, 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.

TABLA 1

Proporción (%) de la precipitación total en cada compartimiento del balance hídrico durante las épocas seca y lluviosa en los cafetales de sombra y sol (ciclo 1988-1989).

	EPOCA SECA		EPOCA LLUVIOSA	
pp TOTAL (mm)	239		1468	
	% de pp total		% de pp total	
	C. SOMBRA	C.SOL	C.SOMBRA	C.SOL
Intercepción (I)	16,6	2,9	21,4	14,5
pp efectiva	83,4	97,1	78,8	85,5
ret. hojarasca (H)	19,9	19,9	9,3	6,2
escorrentía	4,5	5,1	6,0	5,9
Ret. suelo	-2,4	-9,8	4,2	7,2
drenaje oblicuo	0,1	0,6	0,7	0,8
drenaje profundo *	9,3	7,9	9,1	7,1
drenaje profundo **	8,7	20,0	52,7	52,0
drenaje profundo ***	17,2	16,7	59,3	58,4
ETR*	88,5	96,2	80,0	79,0
ETR * -(I+H)	52,0	83,4	49,3	58,3
ETR **	89,1	84,1	36,4	36,9
ETR ** -(I+H)	47,6	59,6	11,5	27,8
ETR ***	78,7	78,7	34,1	34,1
ETR *** -(I+H)	37,2	54,2	8,2	25,0

* estimados según resultados de lisímetros en 1990-91

** estimados según resultados de ETP calculados por fórmula empírica de García & López (1970) ajustada a condiciones internas del cafetal

*** estimados según resultados de ETP calculados por fórmula empírica de Thomthwaite (1948, en Omar 1968)

TABLA 2

Monto de hojarasca y su capacidad de retención de agua en cada cafetal.

CAFETAL	hojarasca g hoj. / m ²	retención máxima g agua / g hoj.	retención máxima l / m ²
SOMBRA	1440,0	2,32	2,9
SOL	264,8	2,75	0,6

TABLA 3

Pérdida anual de la fracción mineral, en Kg/ha

PERIODO	CAFETAL SOMBRA 16 años			CAFETAL SOL 7 años			NUEVO CAFETAL SOL 1 años		
	1988-89			1988-89			1990-91		
	susp. <4mm	>4mm		susp. <4mm	>4mm		susp. <4mm	>4mm	
Lluvioso	71	389	766	72	402	9	-	2924	111
Seco	70	231	97	159	951	242	-	233	4
TOTAL AÑO	141	620	863	231	1353	251	>200	3157	115
Total < 4mm	761			1584			>3357		
TOTAL CAFETAL	1624			1835			>3472		

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

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

Figura 3: Principales flujos de agua en el balance hídrico de los sistemas cafetaleros. PT: precipitación total; PEP: precipitación efectiva parcial; ESt: escurrimiento por los troncos; I: intercepción; DS: drenaje superficial; DO: drenaje oblicuo; DP: drenaje profundo; RS: retención en el suelo; ETR: evapotranspiración real; T: transpiración; E: evaporación; H: retención por la hojarasca.

Figura 4: Balance hídrico anual de: 1) cafetales de sombra y sol en plena producción, ciclo 1988-89; 2) cafetal de sol en su primer año de implantación, ciclo 1990-91. Para cada compartimiento del balance hídrico se indica el total anual en mm dentro de las casillas y el porcentaje de precipitación total a la derecha de las casillas.

Figura 5: Erosión de la fracción mineral en cafetales de sombra en plena producción, ciclo 1988-89. En esta figura se muestra: 1) en el gráfico central, la relación entre esa pérdida a lo largo del año (en gris, el área rayada indica fracción mayor de 4 mm) y la escorrentía (línea punteada); 2) en el gráfico superior, la erosividad de las lluvias durante el mismo lapso calculada por el índice EI_{30} (línea punteada), y 3) en el gráfico inferior, lapsos en que ocurrieron las actividades agrícolas en el interior del cafetal.

