

Nº 623
A 74

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES Y AMBIENTALES DE POSTGRADO

**EROSIÓN DEL SUELO EN AGROECOSISTEMAS DE CAFÉ,
EN UN SECTOR DE LA MICROCUENCA QUEBRADA
DE RAMOS, SUBCUENCA RÍO CASTÁN,
ESTADO TRUJILLO, VENEZUELA.**

Por:

Rosalva Arellano Godoy.

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE *MAGISTER SCIENTIAE*.
POSTGRADO EN MANEJO DE CUENCAS, FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
DE LA UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.**

Mérida, enero 1997.

AGRADECIMIENTOS

Habiendo culminado felizmente mi propósito específico en la elaboración del presente trabajo, deseo manifestar mi agradecimiento, por la colaboración, orientación y ayuda prestada, a las personas e instituciones que en una u otra forma participaron en la realización del mismo.

Deseo mencionar mi reconocimiento muy especial al Profesor Roberto López, tutor del trabajo, por su asesoramiento en todas las etapas del mismo.

A los Profesores Luis Rázuri y Michele Ataroff y al Arquitecto Wilver Contreras por su asesoramiento y orientación en el diseño e instalación de las parcelas experimentales. A las Ing. Blanca Peña y Salomé Caldera por participar en la presente investigación como tesis de pregrado de la Carrera Ingeniería Agrícola. Al Ing. Carlos Padovano por su apoyo y colaboración en el trabajo de instalación de las parcelas. Al personal del área de Topografía del Dpto. de Ingeniería - NURR. Al personal Técnico del Laboratorio de Suelo del NURR. Al Grupo de Investigación de Suelos y Aguas (GISA) por su apoyo técnico. A los Profesores Ricauter Leonett y Alex Barrios, por su orientación y sugerencias en los aspectos metodológicos y corrección del texto. Al Profesor Eduardo Escalante por su apoyo académico. Al Profesor Carlos Díaz por su apoyo técnico. Al Dr. Marcelino Quijada por su asesoramiento en la parte estadística

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (C.D.C.H.T.) de la Universidad de Los Andes, por su apoyo financiero.

Al Señor Heriberto Linares, por acceder a la realización de la presente investigación en terrenos de su finca.

Al Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, por haber hecho posible la realización y culminación de mis estudios de cuarto nivel.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE APÉNDICES	xi
RESUMEN	xii
 CAPITULO I	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
HIPÓTESIS	4
 CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO:	
- EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DEL SUELO.	5
- LA VEGETACIÓN Y SU INFLUENCIA SOBRE LA EROSIÓN Y EL ESCURRIMIENTO.	7
- MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO.	9
- MODELOS MATEMÁTICOS.	11
- OTRAS TÉCNICAS DE PREDICCIÓN DE EROSIÓN	19
- EXPERIENCIAS RELATIVAS A LA EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO.	22
- SISTEMAS AGROFORESTALES Y LA CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS.	25
- EXPERIENCIAS RELATIVAS A LA EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO BAJO VEGETACIÓN DE BOSQUE Y CULTIVOS PERMANENTES.	27
- NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN VIGENTE EN ESTE CAMPO.	29

CAPITULO III

UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN FÍSICO-AMBIENTAL DEL ÁREA 32

- Selección del sitio. 32
- Ubicación del área de estudio. 33
- Capacidad de uso de la tierra. 34
- Uso actual de la tierra. 34

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 35

DESCRIPCIÓN DE LOS AGROECOSISTEMAS AGRÍCOLAS. 36

- Subsistema café con árboles de sombra. 37
- Subsistema de café con frutales. 39
- Subsistema de café sin sombra. 40
- Clasificación de los agroecosistemas de la finca. 41

CAPITULO IV

DISEÑO EXPERIMENTAL 43

INSTALACIÓN DE LAS PARCELAS DE EROSIÓN. 43

- Caracterización físico-química de los suelos. 47
- Caracterización de la vegetación por tratamiento. 47

DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS 48

- Tratamiento cultivo de café con árboles (CA). 48
- Tratamiento cultivo de café con frutales (CN). 50
- Tratamiento cultivo de café sin sombra (CS). 50
- Tratamiento barbecho desnudo (BD). 53
- Resumen de las características físicas y químicas de los suelo. 55

MÉTODOS DE EVALUACIÓN	58
- Mediciones y evaluación de las pérdidas de suelo y escurrimiento.	60
- Estimación de la Pérdida de Suelo	61
- Factor de erosividad de la lluvia (R).	62
- Factor de erosionabilidad del suelo (K).	63
- Factor de inclinación y longitud de la pendiente (LS).	64
- Factor de cobertura y manejo (C).	65
- Factor de prácticas de medidas de control de la erosión (P).	68
 CAPITULO V	
RESULTADOS Y ANÁLISIS	69
RESULTADOS	69
- Precipitación y erosividad de la lluvia.	69
- Cambios en la cobertura vegetal.	73
- Escurrimiento.	75
- Pérdida de suelo.	77
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	83
- Cobertura vegetal.	83
- Escurrimiento.	83
- Pérdida de suelo.	85
- ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO APLICANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE).	88
Análisis estadístico.	94
- Análisis de Varianza y Prueba de Significancia de Duncan.	94
- Análisis de Correlación.	96
 CAPITULO VI	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
 BIBLIOGRAFÍA	102

APÉNDICES	111
A. MAPA TOPOGRÁFICO DE LOS AGROECOSISTEMAS ESTUDIADOS.	113
B. RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE SUELO POR PARCELA Y POR TRATAMIENTO.	115
C. PRECIPITACIÓN E ÍNDICE DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA	116
D. DATOS OBTENIDOS EN PARCELAS EXPERIMENTALES.	124
E. RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.	132
F. CÁLCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO USLE.	138

www.bdigital.ula.ve

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Resumen de las características físicas y químicas de los suelos por tratamiento.	58
2. Valores de precipitación, escurrimiento y pérdida de suelo, para el período total de la investigación.	70
3. Porcentajes de cobertura por etapas.	75
4. Cálculo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Período marzo - noviembre 1995.	89
5. Comparación de los valores de Pérdida de Suelo Estimados a través de la USLE y los Medidos en Campo.	93
6. Resumen del Análisis de Varianza por Etapas y Total, para los Tratamientos Evaluados.	95
7. Resumen de la Prueba de Significancia de Duncan, para los Tratamientos Evaluados.	95

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Pág.
1. Esquema general de la finca.	37
2. Estructura vertical de los subsistemas de cultivo de café estudiados.	42
3. Vista isométrica de una parcela experimental para medir pérdida de suelo.	45
4. Corte longitudinal de una parcela experimental.	46
5. Detalle de una canal recolectora de material.	46
6. Perfiles en tratamiento café con árboles.	49
7. Perfiles en tratamiento café con frutales.	51
8. Perfiles en tratamiento café sin sombra.	52
9. Perfiles en tratamiento barbecho desnudo.	54
10. Distribución de las plantas de café, frutales y árboles en las parcelas de erosión y disposición de colectores de escurrimiento	56
11. Precipitaciones e intensidades máximas en 30 minutos. Período marzo - noviembre 1995.	72
12. Precipitaciones y EI30. Período marzo - noviembre de 1995.	72
13. Volumen escurrido y precipitación asociada. Período marzo - noviembre 1995.	76
14. Volumen escurrido y EI30 asociada Período marzo - noviembre 1995.	76
15. Volumen escurrido y EI30 acumulados. Período marzo - noviembre de 1995.	78
16. Pérdida de suelo total y lluvia asociada. Período marzo - noviembre 1995.	78
17. Pérdida de suelo total y EI30 asociada. Período marzo - noviembre 1995.	79
18. Pérdida de suelo total y EI30 acumuladas. Período marzo - noviembre 1995.	79

19. Pérdida de suelo < 2 mm y lluvia asociada. Período marzo - noviembre 1995.	81
20. Pérdida de suelo < 2 mm y EI30 asociada. Período marzo - noviembre 1995.	81
21. Pérdida de suelo 2 < mm y EI30 acumulada. Período marzo - noviembre 1995.	82
22. Pérdida de suelo total y % de lluvia escurrida. Período marzo - noviembre 1995.	82

www.bdigital.ula.ve

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
A. Mapa topográfico de los agroecosistemas estudiados	113
B. Resumen de las características de los suelos por Parcela y por Tratamiento.	115
C1. Registros de las precipitaciones para el año 1995.	117
C2. Ejemplo de un cálculo de erosividad de la lluvia EI30.	122
C3. Precipitación acumulada, intensidad máxima (I30) y el índice de erosividad de la lluvia (EI30). Período marzo-noviembre 1995.	123
D. Volumen de Escurrimiento y Pérdidas de Suelo en Parcelas Experimentales. Período marzo-noviembre 1995.	125
E1. - E-3. Análisis de Varianza por Etapas y Total, para los Tratamientos evaluados. Variables Pérdida de Suelo, Pérdida de suelo < 2 mm y Lámina Escurrida. Período marzo-noviembre 1995.	133
E4. - E6. Discriminación de Medias según Método de Duncan, por Etapas y para el Período Total de Observación, para los Tratamientos considerados. Variables Pérdida de Suelo, Pérdida de Suelo < 2 mm y Lámina Escurrida.	134-136
E7. Análisis de correlación para los Tratamientos Evaluados. Período marzo-noviembre 1995.	137
F1. Cálculo de la erosividad de la lluvia para precipitaciones > 10 mm.	139
F2 y F3. Cálculo del factor K de la USLE.	140
F4. Nomograma para la determinación del factor K.	141
F5. Cálculo del factor LS de la USLE.	142
F6. Subfactor de efecto residual de enlazamiento.	143
F7. Efecto del suelo desnudo, matriz de raíces finas de los árboles y reconsolidación del suelo, en suelos no labrados	144
F8. Subfactor cobertura del dosel.	144
F9. Cálculo del factor C de la USLE.	145

RESUMEN

Se condujo un experimento con el objeto de evaluar la pérdida de suelo en agroecosistemas de cultivo de café. Para ello se instalaron parcelas de erosión en diferentes subsistemas del cultivo de café, de una finca ubicada en un sector de la microcuenca Quebrada de Ramos, subcuenca del Río Castán del Estado Trujillo. Los subsistemas evaluados son: café con sombra arbórea (CA), café con árboles frutales (CN), café sin sombra (CS), considerando además parcelas en barbecho desnudo (BD), como testigo. La pendiente varía entre 35 y 42 %. En las parcelas se llevan a cabo mediciones de pérdida de suelo y volumen de escurrimiento y se hace un seguimiento del comportamiento de los factores asociados a la expresión del proceso de erosión hídrica, para determinar su importancia localmente.

La investigación está planteada para realizarse en un período de tres años consecutivos (1994 - 1997). Los resultados que se presentan son el producto del conjunto de datos recolectados en el primer año de la investigación. La precipitación ocurrida durante el período de observación fue de 822,5 mm con una erosividad de 4892 Mj mm/ ha h; y las pérdidas de suelo en orden creciente fueron: café con árboles (390,9 kg/ha), café sin sombra (627,52 kg/ha), café con frutales (646,65 kg/ha) y el barbecho desnudo (887,8 kg/ha). Estos resultados evidencian que la combinación café con árboles de sombra (CA) es la más eficiente para contrarrestar la erosión hídrica siendo, en la presente investigación, un 56 % más efectiva que el barbecho desnudo (BD), un 40 % más que el café con árboles frutales (CN) y un 37 % más que el café sin sombra. Los resultados de pérdidas de suelo estuvieron afectadas por la cantidad de lámina precipitada, la protección que ejerce la cobertura vegetal, tanto aérea como al ras del suelo, y por las prácticas de manejo agronómico y cosecha del cultivo de café que perturban el suelo y alteran la cobertura vegetal.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La pérdida de suelo, a través de los procesos de erosión, y la disminución de la fertilidad, debido a procesos de degradación física, química y biológica, son la principal causa del deterioro de las cuencas y de la disminución de la productividad.

En América Latina, y particularmente en muchas regiones de Venezuela, se ha incrementado la productividad a través de la introducción de nuevas prácticas de manejo de cultivos: semillas mejoradas, equipos de labranza, uso de fertilizantes y biocidas, pero, actualmente el mantener esa productividad resulta muy costoso por el incremento en los precios de los insumos y, porque hay una disminución en la fertilidad tanto por erosión como por otros tipos de degradación del suelo que pocas veces es reconocida.

Un problema de importante consideración que se presenta en los Andes Venezolanos es la degradación de los suelos, causada por la expansión de la frontera agrícola en tierras de altas pendientes y por las inadecuadas prácticas de manejo, lo que ha traído como consecuencia una disminución en la productividad. Por tal motivo, desde los años 60, son muchos los trabajos realizados para la conservación de suelos y aguas a través de los programas de "Subsidio Conservacionista", hoy día programa de "Infraestructura Social Conservacionista" (I.S.C.), ejecutado en los últimos años por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Particularmente en la Cuenca del Río Castán, importante cuenca productora de agua, existen serios problemas de deterioro debido a prácticas deficientes de uso de las tierras aguas arriba, lo que ha traído como consecuencia cambios en el régimen hídrico y en general, deterioro en la calidad y cantidad de agua de la

cuenca. Por esta razón se han venido realizando varios proyectos de I.S.C.; ejecutados por los agricultores en sus fincas con la orientación de los técnicos. Las prácticas conservacionistas más utilizadas en la cuenca son: las terrazas individuales para el cultivo de vegetación perenne (frutales y café) en monocultivo y asociados, cultivo de pasto de corte, barreras vivas de pasto, zanjas de ladera, muros de piedra y renovación de los cafetales.

Sin embargo, aún cuando los agricultores usuarios de la tierra han observado, un mejoramiento en la producción y la productividad, son pocas las evaluaciones cuantitativas y cualitativas realizadas para determinar la eficiencia de las prácticas utilizadas, de manera de tener un soporte científico que permita confirmar sus bondades y limitaciones en condiciones particulares.

La presente investigación está orientada a obtener información científica sobre el efecto conservacionista de algunos subsistemas de cultivo, en un sector de la subcuenca del Río Castán; a través del establecimiento y evaluación de parcelas experimentales de erosión, en cada uno de los subsistemas previamente seleccionados; determinando así, las pérdidas de agua por escurrimiento y las pérdidas de suelo, asociadas con los eventos de lluvia ocurridos durante el periodo de observación.

A la par, se realizaron estimaciones aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) a los fines de establecer su comparación con los valores obtenidos a través de mediciones de campo.

Los resultados de esta experiencia servirán de base a futuras investigaciones y proyectos que se realicen en la zona, de tal forma de poder orientar acerca de la selección de prácticas de manejo conservacionista con la finalidad de mantener una agricultura sostenible.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de diferentes subsistemas del cultivo de café en cuanto al efecto conservacionista asociado al manejo, particularmente en lo que se refiere a la protección al suelo ante la erosión, en un sector de la subcuenca alta del Río Castán.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Cuantificar pérdidas de suelo, expresada en kg/ha, bajo diferentes subsistemas agrícolas durante el período de marzo a diciembre del año 95, y con esta base, hacer una valoración preliminar del comportamiento de cada uno de ellos, en cuanto a la protección que ofrecen al suelo frente a las pérdidas por efecto de la erosión hídrica.
2. Relacionar las pérdidas de suelo bajo diferentes subsistemas agrícolas con las características de las tierras: suelo, gradiente de la pendiente local; el tipo y grado de cobertura vegetal; y el manejo asociado a los diferentes subsistemas a ser evaluados.
3. Establecer comparaciones entre las pérdidas de suelo observadas mediante mediciones de campo con las estimaciones obtenidas a través de la USLE.