Figura 6: Erosión de la fracción mineral en cafetales de sol en plena producción, ciclo 1988-89. En esta figura se muestra: 1) en el gráfico central, la relación entre esa pérdida a lo largo del año (en gris, el área rayada indica fracción mayor de 4 mm) y la escorrentía (línea punteada); 2) en el gráfico superior, la erosividad de las lluvias durante el mismo lapso calculada por el EI_{30} (línea punteada), y 3) en el gráfico inferior, lapsos en que ocurrieron las actividades agrícolas en el interior del cafetal.

Leyendas de las figuras

- Figura 1: Estructura y fisonomía de los cafetales de sol y sombra.
- Figura 2: Distribución de las zonas potencialmente cafetaleras del Estado Mérida. Ubicación de la capital del Estado (M: Mérida) y algunos centros cafetaleros: C: Canaguá, A: Aricagua, G: Guaraque, T: Tovar, S: Santa Cruz de Mora, I: Chiguará, Z: La Azulita.
- Figura 3: Principales flujos de agua en el balance hídrico de los sistemas cafetaleros. PT: precipitación total; PE_p: precipitación efectiva parcial; ES_t: escurrimiento por los troncos; I: intercepción; DS: drenaje superficial; DO: drenaje oblicuo; DP: drenaje profundo; RS: retención en el suelo; ETR: evapotranspiración real; T: transpiración; E: evaporación; H: retención por la hojarasca.
- Figura 4: Balance hídrico anual de: 1) cafetales de sombra y sol en plena producción, ciclo 1988-89; 2) cafetal de sol en su primer año de implantación, ciclo 1990-91. Para cada compartimiento del balance hídrico se indica el total anual en mm dentro de las casillas y el porcentaje de precipitación total a la derecha de las casillas.
- Figura 5: Erosión de la fracción mineral en cafetales de sombra en plena producción, ciclo 1988-89. En esta figura se muestra: 1) en el gráfico central, la relación entre esa pérdida a lo largo del año (en gris, el área rayada indica fracción mayor de 4 mm) y la escorrentía (línea punteada); 2) en el gráfico superior, la erosividad de las lluvias durante el mismo lapso calculada por el índice EI_{30} (línea punteada), y 3) en el gráfico inferior, lapsos en que ocurrieron las actividades agrícolas en el interior del cafetal.
- Figura 6: Erosión de la fracción mineral en cafetales de sol en plena producción, ciclo 1988-89. En esta figura se muestra: 1) en el gráfico central, la relación entre esa pérdida a lo largo del año (en gris, el área rayada indica fracción mayor de 4 mm) y la escorrentía (línea punteada); 2) en el gráfico superior, la erosividad de las lluvias durante el mismo lapso calculada por el EI_{30} (línea punteada), y 3) en el gráfico inferior, lapsos en que ocurrieron las actividades agrícolas en el interior del cafetal.

Figura 7: Erosión de la fracción mineral en cafetales de sol durante su primer año de implantación, ciclo 1990-91. Se muestra: 1) en el gráfico superior, la relación de esta pérdida (en gris) con la escorrentía, (línea punteada), y 2) en el gráfico inferior, los lapsos en que ocurrieron las actividades agrícolas en el interior del cafetal.

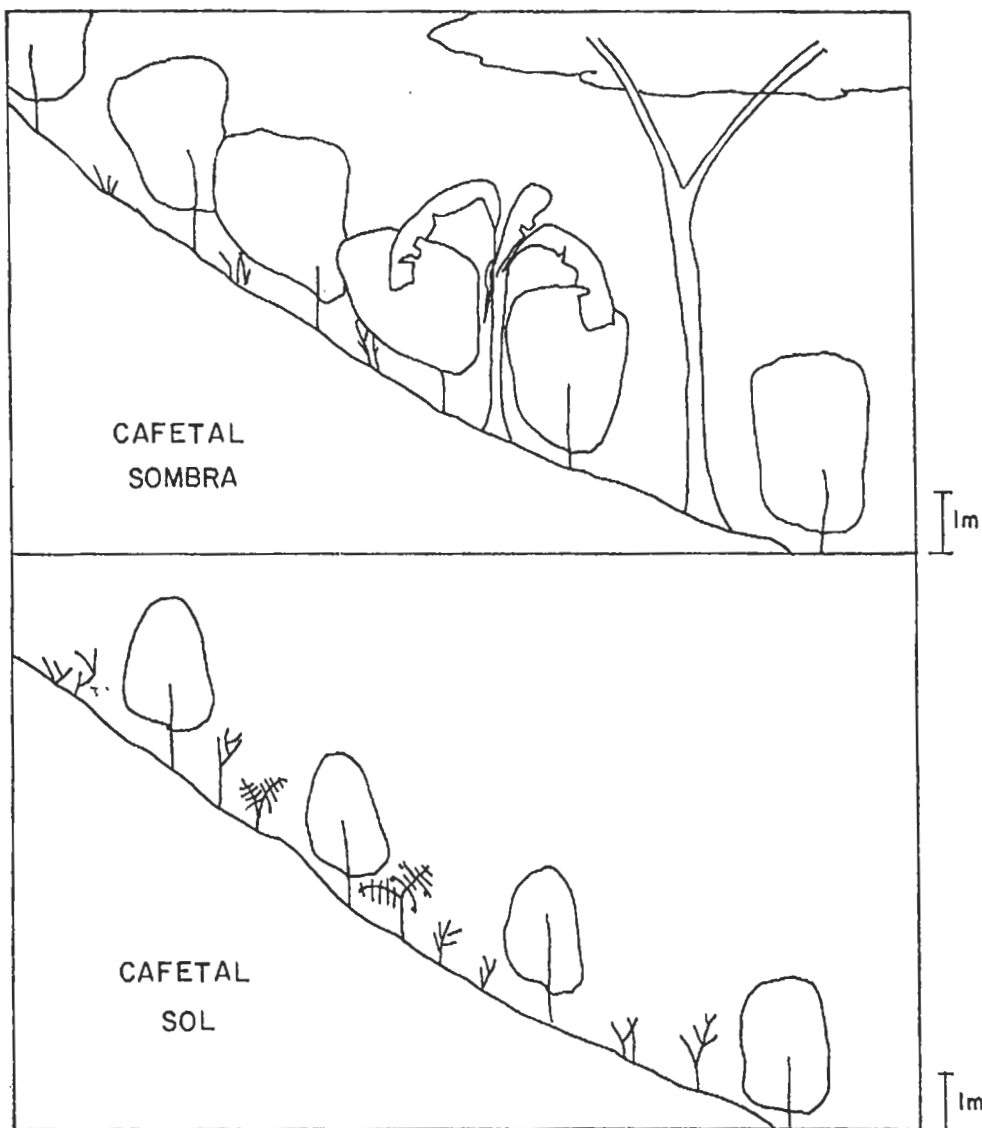


FIGURA 1