HIPÓTESIS

1. La pérdida de suelo y agua en el cultivo de café bajo sombra de especies arbóreas, al igual que el cultivo de café asociado con frutales se expresa en relativamente bajas magnitudes, en comparación con café a plena exposición solar, bajo condiciones físico-ambientales similares.
2. El tipo, densidad y condición de la cobertura vegetal y de la cobertura al ras del suelo afectan la eficiencia de los diferentes subsistemas de cultivo, en la protección del suelo contra la erosión.
3. Las prácticas de manejo asociadas a los diferentes subsistemas del cultivo de café tienen un efecto importante en el desarrollo del proceso de la erosión hídrica.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

EROSIÓN Y DEGRADACIÓN DEL SUELO

El suelo es un recurso natural renovable a muy largo plazo, el cual puede deteriorarse con rapidez, razón por la cual resulta trascendental su conservación, implicando primero evitar la pérdida física, como tal, del recurso por efecto de la erosión y segundo evitar la disminución de su calidad original por la degradación (Malagón, 1981).

La degradación de los suelos por erosión hídrica es uno de los principales problemas graves que confrontan algunas áreas dentro de zonas montañosas, señalándose la erosión pluvial como la responsable de la mayor parte de la pérdida de los suelos agrícolas cuando éstos no se encuentran protegidos por alguna capa vegetal (FAO, 1967); y la erosión por escurrimiento, cuando la intensidad de las lluvias es mayor que la tasa de infiltración, facilitada por el gradiente del terreno, el escurrimiento lleva consigo la carga de suelo desprendido.

La erosionabilidad del suelo y la erosividad de la lluvia son dos factores físicos importantes, que afectan la magnitud de la erosión del suelo. La erosionabilidad, así como las características del suelo, son una medida de la susceptibilidad del desprendimiento del suelo y su transporte por los agentes de erosión. La erosividad es una expresión de la habilidad de los agentes erosivos para causar desprendimiento del suelo y su transporte. La cuantificación de esos dos factores es básica para entender los procesos de erosión del suelo. La magnitud de la erosión depende, en buena medida, de la facilidad con que las partículas individuales pueden ser desprendidas por la energía de las gotas de lluvia y/o el flujo superficial (Lal, 1988).

La erosionabilidad del suelo está influenciada por las propiedades del mismo, tales como distribución del tamaño de las partículas, estabilidad estructural, contenido de materia orgánica, naturaleza de los minerales de arcilla y las condiciones químicas. Los parámetros que afectan la estructura del suelo y las características de transmisión del agua, también afectan la erosionabilidad. Esas características del suelo son dinámicas y pueden alterarse con el tiempo, uso y manejo de las tierras o durante una tormenta de lluvia. La textura es una característica importante del suelo que influye en la erosionabilidad por su efecto en el desprendimiento y el transporte del mismo. La textura y la estructura del suelo también influyen en su capacidad de infiltración. El balance de las tasas de infiltración son una función de la porosidad total, la proporción relativa de macroporos, la estabilidad y continuidad de los macroporos. Los bio-canales creados por las raíces una vez muertas y por la fauna del suelo tienen efectos importantes sobre la capacidad de infiltración (Lal, 1988).

La erosividad de la lluvia es la fuerza que impulsa a los agentes de erosión causando desprendimiento y transporte; se debe directamente al impacto de las gotas de lluvia e indirectamente al escurrimiento que ella genera .

Uno de los principales efectos adversos de la erosión es la pérdida de fertilidad a través de la remoción de la materia orgánica y nutrientes en sedimentos erosionados. Diversas clases de degradación física, química y biológica igualmente disminuyen la fertilidad del suelo, aún en áreas donde no existen problemas de erosión. Esto ha llevado a considerar que el principal objetivo de la conservación de suelos es el mantenimiento de la fertilidad, a través del control de la erosión y el mantenimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas, incluyendo el estado de nutrientes y la anulación de toxicidades (Young, 1989).

LA VEGETACIÓN Y SU INFLUENCIA SOBRE LA EROSIÓN Y EL ESCURRIMIENTO

La cobertura vegetal es el factor más simple e importante en el control de la erosión del suelo. Sin embargo, actualmente se le está dando mucho énfasis al papel que juega la materia orgánica viva o muerta incorporada al suelo, para contrarrestar la erosión. La promoción de la vegetación o de una propuesta biológica para la conservación de suelos tiene mucho que ofrecer como estrategia en los planes conservacionistas.

La vegetación es el factor más fácilmente manipulado, pero debe hacerse un manejo cuidadoso. Además, mientras la vegetación crece y protege al suelo, casi siempre se obtienen beneficios económicos directos, en términos de rendimiento y productividad. La vegetación protege al suelo de la erosión por la intercepción de las gotas de lluvia y la absorción sin daños de su energía cinética. Cierta cantidad de lluvia puede ser evaporada desde las hojas; pero mucha alcanza la superficie del suelo escurriendo a través de los tallos. Además, si la vegetación crece densamente hay pocas posibilidades de que las gotas de agua aumenten la velocidad y ganen más energía cinética (Stocking, 1988).

La escorrentía y erosión procedentes de buenos pastizales o de bosques son pequeñas, a menudo representan menos del 5 y del 1 por ciento de las pérdidas de un suelo desnudo (Bennet, 1939, citado por Kirkby y Morgan, 1984). Semejantes señalamientos hace Silva (1994) en relación a coberturas de sabana y bosque claro en el Estado Cojedes de Venezuela, indicando que ambas coberturas son un importante factor de mitigación en el proceso erosivo y que reducen notablemente la erosión potencial, es decir, la que ocurriría sin ninguna cobertura; pero que, sin embargo, el efecto sobre el escurrimiento es distinto. El

bosque local produce mucho mayor escorrentía que la sabana, en niveles similares al suelo desnudo.

La escorrentía y la erosión aumentan rápidamente sobre suelos con menos del 70 por ciento de cubierta vegetal (Copeland, 1965, citado por Kirkby y Morgan, 1984). Las cantidades de suelo erosionado no se relacionan tanto con la escorrentía como con las proporciones de suelo desnudo; esto se debe a que el suelo arrastrado frecuentemente no llega a la corriente, sino que es atrapado cuesta abajo por la vegetación o redepositado en los fondos de los valles o en las pendiente cóncavas (Kirkby y Morgan, 1984).

La vegetación arbórea mejora el suelo a través del incremento de la materia orgánica, fijación de nitrógeno, incremento de los nutrientes; reduce las pérdidas de materia orgánica y nutrientes al promover el reciclaje y controlar la erosión; mejora las propiedades físicas del suelo incluyendo la capacidad para retener el agua; y produce efectos beneficiosos a los procesos biológicos del suelo (Young, 1989).

De todos los efectos de los árboles, el mantenimiento de los niveles de materia orgánica en el suelo, a través de la incorporación de hojas y residuos de raíces, es el de mayor influencia en el mejoramiento de la fertilidad del suelo. Las principales funciones de la materia orgánica en el mantenimiento de la fertilidad del suelo son las siguientes: mantiene buenas condiciones físicas incluyendo la capacidad de retención de agua; proporciona un suministro balanceado de nutrientes; induce a un uso más eficiente de los fertilizantes al mejorar la capacidad de intercambio catiónico e incrementar el reciclaje y suministro de, micronutrientes (Young, 1989).

MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO

La medición en el campo de las pérdidas de suelo por erosión hídrica tiene por objeto determinar la cantidad de suelo transportado a cierta distancia en un espacio dado, por la acción del agua, en un tiempo específico (Ploey y Gabriels citados por Pérez, 1989). Estas mediciones generalmente se realizan mediante parcelas de erosión.

El tipo, tamaño y tiempo de observación de las parcelas de erosión dependen de los datos requeridos para el análisis, de tal forma que permitan cumplir con los objetivos planteados en la investigación. Las parcelas pequeñas son las usadas generalmente en experimentos de laboratorio para estudios básicos de fases de erosión, por ejemplo la erosión laminar, la estabilidad de agregados y el desprendimiento y transporte por gotas de lluvia; los cuales son difíciles de estudiar en detalle en parcelas de gran tamaño; también pueden usarse para el estudio del efecto de las características del suelo sobre los procesos de erosión; igualmente para el desarrollo de modelos matemáticos de procesos de erosión (Mutchler et al, 1988).

El segundo tipo de parcelas de investigación de la erosión son aquellas bastante grandes para representar los procesos completos de erosión laminar y en surcos; un buen ejemplo son las desarrolladas para la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo (USLE), las cuales deben ser lo suficientemente anchas para minimizar los efectos de borde y bastante largas para el desarrollo de surcos pendiente abajo (Mutchler et al., 1988).

El tercer tipo de parcelas de investigación de erosión son las pequeñas cuencas o microcuencas para evaluar la influencia integral del uso de la tierra a nivel de Cuencas Hidrográficas, como información básica para la planificación integral de Unidades Hidrológicas (Páez, 1990). Lo atractivo de este tipo de parcelas es que puede combinar el resultado de todos los procesos de erosión y medidas de

conservación en una simple medición. Sin embargo, con este tipo de parcelas hay poca oportunidad de enterarse de las diferentes partes de los procesos de erosión y además, no son fáciles de replicar para aumentar la confiabilidad de los resultados (Mutchler, 1988).

Uno de los grandes problemas en los estudios de campo, como es el caso de los experimentos de labranza, es el requerimiento de grandes parcelas; frecuentemente en estos estudios las réplicas son mínimas y por lo tanto, más sensible a los efectos de heterogeneidad del suelo. Cuando se tienen réplicas insuficientes las estimaciones del término de error son pobres, en consecuencia, es bajo el poder para detectar diferencias significativas entre los tratamientos. El problema se puede agravar por el alto valor del error experimental debido a la alta variabilidad del suelo (Van Es et al., 1989).

Olson et al. (1994) presentan la evaluación de algunos métodos para identificar fases de suelo erosionado y cuantificar la cantidad de suelo perdido por erosión; dicha cuantificación debe hacerse antes de determinar las fases de erosión de un suelo. Entre los métodos actualmente usados cita los siguientes: comparación de pedones erosionados y no erosionados de la misma serie de suelo; consideraciones geomorfológicas; comparaciones de sitios cultivados y no cultivados; el uso de fotografías aéreas o imágenes de satélite para contrastar las mismas áreas en dos tiempos diferentes. Otras técnicas utilizadas son la comparación de la profundidad del horizonte A, color del suelo y contenido de arcilla; propiedades del subsuelo como profundidad del solum, contenido y distribución de arcilla en el horizonte B, profundidad del horizonte argílico, etc. Algunos investigadores han usado la masa de capas de sedimentos estratificadas y la profundidad o el espesor de la capa de depósito. La redistribución de la materia orgánica en el suelo ha sido utilizada como un indicador de la erosión acelerada del suelo.

Páez (1991) hace referencia a otros métodos de cuantificación de erosión como son: las *parcelas y bandejas de erosión* con lluvias simuladas, las cuales pueden evaluar algunos subfactores del factor C de la USLE tales como residuos en superficie o coberturas y acondicionadores sobre el suelo. Las *copas de erosión* que permite evaluar la efectividad de ciertos subfactores del factor uso y manejo de la tierra sobre el proceso de separación del suelo. El *método altimétrico* que consiste en la medición de la diferencia de nivel de estacas o cabillas instaladas y numeradas en campo y en un plano del área considerada. Este último método además de ser simple y de bajo costo puede ser útil para evaluar la eficiencia relativa de ciertos sistemas de uso y prácticas de conservación, especialmente en áreas de vegetación natural o en cultivos permanentes, como café, pastizales o zonas boscosas naturales. El método altimétrico da una estimación directa de la lámina de suelo perdida; con la densidad aparente pueden estimarse las pérdidas de suelo en toneladas. Los *diques permeables* que consiste en una combinación de parcelas de erosión y el método altimétrico. El dique se construye con malla metálica, instalada al final de una parcela de erosión el cual deja pasar el agua y atrapa el sedimento sólido; aguas arriba del dique se instala una red de cabillas graduadas. La diferencia de altura entre una y otra cabilla permiten estimar el volumen de sedimentos y de allí derivar las pérdidas de suelo.

MODELOS MATEMÁTICOS

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)

El método de uso más amplio para la predicción de pérdida de suelo es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE): $A = R K L S C P$; en donde A es la pérdida de suelo por unidad de área, R es el factor de erosividad de la combinación lluvia-escorrentía, K es el factor de erosionabilidad del suelo, L y S es el factor de longitud e inclinación de la pendiente, C es el factor de manejo de cobertura y P es el factor de métodos de control de la erosión. La USLE fue

desarrollada con el fin de predecir la pérdida de suelo promedio anual procedente de la erosión laminar y en surcos y determinar alternativas de cultivo y manejo que puedan reducir la pérdida de suelo estimada a los valores de tolerancia sugeridos para el tipo de suelo (Mutchler et al., 1988).

Datar et al. (1980) realizaron modificaciones del factor "C" estudiado por Wischmeier (1975, citado por Datar 1980) para tierras de bosque utilizadas en áreas de jardines.

La fórmula original comienza por subdividir el factor "c" en subfactores

$$C = c_1 c_2 c_3$$

Donde C es el factor de cobertura y manejo de cultivos para la ecuación universal de pérdida de suelo; c1 es el efecto de la cobertura de la copa, incluyendo subfactores altura de la copa, % de área cubierta por la copa, tamaño de las gotas de lluvia (efecto tipo I); c2 es el efecto de "mulch" y la vegetación que crece cerrada en directo contacto con el suelo, el principal factor es la proporción (%) del área cubierta (efecto tipo II); c3 es el efecto residual del uso de la tierra, incluyendo las raíces subsuperficiales y la actividad biológica del suelo no disturbado por largos períodos de tiempo (efecto tipo III).

El cálculo del efecto tipo I permite dos modificaciones que pueden ser tomadas en cuenta para áreas cubiertas con árboles y arbustos. La primera, es el tiempo en que las plantas tienen follaje y la segunda, especialmente para arbustos, toma en cuenta la cantidad de agua interceptada y movida hacia abajo por los tallos y ramas.

Ross et al. (1980) desarrollaron una fórmula que usa las características de las plantas (altura de la copa, densidad vertical, tiempo de rebrote de los follajes, cobertura de la copa y cobertura de hojarasca) como base para predecir el factor "C" de la USLE. Las estimaciones de C pueden hacerse para una gran variedad de especies, de tal forma que se provee un método lógico de selección de plantas para el control de la erosión. Uno de los análisis importantes en este

estudio, con los datos de las características de 47 plantas de seis regiones de Pennsylvania, es que, cuando un gran porcentaje del área está cubierta por hojarasca otros factores son menos importantes, por ejemplo, la altura de la copa no tiene efecto sobre los valores del factor C cuando se predicen con datos de 60 y 80 % de cobertura de hojarasca.

Dissmeyer y Foster (1981), basados en los tres subfactores identificados por Wischmeier para el factor C, desarrollan el proceso para evaluar C en condiciones de bosque.