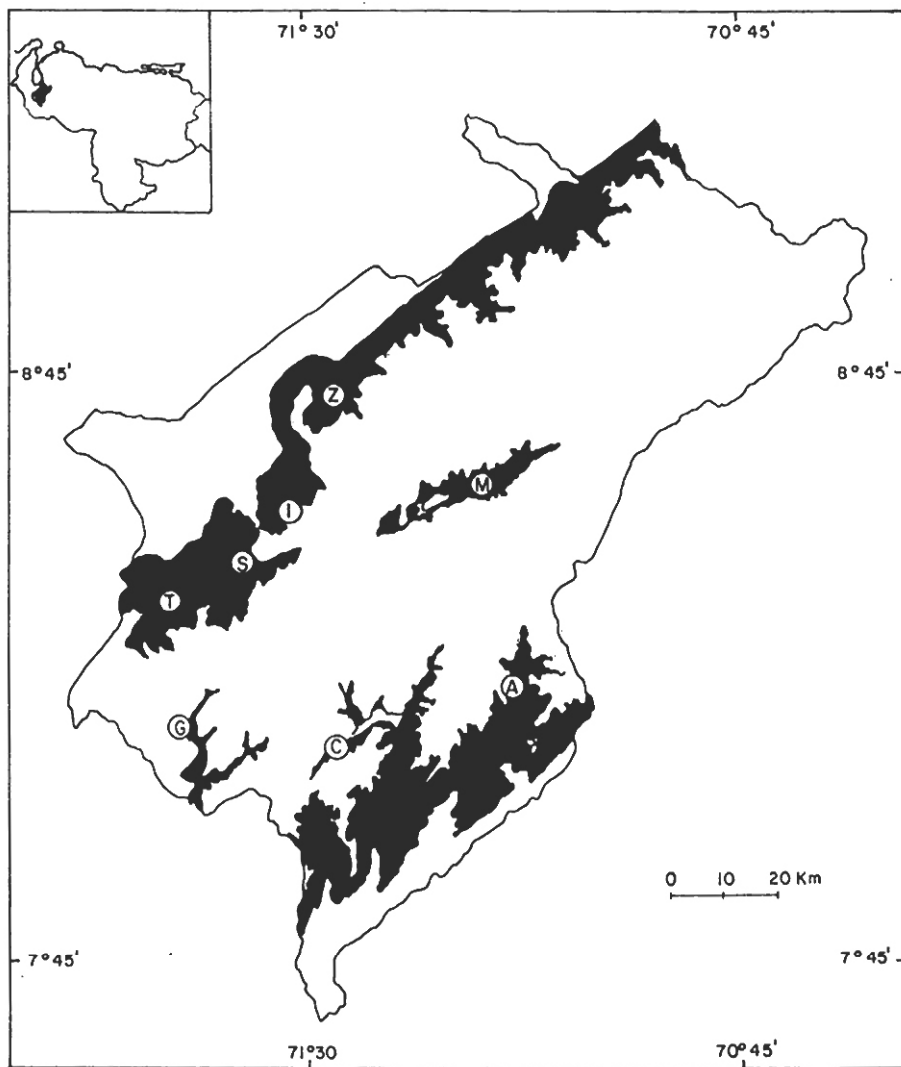
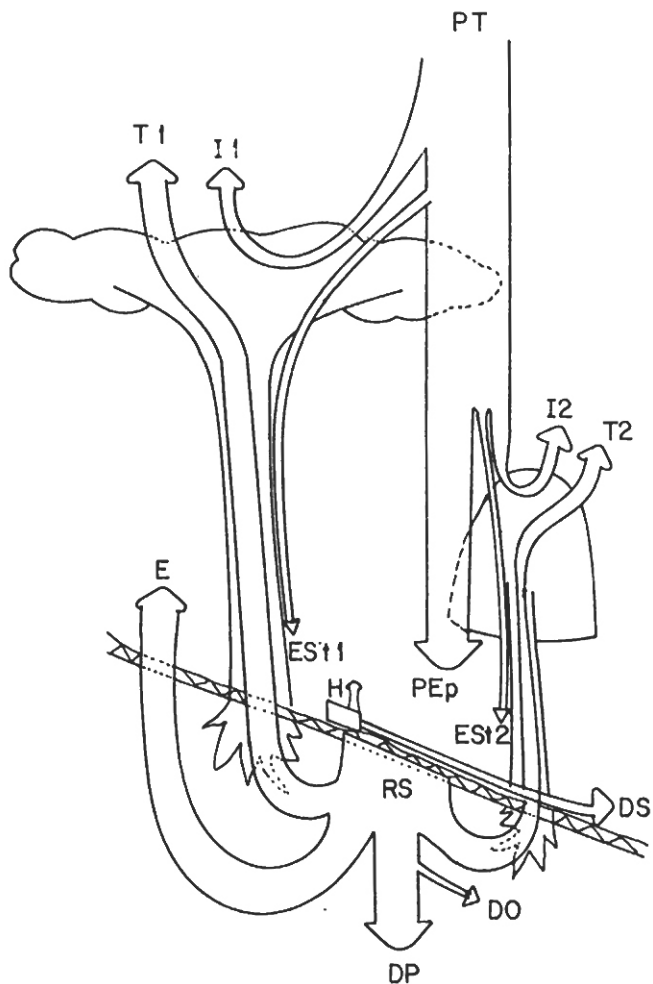