Wischmeier (1975, citado por Dissmeyer y Foster 1981) identificó tres subfactores importantes: copa, cobertura superficial y efecto subsuperficial. Este último subfactor puede ser diferenciado ampliamente en separabilidad del suelo, rugosidad, uso residual de la tierra e incorporación de residuos de cultivos.

Los principales subfactores que operan en el ambiente de bosque son:

- 1) Cantidad de suelo desnudo o suelo cubierto.
- 2) Cobertura del follaje.
- 3) Reconsolidación del suelo.
- 4) Alto contenido de materia orgánica.
- 5) Raíces finas.
- 6) Efecto residual de la labranza.
- 7) Almacenamiento del sitio en depresiones.
- 8) Escalonamiento de la pendiente.
- 9) Contornos de la labranza.

Del 1 al 7 están contenidas en las prácticas agrícolas, especialmente en labranza conservacionista. El escalonamiento no ocurre en muchas situaciones agrícolas y la labranza en contorno es parte del soporte del factor P de prácticas. Un valor compuesto de C es el producto de cada uno de los subfactores que aparecen en una situación dada de bosque.

Subfactor de suelo desnudo: La erosión es una función de la cantidad de suelo expuesto. Coberturas tales como hojarasca, ramas, rolas de madera y raíces superficiales protegen el suelo de la fuerza erosiva del impacto de las gotas de lluvia y escurrimiento. Los suelos de bosque no perturbados y protegidos tienen una tasa de infiltración que usualmente excede la intensidad de la lluvia.

Subfactor de cobertura del follaje: La copa vegetal intercepta la lluvia y recoge el agua en su follaje. Las gotas que caen de las copas pueden ser más grandes que las gotas de lluvia original pero cuando caen de una copa baja, la energía de las gotas que alcanzan el suelo superficial es menor que la de las lluvias en áreas abiertas. También algunas lluvias interceptadas nunca alcanzan la tierra porque se evapora durante y después de la tormenta.

El subfactor de cobertura del follaje se aplica solamente a la capa sobre suelo desnudo. La copa sobre hojarasca no se incluye porque la cobertura superficial es el factor de control. La cobertura del follaje o copa se evalúa estimando el porcentaje de suelo desnudo que tiene copa sobre éste y el promedio de la altura de la gota desde la copa. Las áreas abiertas dentro de la copa donde la lluvia puede pasar no son consideradas como parte de la copa.

Subfactor de reconsolidación del suelo: Generalmente los suelos se reconsolidan y llegan a ser menos erosionables un tiempo después de retirarse la labranza, igualmente los suelos no perturbados son generalmente menos erosionables. Sin embargo, el efecto depende del tipo de suelo.

Para suelos de bosque baldíos el factor reconsolidación del suelo es de 0,45. Aunque, cuando es labrado y preparado para plantaciones de árboles el subfactor comienza en 1,0 y decrece con el tiempo después de la labranza.

Subfactor de alto contenido de materia orgánica: Bajo bosque permanente el suelo superficial acumula un alto contenido de materia orgánica, el cual no es

considerado en el nomograma de la USLE. Wischmeier y Smith (1978, citado por Dissmeyer y Foster 1981) recomendaron multiplicar por un subfactor de 0,7 estimado por el alto contenido de materia orgánica en los suelos forestales permanentes.

Subfactor de raíces finas: Una fina capa de raíces se presenta generalmente en los suelos de bosque en una profundidad de 5 cm. Aún después que los árboles son removidos, el material de raíces residual protegerá al suelo de la fuerza erosiva de la lluvia y el escurrimiento. La estimación se hace basada en el porcentaje de suelo desnudo que tiene esta efectiva red de raíces en su lugar. La segunda aplicación del subfactor es atribuirle estas redes de raíces finas nuevas, a la vegetación invasora que fue removida o mutilada por la labranza. La expansión del sistema de raíces de hierbas invasoras, pastos, arbustos y árboles, en esos suelos perturbados, reducen la erosión en el área donde se presentan.

Subfactor de efecto residual de enlazamiento: La respuesta de erosión de un suelo depende de la historia reciente de ese suelo; es decir, que existe un efecto residual cuando se cambia la condición o el uso de la tierra. Cuando un suelo baldío es cultivado, la erosión inmediatamente después de la labranza puede ser mucho menor que la que sería dos o tres años después. Los suelos al principio tienen, favorablemente, buena estructura. Las raíces finas y la materia orgánica entrelazan al suelo en agregados más estables.

Subfactor de almacenamiento en depresiones "in situ": No todo el suelo desprendido puede ser descargado al pie de la pendiente. Algunos pueden ser almacenados localmente en depresiones, tales como: orificios en troncos, declives arados manual o por maquinarias, desechos de rolas de madera, etc.

Subfactor de escalonamiento de la pendiente: El escurrimiento superficial lava la hojarasca y los desechos pendiente abajo hasta depositarlos. Este material

forma pequeñas represas que almacenan agua y colectan sedimentos, ellos forman escalones cuando esos charcos se llenan de sedimentos. Los escalones también se forman detrás de raíces, masa de vegetación u otros obstáculos y al mismo tiempo en que las depresiones se llenan de sedimentos. Los escalones disminuyen el grado de pendiente. Los autores desarrollaron el factor de escalones asumiendo que la porción de la pendiente cubierta por los peldaños actúan como cortos segmentos de pendientes de 3 %. Adicionalmente asumieron que el flujo del escurrimiento es interceptado a través de los peldaños.

Subfactor de los contornos de la labranza: El arado en contorno generalmente reduce la erosión laminar y en surcos, reduciendo la cantidad de escurrimiento y la velocidad en comparación con la labranza en sentido de la pendiente. Lo anterior es la base para asignar el valor de 1 al factor de P en la USLE.

Evaluación del factor C: Los valores de C se obtienen multiplicando los valores de los subfactores apropiados por la condición dada. Los sitios caen dentro de dos categorías de perturbación: labrados y no labrados. Cada sitio debe ser inspeccionado para determinar cuales subfactores están operando.

Wischmeier y Smith (1978, citados por Dissmeyer y Foster, 1981) dan una distribución de la erosividad de la lluvia a través del año. Para un año, un promedio del factor C puede ser aproximado por la multiplicación del valor C estacional por los valores estacionales de R, sumando los productos (CR) y dividiéndolos por el anual.

Foster y Wischmeier (1974, citados por Mitchell, 1980), basados en el método para calcular la pérdida de suelos en áreas con perfiles complejos, presentan una metodología para evaluar los efectos de LS para las pendientes irregulares. La pendiente irregular se divide en una serie de n segmentos; cada uno deberá

ser uniforme en su grado y tipo de suelo. La pérdida de suelo para toda la pendiente se calcula con la ecuación:

$$A = (0.224)RKCP \frac{\sum (s_j x_j^{m+1} - S_j x_{j-1}^{m+1})}{x_e (22.13)^m}$$

Donde:

x = distancia de la cima de la pendiente hasta el extremo inferior del segmento j -ésimo, en metros,

x_{j-1} = longitud de la pendiente desde la cima hasta el extremo superior del segmento j -ésimo, en metros,

x_j = longitud total de la pendiente, en metros,

m = exponente que varía según el grado de la pendiente,

S_j = valor de grado de grado de pendiente para el segmento j , y A , R , K , C , P y son según definiciones previas.

McCool et al. (1987) realizaron una revisión del factor de inclinación de la pendiente para la USLE, utilizando datos recientes e históricos de parcelas de erosión de suelos con lluvias simuladas y naturales, resultando nuevas relaciones de la inclinación de la pendiente para la misma. Uno de los aspectos importantes que resalta en esta revisión es el incremento de la erosión a tasas muy pequeñas en pendientes bajas, en contraposición con las pendientes abruptas. Una posible razón es que ocurre poca o ninguna erosión en surcos en pendientes bajas, y la erosión entre surcos, componente más importante en la pérdida de suelo total, no es muy afectada por la pendiente (Foster, 1982). Cuando la pendiente excede a inclinaciones críticas la erosión en surcos comienza, causando rápidos incrementos de pérdidas de suelo total (Meyer y Harmon, 1985).

En los datos analizados, entre las relaciones de inclinación - pérdida de suelo en pendientes bajas y pendientes fuertes los cambios no siempre fueron abruptos. Los valores de separación entre altas y bajas pendientes varían con el escurrimiento, erosionabilidad del suelo, esfuerzo cortante crítico y otros factores. En los datos observados, el cambio ocurre alrededor del 8 %; pero la ecuación resultante fue normalizada a 9 % de pendiente. Las dos relaciones derivadas del análisis se aplica a rangos de inclinación $< 9\%$ y $> 9\%$ respectivamente.

Las ecuaciones recomendadas para usar en la USLE son las siguientes:

$$S = 10.8 \text{ Sen } \theta + 0.03 \quad s < 9 \%$$

$$S = 16.8 \text{ Sen } \theta - 0.50 \quad s > 9 \%$$

Donde :

S= factor de inclinación de la pendiente, en la USLE.

θ = ángulo de la pendiente, teniendo una inclinación de s expresada en porcentaje.

Igualmente, para pendientes cortas donde la erosión es causada por el impacto de las gotas de lluvia, y el escurrimiento descarga libremente al final de la pendiente, McCool et al. (1987) recomiendan la siguiente ecuación:

$$S = 3.0 (\text{Sen } \theta)^{0.8} + 0.56$$

Esta ecuación no es aplicable a pendientes > 4 m de longitud.

Williams (1975, citado por Mutchler et al., 1988) realizó modificaciones a la USLE para desarrollar la MUSLE (USLE modificada) con el fin de obtener estimaciones de la producción de sedimentos en pequeñas cuencas agrícolas.

Renard et al. (1991, citado por Larson, 1993), Renard et al. (1994) y Joder y Low (1995) en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada, RUSLE, describen algunos cambios que ha sufrido ésta moderna herramienta para la predicción de erosión y planificación conservacionista. La RUSLE, la cual está basada en la estructura fundamental de la USLE, presenta mejoras significativas sobre la tecnología de la USLE en el cálculo de cada uno de los factores.

Tanto la USLE como la RUSLE están diseñadas para predecir las tasas de erosión promedio anual a largo plazo, por lo tanto es muy limitada para estimar tasas de erosión para simple tormentas, aún para un simple año calendario (Joder y Lown, 1995).

La mejora más significativa de la RUSLE es su mayor flexibilidad, lo cual permite modelar gran variedad de sistemas y alternativas. La RUSLE muestra la tendencia real en la erosión, aún para pequeños cambios en las prácticas de manejo (Joder y Lown, 1995).

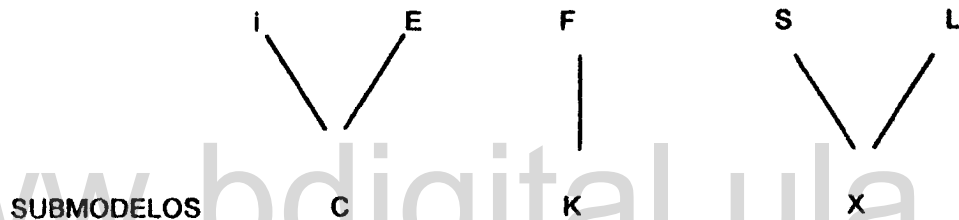
OTRAS TÉCNICAS DE PREDICCIÓN DE LA EROSIÓN

Toda planificación agrícola requiere de una estimación previa de pérdida de suelo. Las técnicas actuales, las cuales cuentan con mediciones de pérdida de suelo de parcelas de campo como su principal base de datos, presentan muchas dificultades para ser aplicadas en países tropicales (Elwell y Stocking, 1982). En ese orden de ideas, utilizando la experiencia local y una pequeña base de datos, fue desarrollado un nuevo sistema para derivar modelos de predicción, el Modelo de Estimación de Pérdida de Suelo para Sur África, SLEMSA.

La estructura del SLEMSA consiste en dividir el ambiente de la erosión del suelo en cuatro sistemas físicos: clima, suelo, cultivo y topografía. Las variables de control están relacionadas con la pérdida de suelo en el nivel de submodelo. El submodelo principal K combina la influencia de la media estacional de la energía

de la lluvia y la erosionabilidad del suelo para labranza convencional en suelo desnudo en 4.5 % de pendiente , 30 m de longitud. C es una razón para corregir la pérdida de suelo de barbecho desnudo con aquella de tierras cultivadas y X es la razón para estimar topografía para diferentes inclinaciones y longitudes de pendientes.

SISTEMAS FÍSICOS	CULTIVOS	CLIMA	SUELO	TOPOGRAFÍA	
VARIABLES DE CONTROL	intercepción de la energía	energía de la lluvia	erosionabilidad del suelo	inclinación de la pendiente	longitud de la pendiente



MODELO PRINCIPAL Pérdida de suelo para la tierra de cultivo (t/ha/a)

$$Z = K C X$$

Fig. 1 Esquema del SLEMSA. (Elwell y Stocking, 1982).

Los submodelos combinan un simple producto en el modelo principal para obtener una mejor estimación de la media anual de pérdida de suelo en erosión laminar bajo un tipo de cultivo específico, clima, tipo de suelo, inclinación y longitud de pendiente.

El diseño del sistema de protección calcula la pérdida de suelo para cada cultivo en secuencia y determina la media de pérdida de suelo para la rotación. Esta se compara con los niveles de pérdidas de suelo preestablecidas como aceptables.

La tendencia sobre las técnicas de predicción de la erosión en USA, Australia y Europa está dirigida hacia el desarrollo de modelos de simulación basados en procesos. Nearing et al. (1990) señala que la investigación sobre la erosión fundamentada en modelos empíricos, como la USLE, está declinando.

Actualmente está en prueba el modelo Proyecto de Predicción de Erosión por el Agua, WEEP, basado en los proceso de erosión, el cual da información sobre los problemas de erosión y sedimentación en ambientes de campos holísticos, siendo capaz de considerar la acumulación, la erosión de cárcavas efímeras, la producción de sedimentos y las variaciones temporales y espaciales; además, al igual que la RUSLE, computa la erosión laminar y en surcos para los planes de conservación.

El WEEP requiere mucho más información que la RUSLE en cuanto a condiciones atmosféricas, cultivos, suelos y operaciones de labranza; además, por estar basado en procesos, requiere mucho más experimentación para poder aislar los procesos fundamentales de la erosión y poder determinar los valores de los parámetros.

El KINEROS 2 y EUROSEM son dos modelos que simulan los eventos hidrológicos de erosión en pequeñas cuencas. Smith et al. (1995) hacen una descripción del modelo de la dinámica del flujo distribuido (DDF) en una cuenca, así como también, de los modelos KINEROS 2 y EUROSEM, y del estado de prueba y validación en que se encuentran dichos modelos.

EXPERIENCIAS RELATIVAS A LA EVALUACIÓN DE PERDIDAS DE SUELO

Mclsaac et al. (1987) encontraron semejanza entre mediciones de la pérdida de suelo de tierras perturbadas y las predichas por la USLE, en cuanto al efecto de inclinación de la pendiente observado en dos categorías a) para pendientes < 4 m de longitud y b) para pendientes > 4 m de longitud y < 9 % de inclinación. Para pendientes > 4 m de longitud y entre 9 y 33 % de inclinación, la USLE tiende a sobrestimar el efecto de la inclinación de la pendiente. Igualmente sus resultados indicaron que el efecto de la inclinación de la pendiente está influenciado por los contenidos de humedad antecedente y/o los efectos de la lluvia acumulada en la superficie del suelo, también por la textura del suelo y la presencia de fragmentos gruesos.

Otro efecto importante a tomar en cuenta en la determinación del factor LS de la USLE es la forma de la pendiente, la cual ha sido estudiada por Castro y Zobeck (1985). Ellos demostraron que de acuerdo a la forma de la pendiente el valor de LS podría diferir hasta un 59 % de los medidos en pendientes uniformes para las mismas condiciones de pendiente. En este caso, un mapa topográfico es la herramienta complementaria que sirve de base para determinar el valor del factor LS. En general, para la misma longitud y gradiente de pendiente, los valores de LS varían con la forma de la pendiente de la siguiente manera: cóncava $<$ uniforme $<$ compleja $<$ convexa. Si además se tiene un mapa de unidades de suelo para la misma área de estudio se puede evaluar los cambios de los tipos de suelo con la longitud y grado de pendiente es decir, se considera el factor K con el factor LS como un factor KLS (Wischmeier y Smith, 1978).

Estimaciones de pérdida de suelo usando la USLE fueron comparadas con valores obtenidos en parcelas de escurrimiento a través de un modelo de eficiencia. Los resultados sugieren que la USLE sobrepredice la pérdida de suelo en parcelas con baja tasa de erosión mientras que las parcelas con altas

tasas de erosión son subestimadas. Los factores topografía (LS) y cobertura vegetal (C) de la USLE presentan la mayor influencia en el modelo de eficiencia. Igualmente, la diferencia entre los valores predichos y los esperados aumentan al incrementarse el valor total de pérdida de suelo (Risse et al., 1993).

Brubaker et al.(1993) señala que la cantidad de erosión en las diferentes posiciones a lo largo de una pendiente depende en gran parte de las propiedades del suelo. Dichos autores reporta que la arena, limo, pH, CaCO_3 , Ca y Mg extraíble, Ca intercambiable y saturación de bases generalmente se incrementan pendiente abajo, mientras que la arcilla, materia orgánica, CIC y K generalmente decrecen. Estas diferencias son atribuidas a los procesos de formación del suelo, erosión del suelo y diferencias en la producción de cultivos, especialmente en las posiciones de la parte superior, línea media y pie de la pendiente. Estudios realizados en suelos de los Andes venezolanos destacan la disminución de la productividad y la alteración de las características del suelo a diferentes niveles de pérdida del suelo superficial (Fumero y López, 1991; López y Fumero, 1991).

Las características de las tormentas, los cambios físicos de la superficie y la humedad antecedente pueden afectar las relaciones entre la longitud de la pendiente y el escurrimiento. En pendientes largas se incrementa la pérdida de suelo mientras disminuye el escurrimiento (El-Hassanin et al., 1989).

En Venezuela son muchas las aplicaciones que han realizado de la USLE, donde con base a experimentos se ha determinado que ésta sobrestima el efecto de la pendiente y no permite evaluar por separado diferentes alternativas para el factor lluvia (Lizaso, 1980).

Páez (1985) evaluó la erosionabilidad y la eficiencia de los índices de erosionabilidad en suelos agrícolas de Venezuela, encontrando valores más altos en suelos menos evolucionados con alto contenido de limo y arena muy

fina, y más bajos en suelos con alto contenido de arcilla y mayor grado de evolución. Los suelos evolucionados pero de textura gruesa presentan baja erosionabilidad. También señala que con el uso del nomograma de Wischmeier se aprecia una sobrestimación en suelos de baja erosionabilidad y una subevaluación en los de alta erosionabilidad.

Páez y Rodríguez (1989) realizaron evaluaciones y ajustes de la USLE analizando los resultados de pérdidas de suelo obtenidas en parcelas de erosión con lluvias naturales, en dos tipos de suelos de dos localidades del país, y bajo diferentes tipos de cultivo y prácticas de manejo. Los resultados reflejan que el EI30 es un índice de lluvia apropiado para estimar el potencial de la lluvia de causar erosión, mientras que la erosionabilidad (K) aumenta en forma muy rápida debido a la degradación de la materia orgánica y al deterioro de las propiedades físicas del suelo.

También se han utilizado las parcelas de erosión, entre otras cosas, para determinar el efecto sobre la erosión hídrica de diferentes sistemas de labranza y los residuos en superficie (Rodríguez y Páez, 1989); para evaluar prácticas de conservación de suelos en cultivos (Fernández, 1989) y para evaluar pérdidas de nutrientes en sedimentos erosionados bajo diferentes manejos (Casanova, Páez y Rodríguez, 1989).

Pérez (1989) realizó un estudio para la región de los Andes donde evaluó el efecto de la cobertura del cultivo de papa y del pasto kikuyo sobre la erosión de los suelos, bajo prácticas agronómicas de manejo común y en pendiente de 9 %, utilizando parcelas de erosión de 2x6 m; los resultados fueron contrastados con los estimados con base en la USLE, obteniéndose valores similares (Pérez y López, 1993).

Fernández (1995), Páez y Rodríguez (1995), Rodríguez et al (1995), Urbina y Rodríguez (1995) y Fernández et al. (1995) evaluaron diferentes prácticas de

conservación de suelos y aguas en diferentes cultivos, pendientes y tipos de suelos, basados en el enfoque de la USLE. Los resultados señalan la eficiencia de cada una de las prácticas evaluadas, en cuanto a la reducción de la erosión y la escorrentía.

A medida que se incrementan las prácticas de manejo de un cultivo aumenta la erosión. Ataroff y Monasterio (1996), para los Andes Venezolanos con cultivo de café bajo dos tipos de manejo y en parcelas de 2x6 m, reportan incrementos importantes de la erosión en prácticas de manejo que implican mayor disturbación asociada con la actividad humana, y estas pérdidas fueron mayores en el café sin sombra que en café con sombra.

SISTEMAS AGROFORESTALES Y LA CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS

Los riesgos de erosión generalmente son menores en vegetación perenne que en cultivos agrícolas. Basados en esa lógica, se han desarrollado sistemas agronómicos asociados con árboles perennes y maderables para reducir la erosión y satisfacer diversas necesidades de la población rural con bajas entradas económicas (Lal, 1989a).

Sistemas basados en árboles son ampliamente recomendados para el control de la erosión en tierras de altas pendientes. Hay ejemplos en muchas partes del mundo, China, Filipinas y países de África, América y Europa, realizados con diferentes combinaciones de especies vegetales: cultivos de ciclo corto, cultivos anuales, cultivos perennes, pasto y árboles maderables; y en diferentes tipos de suelo.

La agroforestería se refiere al sistema de uso de la tierra en donde los árboles o arbustos crecen asociados con cultivos agrícolas, pasto o ganadería, y en el cual existen interacciones ecológicas y económicas entre los árboles y los otros

componentes. La naturaleza esencial es la combinación de cobertura de árboles con plantas o animales y la interacción que debe haber entre los árboles y las partes no arbóreas del sistema. Una *práctica agroforestal* es un arreglo distintivo de los componentes en tiempo y espacio. Un *sistema agroforestal* (SAF) es un ejemplo local específico de una práctica; caracterizada por el ambiente, especie y ordenamiento de las plantas, manejo y funciones económicas y sociales (Young, 1989).

Otra razón importante en la adopción de los SAF es el incremento en la fertilidad del suelo. Evaluaciones en los cambios de las propiedades químicas del suelo fueron realizadas en Nigeria por Lal (1989b) en 12 rotaciones consecutivas de maíz y garbanzos. Los tratamientos estudiados fueron parcelas labradas y no labradas, barreras vivas de Leucaena Leucocephala y Gliricidia sepium en callejones espaciadas 2 y 4 m. Los resultados reseñan una baja significativa en la fertilidad en todos los tratamientos, siendo mayor en las parcelas labradas y menos severa en los sistemas con Leucaena. En contraste, se presenta un incremento en la acidez total y en el Al intercambiable. A partir del tercer año del establecimiento de las barreras vivas se observó un incremento importante en el pH y en el contenido de las bases intercambiables.

Estudios previos sobre la estructura dinámica del agroecosistema cafetalero han puesto de manifiesto la importancia de los árboles de sombra asociados al cafetal en el equilibrio ecológico de este agroecosistema. Además de aligerar la carga radiactiva sobre las plantaciones, las sombras, en su mayoría compuesta por Ingas sp, plátanos, naranjo y guayaba, contribuyen a mantener la fertilidad del suelo, reduciendo la erosión y aportando una buena cantidad de materia orgánica producida por la hojarasca y fijando el nitrógeno atmosférico (Jiménez y Ávila, 1982; Roskoski, 1982 citados por Barradas y Fonjul, 1984; Linolblady Russo, 1986).

Nyberg y Hogberg (1995) estudiaron el efecto de seis especies de árboles sobre el suelo, donde analizan el C total, N total, abundancia de C^{13} , abundancia de N^{15} , P extraíble y pH; determinando que la abundancia de C^{13} es recomendado como un indicador particularmente sensible a la influencia de los árboles en sitios dominados previamente por cultivos y pastos. Los estudios de Sharma et al. (1995) y Campbell et al. (1995) muestran la influencia positiva que tienen los árboles sobre la fertilidad de los suelos.

En asociaciones agroforestales, las raíces de los árboles pueden influenciar los cultivos rindiendo ambos favorablemente, especialmente a través de la producción de "mulch" y la mejora en la fertilidad del suelo a través del efecto de las raíces; y desfavorablemente, por la competencia de los nutrientes del suelo. Es importante la selección de las especies de árboles y el distanciamiento de éstos con los cultivos de tal forma de garantizar un buen rendimiento del cultivo (Schroth y Lehmann, 1995).

EXPERIENCIAS RELATIVAS A LA EVALUACIÓN DE PERDIDAS DE SUELO BAJO VEGETACIÓN DE BOSQUE Y CULTIVOS PERMANENTES

Aunque lógicamente un sistema agroforestal (SAF) puede ser más efectivo en la conservación que un sistema de uso de la tierra arable, hay pocas mediciones cuantitativas que prueben la validez de tal lógica. Lal (1989a) reporta sus observaciones en parcelas experimentales en Nigeria, con barreras vivas de Leucaena leucocephala y Gliricidia sepium en contorno, establecidas con espaciamiento de 4 y 2 m, donde la Leucaena espaciada a 2 m fue más efectiva contra el escurrimiento y la erosión. El escurrimiento y pérdida de nutrientes fue mayor entre barreras con cultivos de maíz en las parcelas labradas que en las no labradas. La pérdida de bases en el agua de escurrimiento fue relativamente alta en el SAF debido, probablemente, al reciclaje de nutrientes de la vegetación perenne.

En un área al norte de la India, Grewal et al.(1992) diseñaron diversos sistemas agroforestales en diferentes clases de suelos en una topo-secuencia típica al pie de una colina, los cuales estaban degradados por la tala, quema, sobrepastoreo y la expansión agrícola, ocasionando problemas de crecidas e inundaciones. Dichos autores observaron la superioridad de los SAF sobre los sistemas tradicionales de producción en todas las clases de capacidad de la tierra. Las pérdidas de nutrientes y de suelo fueron casi totalmente eliminadas, además de obtener entradas monetarias sostenidas a través del año, producto de la asociación de pasto - cultivo y árboles.

Vahrson y Cervantes (1991) determinaron escorrentía superficial y erosión laminar en cultivo de café con sombra, café sin sombra y pasto en pendientes entre 56 y 59 %, obteniendo valores de escorrentía mayores en las parcelas con pasto (8,7 % de la precipitación), seguida por la parcela de café sin sombra (3,4 % de la precipitación), mientras los valores de café con sombra fueron los más bajos (1.5 % de la precipitación). Los valores de pérdida de suelo resultaron mayores en la parcela de café con sombra (1,36 Mg/ha) asociado a la baja conductividad hidráulica del suelo, seguida por la de pasto (0,34 Mg/ha) el cual presentaba una buena cobertura del suelo, y los valores más bajos se presentaron en el café sin sombra a causa de la baja escorrentía. Estos valores están muy por debajo de los estimados con la USLE debido principalmente al factor LS, el cual está fuera del rango de la calibración.

En la cuenca Burundi, África, la cobertura vegetal tiene una influencia significativa en la pérdida de suelo y el escurrimiento. El-Hassinin, Labid y Gaber (1989) determinaron rangos del factor C en parcelas de campo con diversas coberturas: cultivo, pasto y bosque, siendo la cobertura de bosque la más efectiva contra la pérdida de suelo y el escurrimiento, seguida por la del pasto y la de cultivos. Los mismos autores obtuvieron relaciones lineales significativas entre la pérdida de suelo y el escurrimiento, bajo varias condiciones de pendiente y cobertura vegetal.

NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN VIGENTE EN RELACIÓN A LOS SISTEMAS AGROFORESTALES Y EL CONTROL DE LA EROSIÓN

A pesar del incremento en la investigación y desarrollo de proyectos que involucran la agroforestería, actualmente es limitada la información científica disponible que permita realizar recomendaciones firmes sobre especies, sitios, arreglo y manejo de los árboles y otros componentes, y de los beneficios económicos que se obtienen con la adopción de este sistema (Young, 1989, Scherr y Muller, 1990). Sin embargo, ninguno de los registros disponibles contradicen la hipótesis de que un SAF bien manejado tiene el potencial de reducir la erosión a niveles aceptables con respecto a retención de suelo y prevención en la pérdida de fertilidad (Young, 1989).

Los modelos de predicción de la erosión no son exactamente aplicables a los SAF ya que, actualmente son pocas las evaluaciones que se han realizado con el fin de determinar su efectividad en el control de la erosión y el mejoramiento de la fertilidad de los suelos, por lo que se requiere investigaciones especialmente en condiciones con árboles y arbustos en el control de la erosión, y de esta manera calibrar los modelos para las condiciones de los SAF (Young, 1989).

Una alternativa en el camino de la evaluación es a través de observaciones de campo, realizadas en las fincas, basadas en mediciones, conteos u observaciones. Las evaluaciones de campo también pueden ser conducidas a través del seguimiento y observación de fincas o parcelas de demostración. Otra alternativa son las parcelas experimentales donde se puede comparar un diseño específico de tecnología agroforestal con otras alternativas tecnológicas agroforestales o no agroforestales, o con variaciones dentro del diseño (por ejemplo, diferentes especies, espaciamiento o técnicas de manejo). Los resultados pueden ser utilizados para identificar el sistema agroforestal más promisorio para la extensión y para cuantificar adecuadamente los beneficios a

los agricultores para su adopción. Para evaluar ciertas variables se puede usar en forma más eficiente la combinación de métodos específicos, por ejemplo, en parcelas de monitoreo se pueden evaluar la producción económica de los componentes y la función de control de la erosión del suelo (Scherr y Muller, 1990).