FIGURA 2



$$PT = PEp + ES\uparrow + I = DS + DO + RS + DP + ETR$$

CAFETAL SOMBRA

$$ES\uparrow = ES\uparrow 1 + ES\uparrow 2$$

$$I = I1 + I2$$

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

CAFETAL SOL

$$ES\uparrow = ES\uparrow 2$$

$$I = I2$$

$$ETR = I + T2 + E + H$$

FIGURA 3

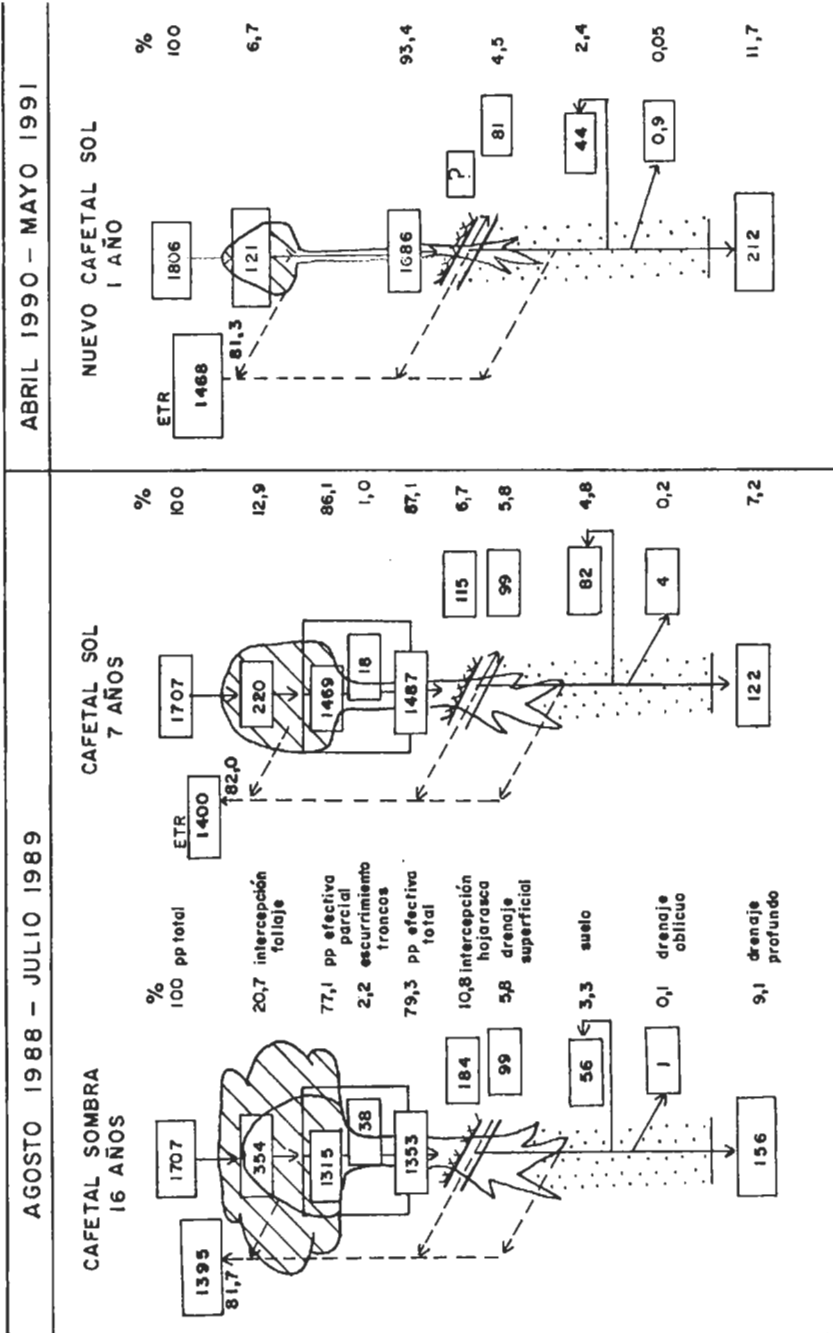


FIGURA 4

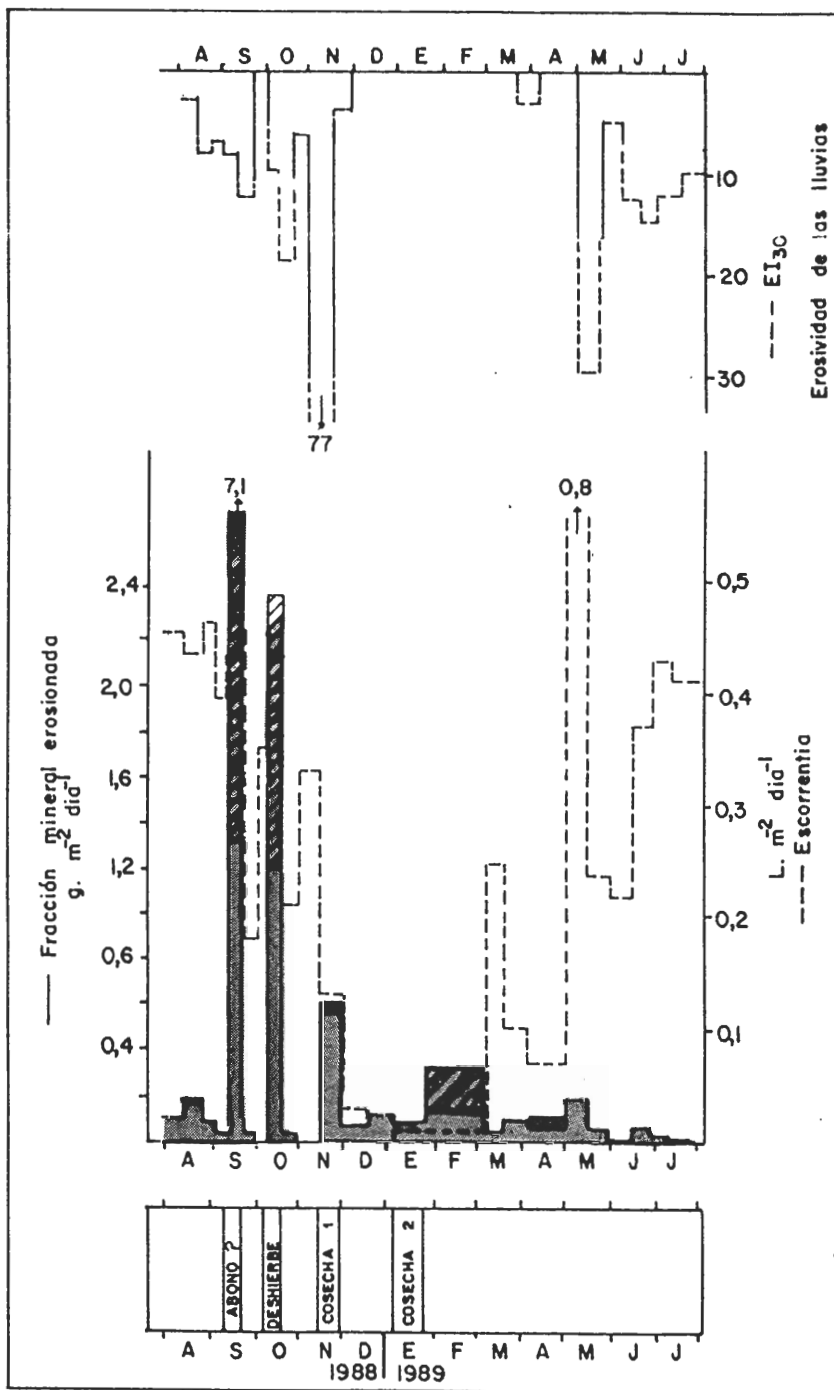


FIGURA 5

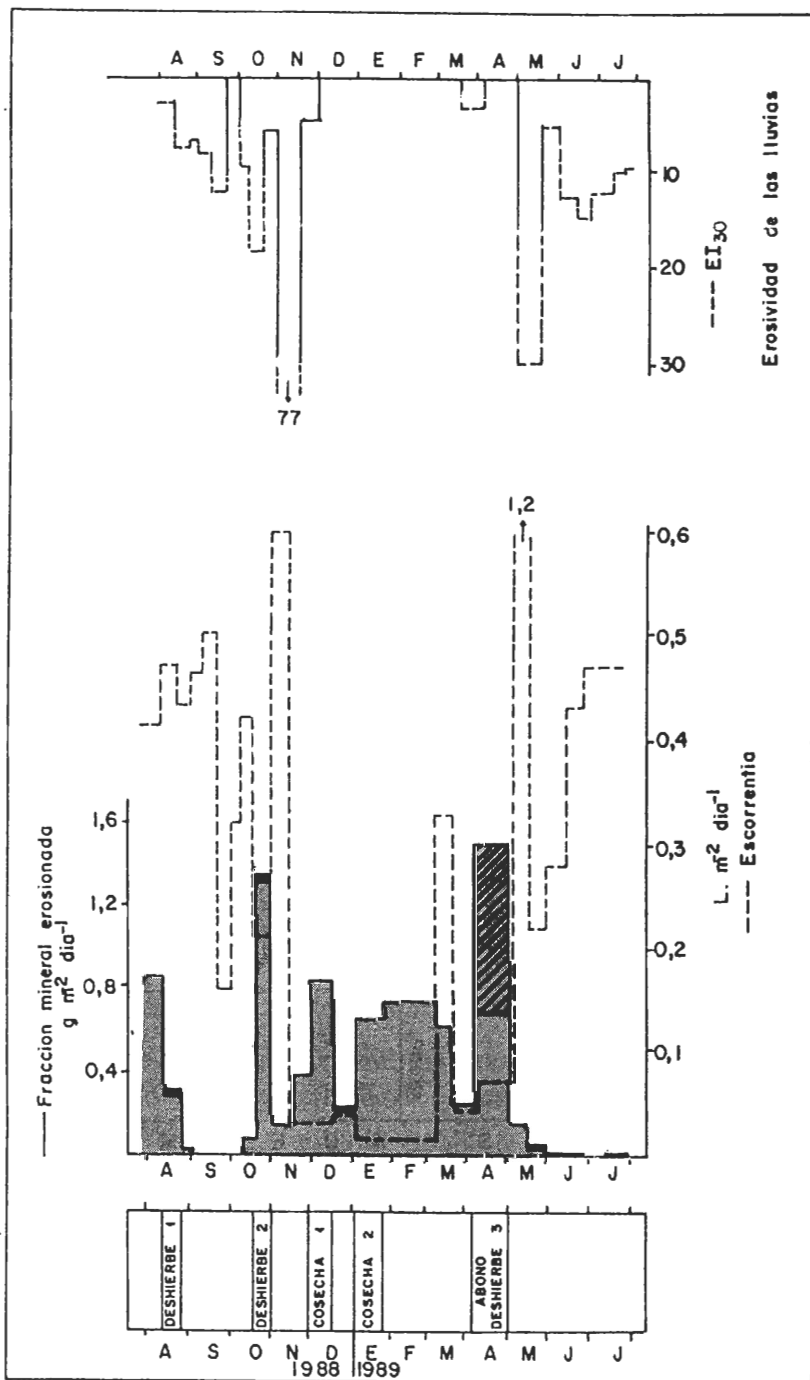


FIGURA 6

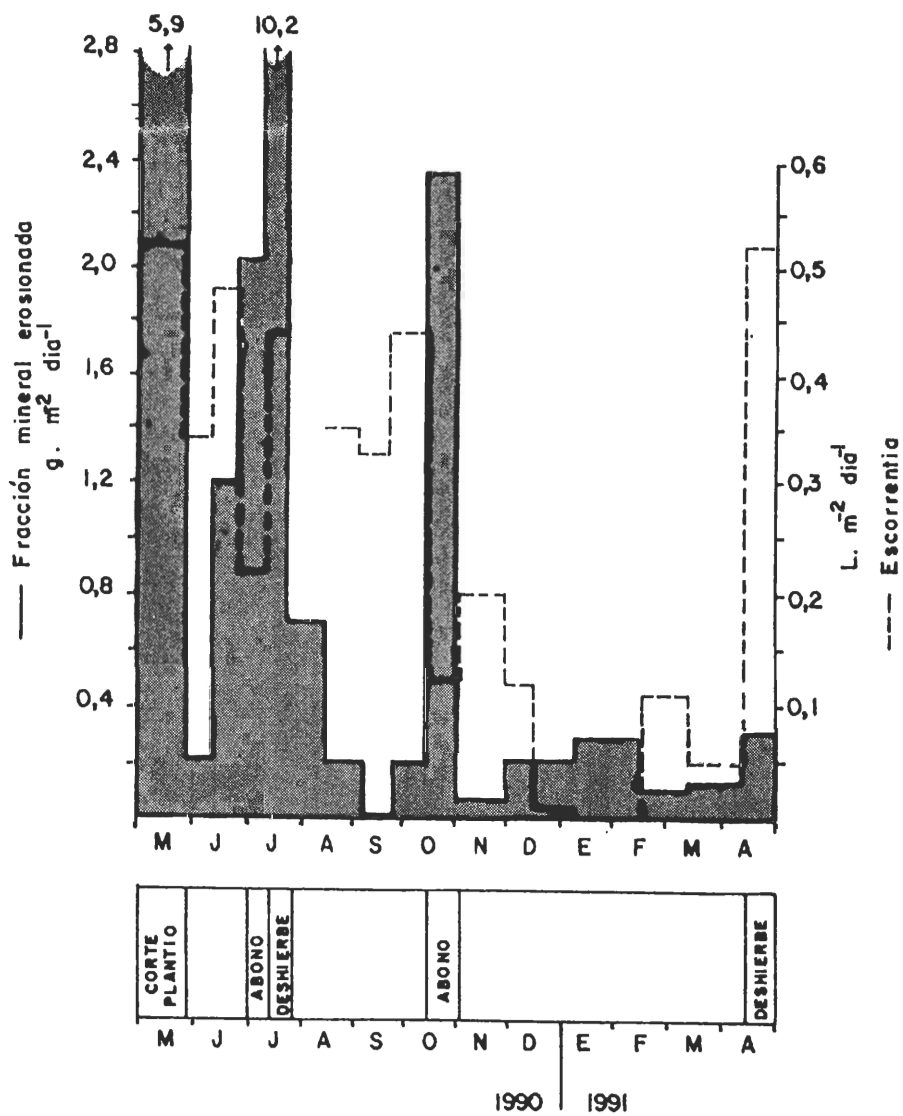


FIGURA 7

BIBLIOGRAFIA

- ADRIANI, A. 1984. *Labor Venezolanista*. Academia Nacional de Ciencias Económicas, Caracas.