Pellek (1992) discute aspectos físicos-ambientales tales como las condiciones climáticas, edáficas, fisiográficas, prioridad espacial y planificación de acuerdo a la capacidad de uso de la tierra, las cuales deben tomarse en cuenta al momento de proponer métodos de monitoreo de algunas prácticas de conservación de suelo y agua y de prácticas de SAF.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO III

UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN FÍSICO-AMBIENTAL DEL ÁREA

Selección del sitio

En el año 1985 el MARNR comenzó la implementación de los proyectos de Infraestructura Social Conservacionista I.S.C. en la subcuenca del Río Castán específicamente, en el área objeto de estudio existe el Proyecto "Quebrada de Ramos" en el cual participan 15 productores que integran el Comité Conservacionista del mismo. Cada productor tiene una serie de prácticas conservacionistas, actualmente en funcionamiento, las cuales han sido diseñadas por los técnicos y construidas por los productores.

Se realizó un inventario y diagnóstico preliminar de los sectores donde, en el pasado, se aplicó algún tipo de práctica conservacionista en superficies mayores a una hectárea. En cada sector se identificó el tipo de práctica utilizada, la superficie ocupada, y el tiempo desde su instalación. Se realizaron observaciones de la textura del suelo superficial, el grado y orientación de la pendiente. Se analizó la información del diagnóstico preliminar con base en el número de prácticas posibles de ser evaluadas, ubicación dentro de la microcuenca, variabilidad espacial de las condiciones físico-ambientales, accesibilidad y facilidad de ubicación de las unidades experimentales; lo que permitió seleccionar una finca ubicada en el sector Quebrada de Ramos.

La finca seleccionada presenta las siguientes características: existencia de varios tipos de prácticas conservacionistas con cultivo de frutales, pasto, cultivo semipermanente en monocultivo y asociado con frutales y árboles; en unidades de tamaño variable ubicadas en forma contigua y en la vertiente derecha de un drenaje; sobre una pendiente que varía entre 25 y 50 % y con suelos arcillosos a

franco arcilloso; estas características hacen que el sitio sea bastante homogéneo en cuanto a las condiciones físico-ambientales tales como: grado y orientación de la pendiente, precipitación, temperatura, altitud, etc.. Además de presentar fácil acceso, el productor se mostró receptivo ante la propuesta de realizar el experimento en su finca.

Se seleccionaron tres subsistemas del cultivo de café y una parcela en barbecho dentro de la finca, con pendientes que varían entre 35 y 50 %, siendo los mismos:

- Barbecho desnudo.
- Café con árboles de sombra.
- Café con árboles frutales.
- Café sin sombra.

Ubicación del área de estudio

El área de estudio está ubicada en el sector Alto de Quebrada de Ramos, en la microcuenca del mismo nombre, subcuenca Río Castán, Parroquia Monseñor Carrillo, Municipio Trujillo, Estado Trujillo. Geográficamente se encuentra entre los 09° 18' 47" - 09° 19' 12" de Latitud Norte y 70° 28' 06" - 70° 28' 20" de Longitud Oeste. Presenta temperaturas media anual de 20° C, la precipitación media anual varía entre 900 y 1000 mm, se caracteriza por presentar un régimen bimodal con dos máximos en (abril - octubre) y dos mínimos en (enero - julio). La mayor parte de la microcuenca presenta pendientes mayores de 25 %, con una cobertura original de bosque que ha desaparecido en gran parte debido a la expansión de la frontera agrícola. La altitud varía entre 1200 y 1350 m.s.n.m.. El área experimental es aproximadamente de 16 ha.

Por sus características ecológicas y según el sistema de Zonas de Vida de Holdridge, el área corresponde al Bosque Seco Premontano (Bspm).

Geomorfológicamente las tierras se ubican en una ladera de montaña expuesta hacia el oeste con un perfil topográfico rectilíneo y en algunos sectores de forma plano convexa. El área presenta una relativa homogeneidad edáfica caracterizada por una pedregosidad superficial con diámetro variable (2 -15 cm); la profundidad del suelo hasta el estrato rocoso varía entre 5 - 180 cm; presenta un epipedón de espesor variable entre 5 y 20 cm, textura Franca (F) a Franco-Arcillosa (FA); con una coloración marrón oscura (7.5 YR 3/3 - 7.5 YR 5/3); pedregosidad interna entre 10 -35 %; presencia de fragmentos gruesos equivalentes al 10 - 35 %. El drenaje externo es rápido y el interno moderado clasificado como excesivamente drenado.

Capacidad de uso de las tierras

Con base en las características físico-ambientales que presenta el área, y de acuerdo al Sistema de Clasificación de Tierras por Capacidad de Uso propuesto para Venezuela por Comerma y Arias (1971), basado en el Sistema Americano de las ocho clases, las tierras de la finca se clasifican dentro de la subclase específica VI pd. Se trata de tierras que presentan limitaciones topográficas por altas pendientes, y drenaje; este último se califica como rápido (externo e interno).

Uso actual de la tierra

La finca está dividida en diferentes lotes de terreno con diferentes usos:

- Cultivos anuales: tierras con cultivos de yuca, maíz, caraotas. La producción es para el autoconsumo principalmente y en el caso de la caraota se destina una parte para el mercado local.

- **Horticultura bajo riego:** Pequeños lotes de tierra dedicados al cultivo de ciclo corto y rentable como son el tomate y el pimentón. La producción está orientada hacia el mercado local y regional.
- **Cultivos semipermanentes y permanentes:** Lotes de tierra dedicados al cultivo de café, el cual es el cultivo mas importante en la finca, Existe una pequeña área dedicada a la asociación del cultivo del café con árboles frutales (cítricos) y otra con café y árboles de sombra. La producción está orientada hacia los centros de acopio en el caso del café; y los cítricos hacia los mercados locales y regionales.
- **Pasto cultivado:** Un pequeño lote de tierra está destinado a la producción de pasto estrella (Cynodon sp.), como pasto de corte para el ganado.
- **Cultivo de piña:** Un pequeño lote de tierra con cultivo de piña (Ananas sp.) cuya producción está orientada la mercado local y al autoconsumo.

CARACTERIZACION DEL ÁREA DE ESTUDIO

- **Caracterización del relieve:** Se realizó un levantamiento topográfico con el fin de determinar, en cada agroecosistema, el área y algunas características del microrrelieve: forma del terreno, orientación del terreno y pendiente media.
- **Caracterización de los agroecosistemas estudiados:** Se realizó para cada uno de los subsistemas el levantamiento de los aspectos físicos, agronómicos, culturales y de manejo, a través de la observación directa en el campo y de entrevistas al propietario de la finca. Se obtuvo información sobre los aspectos siguientes: identificación de sus componentes, preparación del terreno, sistema de siembra, variedad cultivada, época de siembra o instalación, fisonomía de las plantas, porcentaje de cobertura del dosel, sistema de poda, control de malezas,

plagas y enfermedades, aplicación de enmiendas, sistema de cosecha, rendimiento (kg/ha), manejo post-cosecha.

- Caracterización morfológica de los suelos: Se realizaron observaciones con barrenos y hoyos para describir los siguientes atributos: Espesor del epipedón, color de la matriz, color de moteados, textura, presencia de inclusiones o películas de arcilla, reacción al HCl 10%, clase de drenaje (externo e interno).

DESCRIPCIÓN DE LOS AGROECOSISTEMAS AGRÍCOLAS

El ecosistema es una parte de la biósfera definida en función de las interrelaciones entre los seres vivos y su medio ambiente. Los ecosistemas se caracterizan por tener una serie de elementos definidos y muy bien establecidos; ellos son: sus límites, los flujos de entrada y salida, sus componentes abióticos y las interrelaciones o interacciones que existen entre los diferentes componentes (Fassbender, 1993).

En la Figura 1 se presenta el modelo de los agroecosistemas de la finca donde se realizó la presente investigación.

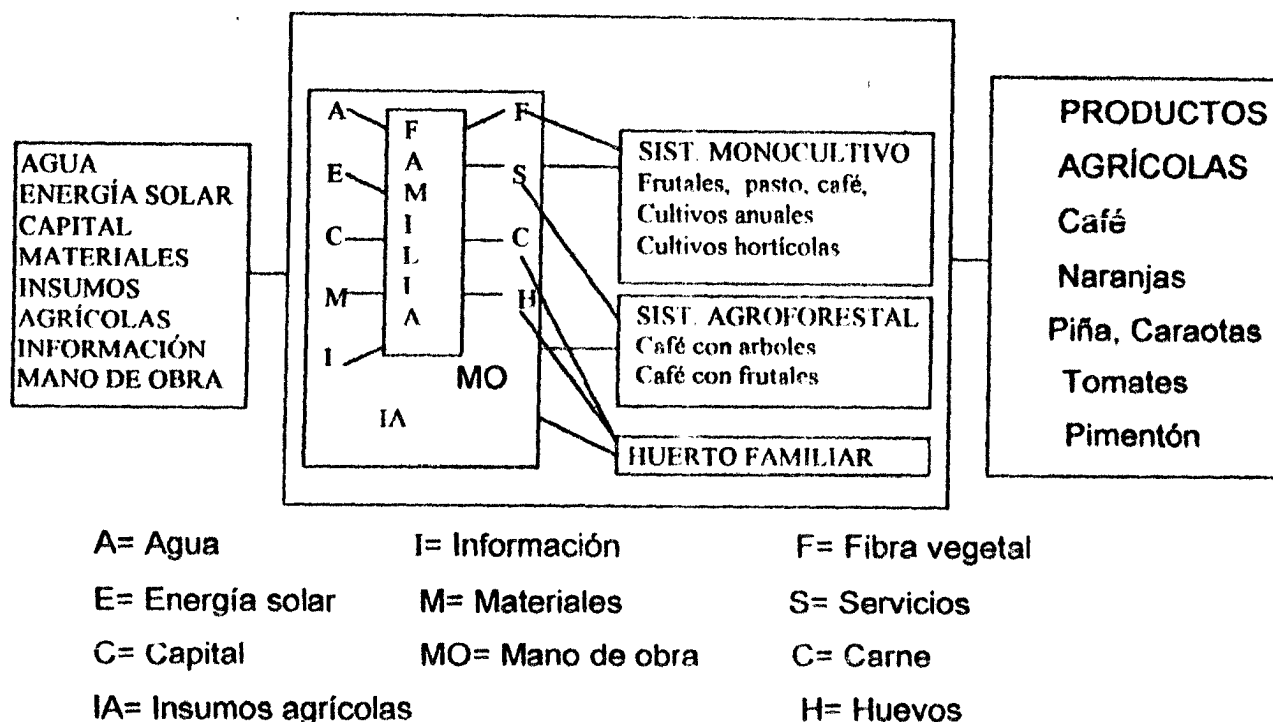


Figura 1. Esquema general de la finca.

Subsistema café con árboles de sombra:

Los cafetales con árboles están constituidos por dos estratos. En el primero se encuentran los cafetos que se elevan entre 2 y 3,5 m de altura. El segundo está constituido por árboles frutales y forestales que alcanzan entre 8 y 15 m. Este subsistema ocupa un área aproximada de 1,5 ha.

Componente Agrícola: Café (*Coffea arábica* var. caturra fruto rojo)

Los cafetos fueron obtenidos de un vivero propio y establecidos en el año 83, bajo sombra de bosque secundario y de árboles para sombra sembrados para tal fin. Esta combinación es tradicional en la región. Es la plantación más vieja dentro de la finca. Las plantas de café se plantaron en melgas, perpendiculares a la pendiente, con un distanciamiento entre planta de 1,5 m y entre melgas de 2 m. En los primeros años de la plantación los cafetos fueron atacados, en grado

medio, por algunas plagas y enfermedades (comejen, escama negra, escama verde, palomilla, ojo de gallo, mancha marrón) las cuales fueron controladas con una mezcla de cal y creolina y con el agroquímico Manzate. En la actualidad, el control de plagas y enfermedades es poco frecuente. La plantación se deshierba dos veces al año (mayo - octubre) y después de cada deshierbe se aplica fertilizante fórmula 12 - 24 - 12 y Urea a razón de 140 y 70 g por planta respectivamente.

Componente arbóreo: Guamo caroto (Inga grandifolia), Guamo rabo de mono (Inga edulis), Aguacate (Persea americana), Onoto (Bixa orellana) y Aguacatillo (Persea laevigata).

Este componente se encuentra conformado por un solo estrato, constituido principalmente por árboles de guamo (Inga sp) y aguacate (Persea sp). El guamo, además de proporcionar sombra, es una especie fijadora de nitrógeno que favorece la disponibilidad de este elemento para las plantas de café. El distanciamiento entre árboles es variado entre 5 y 8 m.

Algunas plantas de regeneración natural, las ramas podadas de los árboles, así como las plantas de café más viejas son utilizadas para leña; ello permite el autoabastecimiento durante el año de este producto. Además de leña, ciertos árboles proporcionan frutos que sirven de alimento a la familia y a muchos de los animales de corral.

Entre los bienes y servicios derivados de este componente arbóreo tenemos los siguientes: sombra, leña, control de la erosión, frutos, estabilización del suelo, balance de nutrientes y mejoramiento del microclima.

Subsistema café con frutales

Los cafetales con frutales están constituidos por dos estratos. En el primer estrato se encuentran los cafetos que se elevan entre 2 y 3 m, el segundo está constituido por árboles frutales que alcanzan los 3,5 m. Este subsistema ocupa un área aproximada de 0,5 ha.

Componente agrícola: Café (Coffea arábica, variedad caturra fruto rojo y amarillo).

Componente arbóreo: Naranja (Citrus sinensis, variedad valenciana)

Ambas plantaciones fueron establecidas en el año 90, en melgas construidas transversalmente a la pendiente; pero sin seguir las curvas de nivel. El distanciamiento entre plantas de café es de 1,50 m y entre hileras de 1,80 m; el distanciamiento entre plantas de naranja es de 7 m. Las plantas de café fueron obtenidas de un vivero propio y las de naranja fueron donadas por el M.A.R.N.R. Región 19, Estado Trujillo.

Las plantas de café fueron atacadas por plagas y enfermedades (escama blanca, escama verde, palomilla, ojo de gallo y mancha marrón) durante los primeros años, las cuales fueron controladas con el producto comercial Manzate y una mezcla de cal y creolina; en la actualidad no se realiza ningún control de plagas y enfermedades.

Los árboles de naranjas también han sido atacadas por plagas y enfermedades tales como hormiga negra, piojo blanco y manchas en el tallo, las cuales fueron controladas en los primeros años con Manzate, Nisan 60 y cal; en la actualidad están siendo atacados por hongos y plagas, y no se le está aplicando ningún tratamiento.

El subsistema café con naranja se deshierba dos veces al año (mayo - octubre), en forma manual; después de cada deshierbe se realiza la fertilización con la fórmula 12-24-12 y Urea a razón de 140 y 70 g por planta respectivamente.

Subsistema café sin sombra

Cafetales de un solo estrato que alcanza 1,70 m de altura. El cultivo ocupa una superficie de 2 ha. La especie de café es Coffea arábica variedad caturra fruto rojo. Esta plantación fue establecida en el año 92, a plena exposición solar, en terrazas individuales de 0,80 m de diámetro y distribuidas al tresbolillo; con un distanciamiento entre hileras de 1,60 m y entre plantas de 1,20 m. Las plantas fueron obtenidas por donación del M.A.R.N.R. , Región 19, Estado Trujillo.

Las plantas de café fueron atacadas por plagas y enfermedades (escama blanca, escama verde, ojo de gallo y mancha marrón) durante los primeros años, las cuales fueron controladas con Manzate y una mezcla de cal y creolina; en la actualidad no se realiza ningún control de plagas y enfermedades.