- ATAROFF, M. & MONASTERIO, M.. 1992. "Estudio comparativo de los cafetales de sol y sombra en los Andes venezolanos: Balance hídrico y erosión en un ciclo anual". En RABEY, M. (Ed.): *Uso tradicional de los recursos naturales en ecosistemas de montaña*. IUBS-UNESCO/MAB, en prensa.
- COSTE, R. 1969. *El café*. Blume Ed., Barcelona.
- GARCIA, A., N. 1988. *Cafetales y café*. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas.
- GARCIA BENAVIDES, J. & LOPEZ, J. 1970. "Fórmula para el cálculo de la evapotranspiración potencial adaptada al trópico" (15°N-15°S) *Agronomía Tropical*. 20 (5) 335-345.
- 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.
- 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.
- JORDAN, C. F. KLINE J. R. & 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. & DREWRY, G. 1968. "Tritium movement in a soil of a tropical rain forest (Puerto Rico)". *Science* 160:550-557.
- LAL, R. 1979. "Analysis of factors affecting rainfall erosivity and soil erodibility". En D.J. GREENLAND y R. LAL (Eds.): *Soil conservation and management in the humid tropics*. John Wiley & Sons, Londres.
- MORENO, A. 1986. *Espacio y Sociedad en el Estado Mérida*. Universidad de Los Andes, Mérida.
- NIZINSKI, J. y SAUGIER, B. 1988. "Mesures et modélisation de l'interception nette dans une futaie de chenes". *OEcol. Plant.* 9 (3): 313-329.
- OMAR, M.H. 1968. "Potencial evapotranspiration in warm arid climate". En: UNESCO (ED) *Agroclimatological Methods. Proceedings of the reading symposium*. UNESCO. París.
- ROOSE, E. 1981. "Dynamique actuelle de sols ferralitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale". *Travaux et Documents de l'ORSTOM*, N. 130, París.
- SARMIENTO, G., MONASTERIO, M., AZOCAR, A. CASTELLANOS, E. y 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.
- VISHVESHVARA, 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. 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, Elsevier Scientific Pub., Amsterdam.