La plantación se deshierba tres veces al año (enero, mayo y septiembre) debido a que la maleza, conformada casi totalmente por helecho (Achrostium sp), presenta tallos aéreos y subsuperficiales que al ser cortados por el deshierbe, estos retoñan rápidamente lo cual hace necesario una mayor frecuencia de deshierbe que la requerida en los cafetos con árboles y con frutales. El material del deshierbe es dejado en la superficie del terreno con el fin de controlar los procesos erosivos del suelo.

La fertilización se aplica dos veces al año (mayo - octubre) después del deshierbe, la fórmula utilizada es 12-24-12 a razón de 200 g por planta.

La cosecha del café, en todos los subsistemas agrícolas antes descritos, se realiza dos veces al año; la principal se lleva a cabo durante los meses de

septiembre, octubre y noviembre; la segunda, denominada "cosecha de travesía" se realiza en el mes de marzo. En la medida que se va recolectando el café se va despulpando para su posterior lavado, secado y almacenamiento, hasta completar el proceso total de la cosecha. Luego, el producto es transportado hasta la trilladora, posteriormente pesado y comercializado con la Empresa PACCA. La producción es alrededor de 850 kg por hectárea.

La poda en los cafetos no se realiza como tal, simplemente son eliminadas las ramas secas o que se han dañado por efecto del viento o por la recolección del fruto.

Clasificación de los agroecosistemas de la finca

De acuerdo al análisis de los componentes encontrados en los agroecosistemas de la finca se deducen dos sistemas:

Sistema 1. *Agrícola*, representado por los sistemas de monocultivo como son: cultivos anuales, cultivos hortícolas comerciales, plantación de piña y plantación de café a plena exposición solar.

Sistema 2. *Agroforestal*, representado por un huerto familiar y por la combinación de árboles forestales y/o árboles frutales con cultivo de café.

En la Figura 2 (A, B y C) se presenta la estructura vertical de cada uno de los agroecosistemas anteriormente descritos.

Pend = 42 %

A. Subsistema café
con árboles.

Pend = 38 %

B Subsistema café
con frutales.

Pend = 37 %

C Subsistema café
sin sombra.

Figura 2. Estructura vertical de los subsistemas de cultivo estudiados

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental se realizó considerando tres subsistemas agrícolas y un testigo, los cuales expresados como tratamientos, son los siguientes:

1. Barbecho desnudo (testigo).
2. Café con árboles de sombra .
3. Café con árboles frutales.
4. Café sin sombra.

El diseño utilizado es el aleatorizado simple con tres repeticiones. El análisis de los datos se hizo a través de un modelo aleatorizado simple, con tres parcelas o repeticiones por tratamiento. En general, para la toma de información se combina un diseño estratificado de muestreo con un diseño aleatorizado experimental. En este caso los estratos, que a la vez forman los tratamientos experimentales, lo constituyen los diferentes subsistemas agrícolas. El barbecho desnudo se selecciona como testigo debido a que es el elemento referencial para probar la bondad de los diferentes subsistemas agrícolas seleccionados.

INSTALACIÓN DE LAS PARCELAS DE EROSIÓN:

Con base en la caracterización del relieve, agronómico-cultural y edáfica de cada subsistema, se ubicaron y establecieron las parcelas, y se instalaron los colectores en cada unidad experimental. En cada tratamiento se establecieron tres parcelas o unidades experimentales aleatorizadas y dispuestas en el sentido de la pendiente ya que la investigación se fundamenta en la cuantificación de la pérdida de suelo. Las dimensiones de las parcelas estuvieron condicionadas al

elemento vegetativo de cada subsistema de cultivo y a las características del microrrelieve, con el fin de obtener un mejor control en la uniformidad de la pendiente; se agruparon de la siguiente manera: un tamaño de 3x10 m para los sistemas barbecho desnudo y café sin sombra y un tamaño de 7x10 m para los sistemas café bajo sombra de frutales y café bajo sombra arbórea. Las parcelas se delimitaron por tres de sus lados con láminas de cinc de 30 cm de altura enterradas 13 cm, esto con el fin de evitar el paso de flujo de sedimentos de segmentos de pendientes que se hallen sobre él y de las parcelas contiguas. Las láminas tienen una longitud de 3 m por lo que se unieron unas con otras con remaches y alambre amarradas a estacas de hierro (cabillas) y/o estacas de madera, hasta completar la longitud del perímetro requerido en cada parcela (Figuras 3 y 4).

Al pié de cada parcela se colocó un colector en forma de canaleta, provisto de tapa (Figura 5); construida de cinc, con salida lateral a la cual se le conectó a un primer depósito de sedimentación de 110 L, que a la vez se conectó a un segundo depósito de 210 L a través de una manguera para la conducción del flujo de agua y sedimentos desde la canal hacia dichos depósitos. A cada depósito se le construyó una tapa de cinc. Los depósitos están ubicados entre 1 y 5 m por debajo de la parcela dependiendo de las condiciones del terreno (Figura 3). En la salida de la canaleta se colocó una malla metálica que permite la retención del material grueso (> 2 mm) dentro de la canaleta para su posterior recolección en bolsas plásticas (Figura 5).

En el subsistema de barbecho desnudo, inicialmente el terreno se encontraba en descanso cubierto totalmente de vegetación herbácea y arbustiva natural, la cual fue retirada manualmente antes de instalar las parcelas. En estas parcelas se realizaron labranzas periódicas en forma manual y en sentido de la pendiente, durante el tiempo de la investigación.

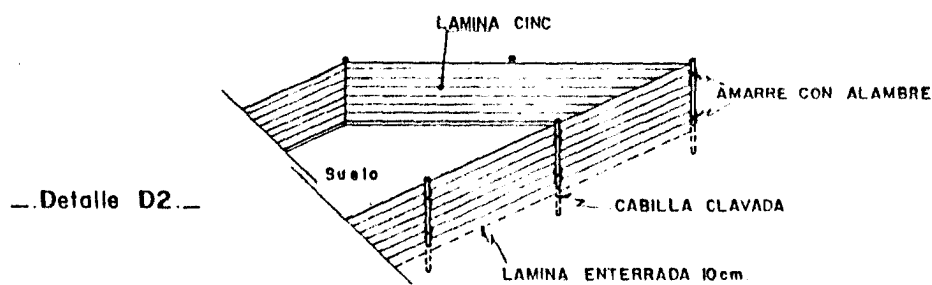
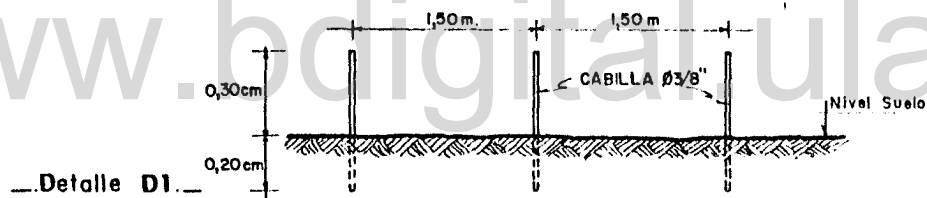
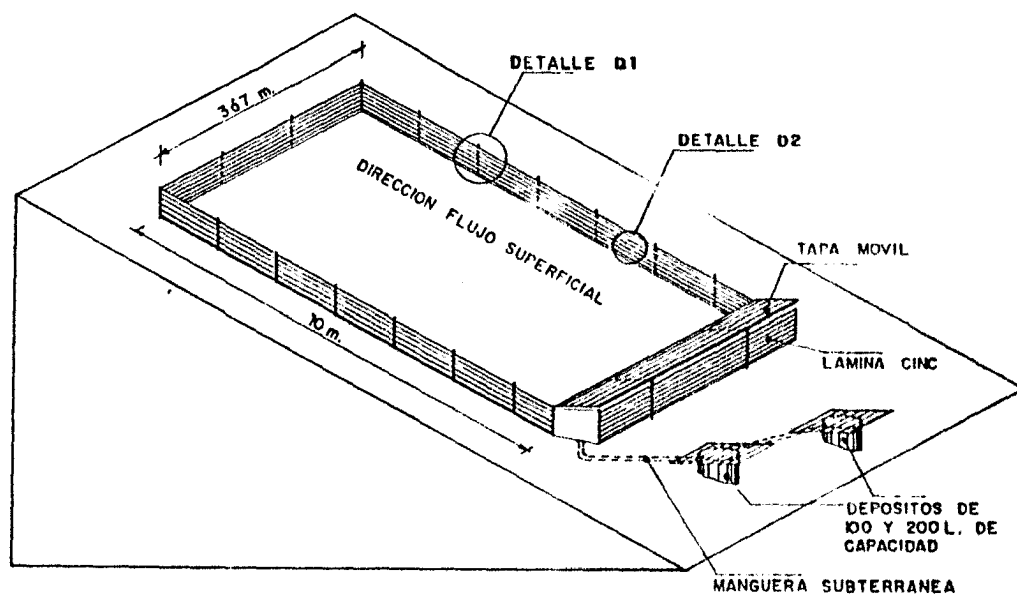


Figura 3 . Vista isométrica de una parcela experimental para medir pérdidas de suelo.

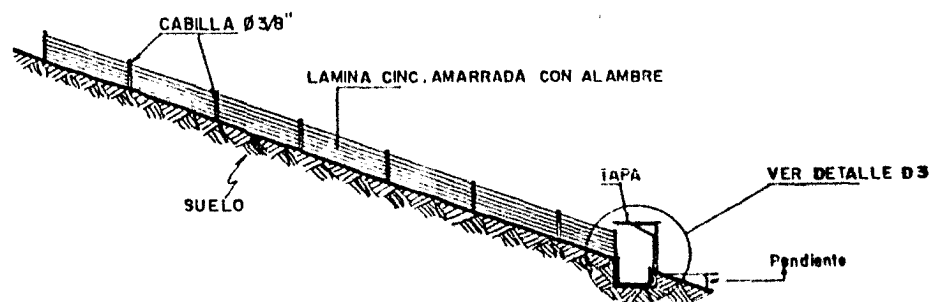
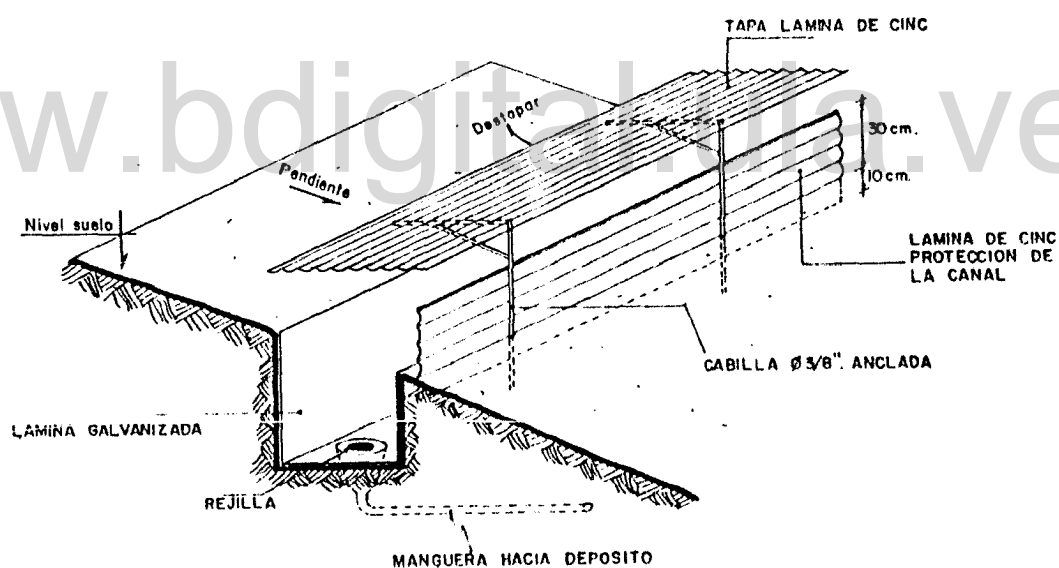


Figura 4 . Corte Longitudinal de una parcela experimental.



—Detalle D3.—

Figura 5. Detalle de una canal recolectora de material.

Una vez instaladas las parcelas y después de un tiempo prudencial que permitió la estabilización de las mismas, se comenzaron las mediciones del volumen de escurrimiento y de sedimentos gruesos, durante los períodos de máxima precipitación registrada para la cuenca.

Caracterización físico-química de los suelos

Una vez instaladas las parcelas, se realizaron barrenos dentro de cada una de ellas (siete en las parcelas de 70 m² y tres en las parcelas de 30 m²) y se recolectaron muestras del horizonte superficial de cada uno de ellos. El muestreo se realizó al azar; así mismo, en cada agroecosistema se realizó un perfil completo del suelo. Los análisis fueron llevados a cabo en el Laboratorio del Núcleo Universitario "Rafael Rangel", de la Universidad de Los Andes. Los análisis físico-químicos realizados por muestra fueron (FONAIAP, 1990): Granulometría: a través del tamizado en seco, con una batería de tamices de 4 mm a 5 microns, donde se determinó fragmento grueso, proporción de arena gruesa (2 a 0.2 mm), arena fina (0.2 a 0.02 mm), arena muy fina (0.02 a 0.002 mm), limos y arcillas (< 0.002 mm); igualmente, la granulometría se realizó por el método de Bouyoucos; la densidad aparente se realizó a través del método del terrón parafinado; la retención de humedad (0,034 y 1,515 Mpa) y humedad disponible. Los análisis también incluyen el pH (método potenciométrico); CE (método del conductímetro); carbono orgánico y nitrógeno orgánico (método Walkley - Black), P (método Bray) K, (método Bray I) y el Ca y Mg (por extracción de acetato de amonio)

Caracterización de la vegetación de cada tratamiento

Se hizo una descripción detallada de las características de las plantaciones ubicadas dentro de las parcelas experimentales: Condiciones del cultivo tales como el tamaño, número de plantas, porcentaje de suelo desnudo, cobertura aérea y al ras del suelo, etc.

DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

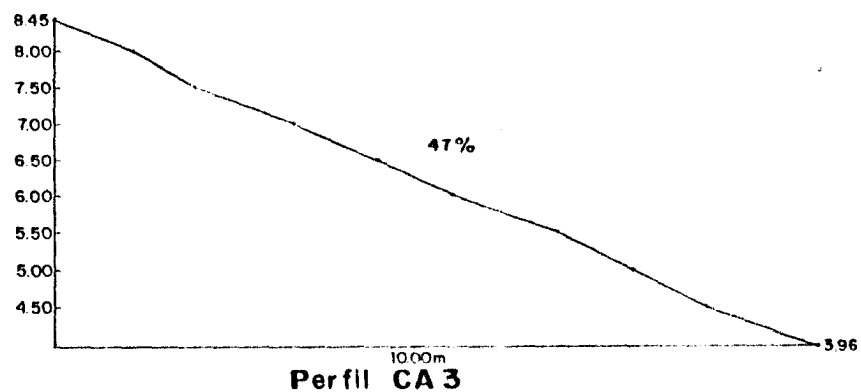
En cada agroecosistema seleccionado, considerados como tratamientos en el presente trabajo, se ubicaron tres (3) parcelas de erosión con el fin de determinar los sedimentos producto de la erosión y el volumen de escurrimiento correspondiente a cada evento o grupo de eventos de precipitación. A continuación se detallan las características del área de los agroecosistemas confinada dentro de cada parcela de erosión.

Tratamiento cultivo de café con árboles (CA)

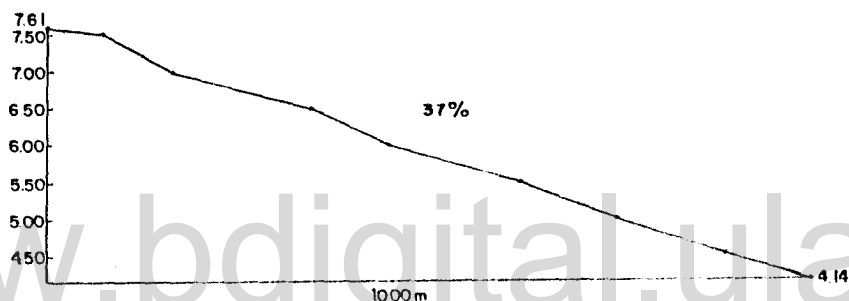
Las parcelas (CA1 - CA2 - CA3) son de 7 m de ancho por 10 m de longitud, dispuestas en el sentido de la pendiente. La pendiente media de las parcelas es de 42 % (Figura 6); el número promedio de plantas de café por parcela es de 20; las cuales alcanzan una altura media de 3,5 m, un diámetro medio de la copa de 1,8 m y tienen una edad de 12 años.

El suelo presenta un epipedón de espesor variable entre 5 - 28 cm, de color marrón oscuro (10YR 3/4 - 10YR 3/4), de textura Franco (F) a Franco Arcillo arenosa (F-FAa); un endopedón de coloración marrón rojizo (7.5 YR 3/4), de textura Franco Arcilloso (FA), con una pedregosidad interna entre 80 - 90 % y un espesor de 10 a 20 cm a partir del cual se encuentra el estrato rocosa-pedregoso. La estructura del epipedón y endopedón es de tipo migajosa, débil y muy fina; la permeabilidad en el perfil del suelo es rápida.

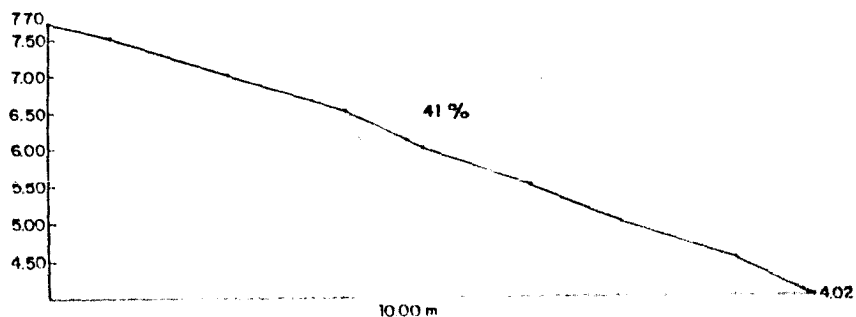
Dentro de las parcelas se observa gran cantidad de hojarasca (CA1<CA2<CA3) con distintos grados de descomposición (fresco, moderadamente descompuesto y muy descompuesto), el espesor varía entre 3 -10 cm. Además existe una cobertura de piedras sobre la superficie de las parcelas estimada en un 10 % en la parcela CA1 y CA3 y de un 20% en la parcela CA3.



Perfil CA 3



Perfil CA 2



Perfil CA 1

Figura 6. Perfiles Topográficos (o de relieve) en Tratamiento café con árboles (CA)
Parcelas de 10,00m x 7,00m.

Tratamiento cultivo de café con frutales (CN)

Las parcelas (CN1 - CN2 - CN3) son de 7 m de ancho por 10 m de longitud, ubicadas en el sentido de la pendiente. La pendiente promedio es de 38 % (Figura 7); el número de plantas de café por parcela es de 20, con una altura promedio de 2,5 m y el diámetro medio de copa es de 1,6 m; el número de árboles es uno en las parcelas CN1 y CN3 y dos en la parcela CN2, con una altura promedio de 3,5 m y diámetro medio de la copa es de 2,5 m. Ambas especies tienen una edad de 5 años.

El suelo presenta un epipedón de espesor variable entre 18 - 26 cm, de textura Franco (F), con una coloración marrón oscuro (7.5 YR 3/3) y con presencia de fragmentos gruesos equivalente al 10 - 15 % en volumen. El endopedón puede variar en profundidad hasta 59 cm, con textura Franco (F) y una coloración que varía de marrón a marrón fuerte (7.5 YR 3/3- 7.5 YR 4/6). La estructura del epipedón y endopedón es granular moderada y grande; la permeabilidad es rápida. La profundidad del suelo hasta el estrato granzono-pedregoso varía entre 90 y 180 cm.

En la superficie del terreno se observa gran cantidad de mantillo descompuesto y mezclado con material edáfico ligeramente suelto en espesor variable entre 1 - 3 cm; igualmente existe una cobertura de piedras estimada en un 5 %, de diámetro variable 10 - 15 cm, separadas entre sí 2 - 5 m.

Tratamiento cultivo de café sin sombra (CS)

Las parcelas tienen un tamaño de 3 m de ancho por 10 m de longitud, ubicadas en el sentido de la pendiente. La pendiente media de las parcelas es de 37 % (Figura 8); el número promedio de plantas de café es de 9, con una altura promedio de 1,6 m y un diámetro medio de la copa de 1,4 m. La plantación tiene una edad de 5 años.

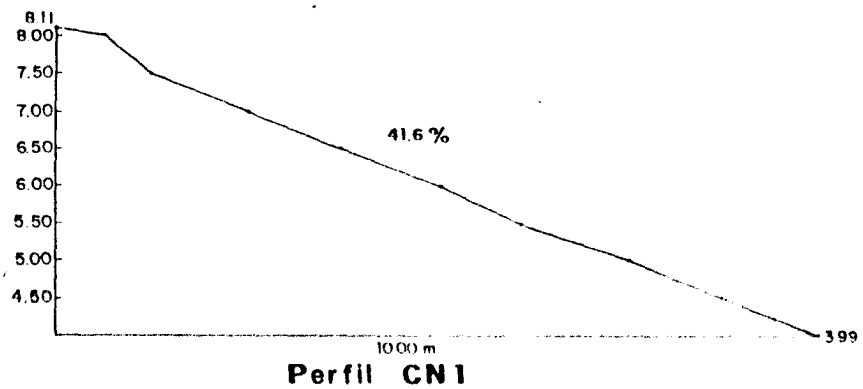
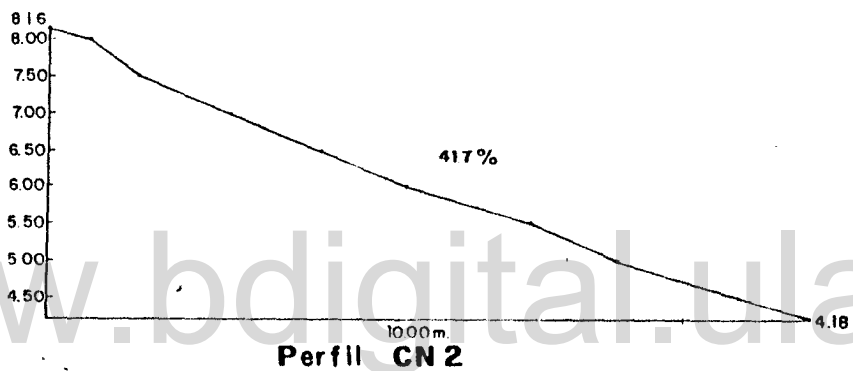
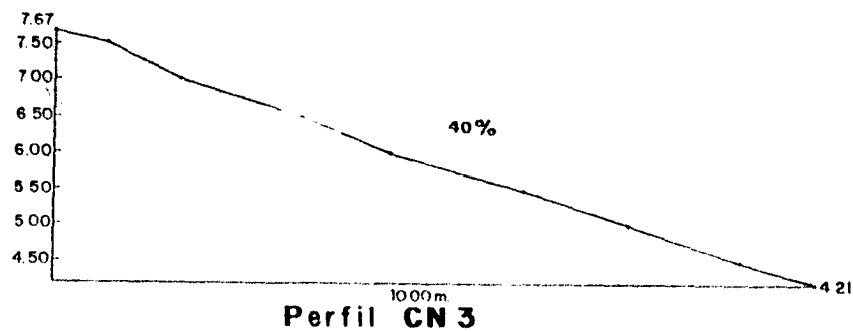


Figura 7 . Perfiles Topográficos (o de relieve) en Tratamiento café con frutales (CN)
Parcelas de 10,00m.x 7,00m.

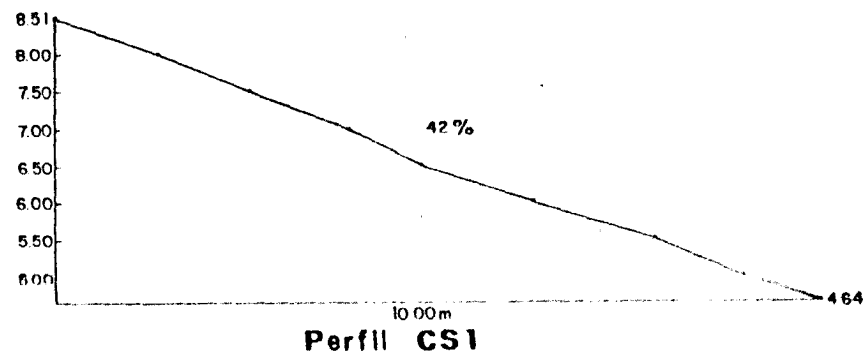
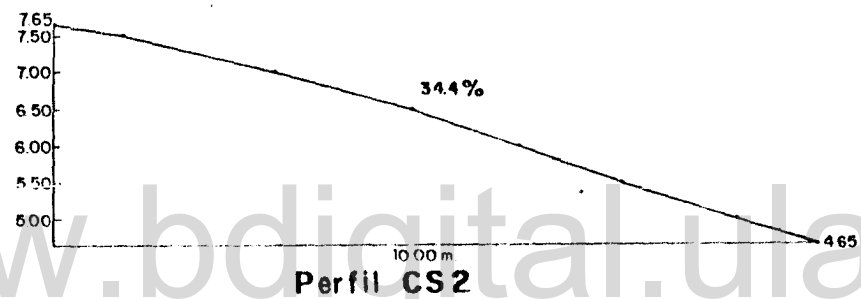
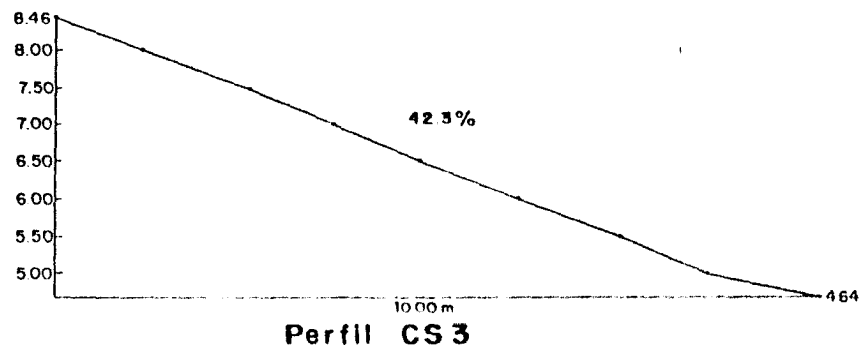


Figura 8 . Perfiles Topográficos (o de relieve) en Tratamiento café sin sombra (CS)
Parcelas de 10,00m x 3,00m.

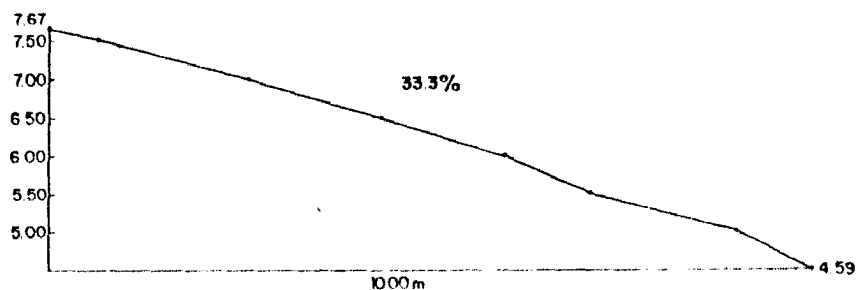
El suelo presenta un epipedón de espesor variable entre 12 - 18 cm, de textura Franco Arcillosa (FA), de coloración marrón oscura (7.5 YR 5/3) con un volumen de fracción gruesa variable entre 20 - 40 % ; un endopedón que puede alcanzar profundidades entre 40 - 60 cm, con una fracción gruesa que alcanza hasta 60 % en volumen, con textura Franco arcillo (FA) y color amarillento rojizo (5 YR 4/6). La estructura del epipedón y endopedón es de tipo granular, moderada y mediana; con una permeabilidad excesivamente rápida. La profundidad del suelo hasta el estrato rocoso varía entre 40 - 60 cm.

La superficie del terreno se encuentra cubierta por desechos del deshierbe en diferentes grados de descomposición, con un espesor entre 1 - 5 cm; presenta una pedregosidad superficial con peñascos hasta de 15 cm de diámetro y separadas entre su entre 1 - 2,5 m.

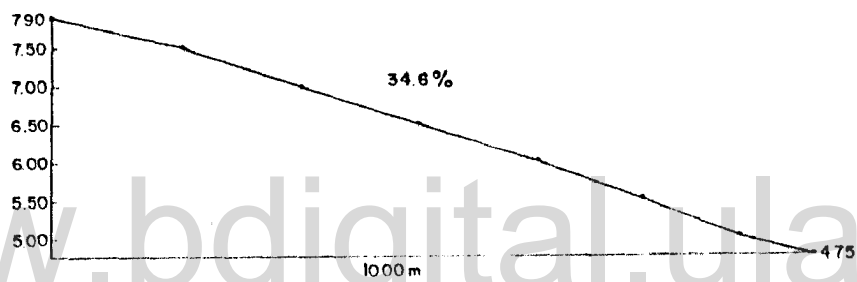
Tratamiento barbecho desnudo (BD):

El tamaño de las parcelas (BD1 - BD2 - BD3) es de 3 m de ancho por 10 m de longitud, ubicadas en el sentido de la pendiente. La pendiente media dentro de las parcelas es de 35 % (Figura 9). Las parcelas se mantuvieron sin vegetación con deshierbes que se realizaron mensualmente.

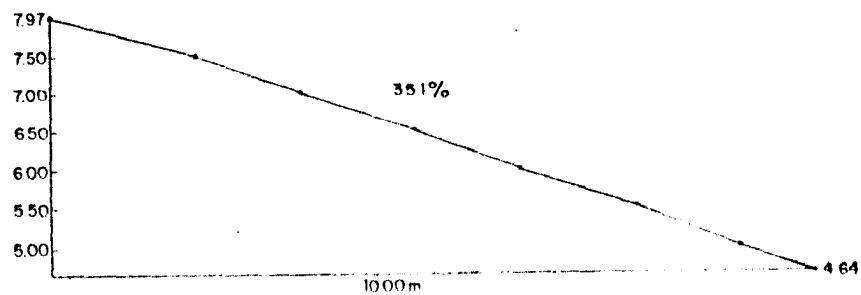
Los suelos presentan un epipedón de espesor variable entre 12 y 20 cm, de textura Franco Arcillosa (FA), de color marrón oscuro (7.5YR 3/3), con un volumen de fracción gruesa variable entre 1 - 5 %; y un endopedón que puede alcanzar hasta 50 cm, con una fracción gruesa que puede alcanzar 20 % de volumen; con una textura Arcillo-arenosa (Aa), de color marrón a marrón amarillento rojizo (5 YR 5/4). La estructura del epipedón y el endopedón es granular, moderada y mediana; la permeabilidad es excesivamente rápida. La profundidad del suelo hasta el estrato rocoso varía entre 30 y 50 cm.



Perfil BD3



Perfil BD2



Perfil BD1

Figura 9. Perfiles Topográficos (o de relieve) en Tratamiento barbecho desnudo (BD)
Parcelas de 10,00m x 3,00m.

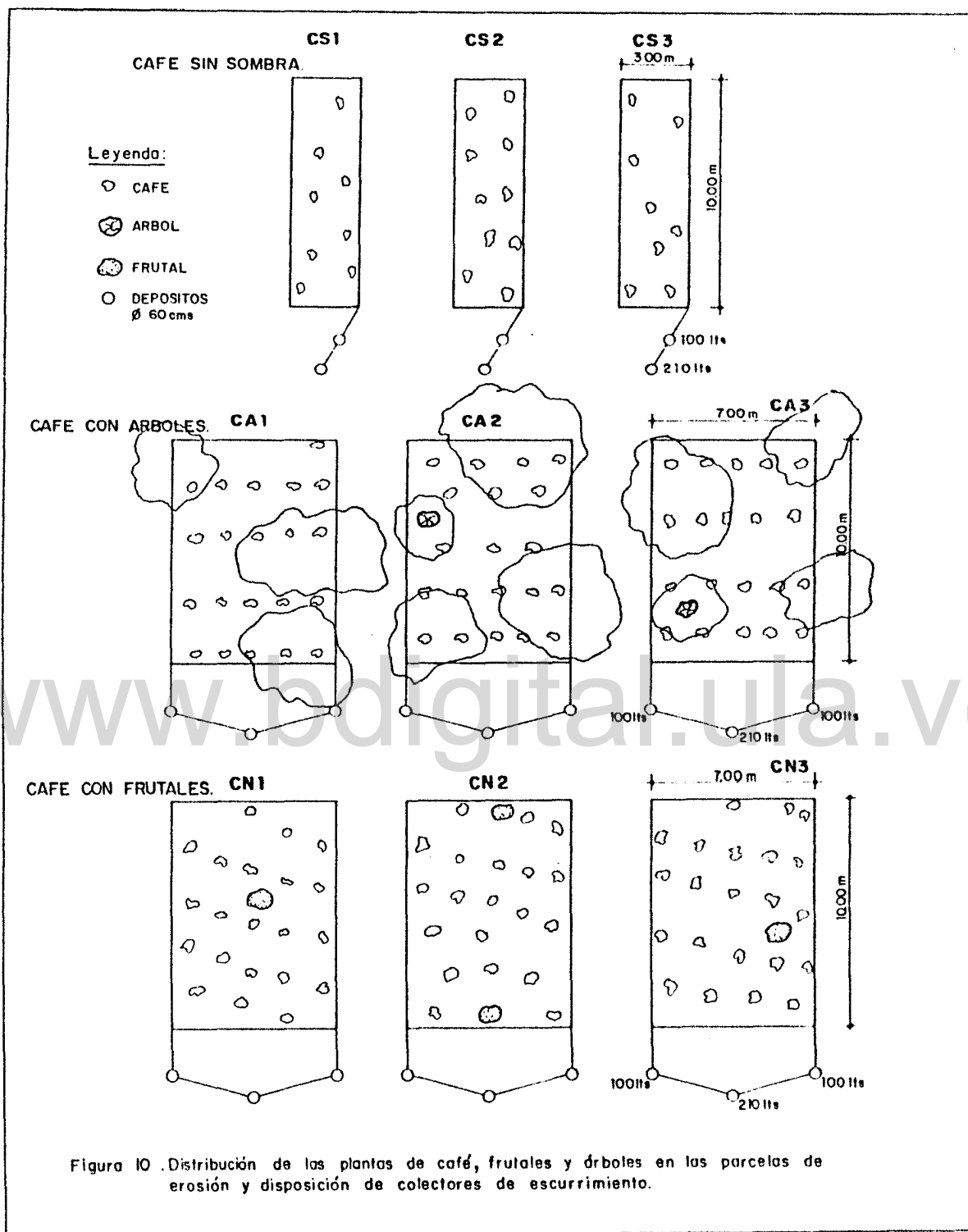
La superficie del terreno, al comienzo de la evaluación, presentó una capa de desechos de deshierbe de espesor variable entre 0 - 5 cm, y una rejilla de raicillas finas, medianas y gruesas que fueron disminuyendo a lo largo del período de observación. Presenta una pedregosidad superficial con peñascos hasta de 10 cm de diámetro distanciados entre si de 0,5 a 3 m.

La distribución de las plantas por parcela y la disposición de los colectores se muestran en la Figura 10.

Resumen de las características físico químicas de los suelos

En el Apéndice B se presentan las características de los suelos de los diferentes tratamientos, obtenidas del levantamiento de suelos realizado dentro de cada parcela.

Los análisis granulométricos realizados a los suelos en los diferentes agroecosistemas han puesto de manifiesto que el contenido de las diferentes fracciones es bastante equilibrado en los tratamientos CS y BD; en CN presenta alto porcentaje de arena (43 %) y bajo contenido de arcilla (23%), lo que presupone una menor agregación en los suelo facilitando la erosión hídrica; mientras que en CA se presentan altos contenidos de arena (43%) y similares contenidos de arcilla y limo. El mayor porcentaje de esqueleto grueso se presenta en los tratamientos CA y CS, lo que hace más permeables estos suelos; valores más bajos se observan en CN y BD. El tratamiento CA presenta suelos poco profundos (< 20 cm), en CS y BD la profundidad es < 50 cm y en CN alcanza hasta 100 cm. La pedregosidad superficial es media en el tratamiento CA y en menor cuantía en los demás tratamientos. Los suelos son bien estructurados en todos los tratamientos. El horizonte superficial muestra presencia de abundantes raíces y cierta actividad biológica (hormigas, gusanos, etc.). Todos los tratamientos resultaron con altas tasas de infiltración (Cuadro 1).



Los análisis químicos muestran altos contenidos de nutrientes básicos como potasio, magnesio y nitrógeno en los suelos de los agroecosistemas con cultivo de café; pero esto puede asociarse a la aplicación de fertilizantes que se realiza en los mismos. Los niveles de fósforo son altos en los tratamientos BD y CA y bajos en los tratamientos CN y CS, situación que requiere de estudios adicionales para establecer las causas de dicho comportamiento, ya que, las tasas de escurrimiento no se muestran lo suficientemente altas en ninguno de los tratamientos, para señalar pérdidas de fósforo asociadas al arrastre de nutrientes con los sedimentos. Una razón que podría estar incidiendo en la baja suplencia de este macronutriente, es la fijación por parte de óxidos y sesquióxidos de hierro que podrían tener un tenor importante. Esta presunción es motivada a la ocurrencia de coloración marrón rojiza a rojiza, características en estos suelos, producto de los procesos de alteración; sumado a las condiciones ácidas de los mismos, lo cual crea las condiciones químicas para que ocurra el proceso de fijación del fósforo por los óxidos libres del hierro.

En cuanto a la materia orgánica los valores encontrados en los tratamientos son bastante elevados ($> 4\%$), debido principalmente por su incorporación al suelo a través de la hojarasca y el material del deshierbe. La relación C/N, es decir entre la materia orgánica (en especial el carbono) y los productos nitrogenados es óptima (9 - 12) en todos los tratamientos, lo que indica que existe una buena disponibilidad de nutrientes en el suelo.

En el Cuadro 1 se presenta un resumen de las principales características de los suelos de los cuatro tratamientos considerados en la presente investigación.

Cuadro 1. Resumen de algunas características físicas y químicas del suelo superficial por tratamiento.

TRATA-MIENTO	PEND. (%)	PROF (cm)	ESQUEL. GRUESO %	TEX-TURA	Da (Mg/m3)	ESTRUC-TURA
BD	35	23,5	26	FA	1,41	Granular
CA	42	14,3	48,4	FA-FAa	1,42	Migajosa
CN	38	19,2	39,7	F	1,46	Granular
CS	37	21,1	41,4	FA	1,36	Granular

TRATA-MIENTO	PEDREG.	INFILTRAC. (cm/h)	pH	CO (g/kg)	N (g/kg)	C/N
BD	Moderada	30	4,7	31,47	2,97	10,6
CA	Media	22	5,1	30,83	2,9	10,6
CN	Moderada	30	4,7	22,53	2,17	10,3
CS	Moderada	80	4,9	41,97	4	10,5

MÉTODOS DE EVALUACIÓN

La instalación de las parcelas tuvo lugar entre octubre y diciembre de 1994. Las observaciones cubren el período comprendido entre el 24 de febrero y el 5 de noviembre de 1995. Una vez establecidas las parcelas en los diferentes subsistemas a evaluar, se procedió a realizar las observaciones de campo cuando comenzaron las lluvias, a fines del mes de febrero del año 95. El lapso de tiempo entre diciembre del 94 y febrero del 95 sirvió para estabilizar el terreno donde se construyeron las parcelas. Las primeras lluvias permitieron observar el funcionamiento de las mismas y corregir algunos detalles de la construcción. En efecto, se presentó un problema en los cortes realizados en el terreno para colocar las canales recolectoras. Las irregularidades en la superficie del terreno y la pendiente longitudinal que se le dio a las canales para que circulara el escurrimiento hacia las salidas obligó, en algunos casos, a realizar cortes bastantes profundos por lo que hubo la necesidad de construir una pequeña pantalla de concreto y piedras, a 5 cm por debajo del borde del terreno hasta el

borde superior de la canal; esto se hizo con el fin de impedir la erosión del talud de corte. Las primeras medidas fueron, por lo tanto, despreciadas.

Otro problema que se presentó en las parcelas experimentales fue el debido a las tapas de los depósitos de agua de escurrimiento, las cuales eran de plástico negro que al quedar expuestas al sol se quemaron y al caer las lluvias se rompieron, lo que ocasionó pérdida de algunos registros de lluvias ocurridos a fines del mes de julio. Las tapas de los depósitos fueron cambiadas por tapas metálicas. Igualmente, se presentó una filtración de agua de lluvia a través de la unión de las láminas de cinc que conforman los techos de las canales de siete metros de longitud (CA y CN), dicho problema fue corregido lográndose un mejor funcionamiento.

Es de hacer notar un aspecto importante en el proceso de evaluación, y es que, una vez construidas las parcelas de erosión en los diferentes subsistemas, las labores de manejo dentro de las parcelas se realizan tal cual como el establecido en cada subsistema.

El tiempo total de observación en la presente investigación se dividió en siete (7) etapas, con base en los cambios que se producen en la cobertura vegetal tanto aérea como al ras del suelo. Esta separación en etapas permite analizar los cambios que se producen en cada tratamiento, tanto en el volumen de escurrimiento como en la cantidad de pérdida de suelo, debido a las actividades de manejo cultural que se realizan dentro de cada subsistema agrícola.

Se tomaron en total veintinueve (29) observaciones desde el 8 - 03 al 4 - 11 - 95 (Apéndice D).

Mediciones y Evaluación de las Pérdidas de Suelo y Escurrimiento

Las medidas de escurrimiento y suelo en suspensión en cada depósito y los sedimentos gruesos depositados en las canales se recolectaron, en lo posible, después de cada tormenta o grupo de tormentas espaciadas por períodos de tiempo cortos.

Se tomaron muestras de agua y suelo en suspensión en cada depósito y se colocaron en frascos plásticos identificados. Luego se determinó el volumen restante en cada depósito. Los sedimentos gruesos atrapados en las canales se recolectaron, en su totalidad, en bolsas plásticas identificadas y se llevaron al laboratorio para ser secados, tamizados y pesados, obteniéndose las fracciones mayor y menor de 2 mm. Es de hacer notar que, junto con los sedimentos retenidos en las canales usualmente se depositaba una gran cantidad de hojarasca, la cual igualmente se recolectó en bolsas plásticas, se llevó al laboratorio, se secó y se pesó.

Las muestras de sedimentos en suspensión se llevaron al laboratorio donde se determinó su volumen, y luego se dejaron reposar por 24 horas para permitir la sedimentación de las partículas de suelo en suspensión; en algunos casos se utilizó ácido clorhídrico para aligerar dicho proceso; se retiró el agua con un sifón y los residuos se secaron a 105° C durante 24 horas, posteriormente se pesaron. El total de sedimentos suspendidos en cada depósito fue obtenido de la relación entre la concentración de sedimentos en el volumen de la alícuota y el volumen total colectado en el depósito. La pérdida de suelo en kg por parcela y por evento de precipitación se determinó por la suma de pesos de los sedimentos en suspensión más los sedimentos colectados en la canal. Igualmente, se determinó la pérdida de suelo < 2 mm en kg por parcela y por evento de precipitación, sumando los pesos en suspensión más los sedimentos < 2 mm colectados en las canales.

La pérdida total por parcela para el tiempo de la investigación, marzo a diciembre del año 95, fue igual a la suma de las pérdidas recolectadas después de cada evento o grupo de eventos de precipitación ocurridos en ese lapso de tiempo, expresados en kg/ha. El volumen de escurrimiento por tratamiento se expresa en mm, m³/ha y en porcentaje de la precipitación, para el mismo período de tiempo.

Análisis Estadístico:

Una vez finalizado el período de recolección de datos, se realizaron comparaciones entre las parcelas correspondientes al mismo tratamiento.

Los análisis estadísticos de los resultados se realizaron a través del Paquete Estadístico S.A.S. (S.A.S. Institute Inc., 1986), utilizando el programa ANOVA para el Análisis de Varianza; CORREL para las correlaciones; y las Pruebas de Significancia de Duncan para comparación de medias entre los tratamientos.

Estimación de la Pérdida de Suelo

Entre los modelos de predicción de erosión, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Modelo USLE) es de gran utilidad tanto para el diseño y selección de prácticas de conservación y su transferencia a nivel parcelario, como para calificación de riesgos de erosión actuales o potenciales en Unidades de Tierras. Aún cuando se han desarrollado numerosos modelos para la evaluación de la erosión hídrica, basados en principios físicos de conservación de la masa, el modelo USLE es, hasta la presente, el más ampliamente utilizado, tanto en Estados Unidos, donde fue desarrollado, como en muchos países de clima subtropical o tropical.

En Venezuela se han evaluado algunos factores de la USLE, y a pesar que las mediciones se han realizado en poco número de años, la investigación refleja que el modelo trabaja adecuadamente en nuestras condiciones; constituyendo una herramienta útil para la evaluación del riesgo de erosión en la planificación de tierras agrícolas. Sin embargo, se requiere una adecuada calificación de los diferentes factores que intervienen para evitar interpretaciones erróneas (Páez, 1990).

Con base en lo antes expuesto, se ha querido establecer una comparación entre los valores de pérdidas de suelos obtenidos de mediciones directas en las parcelas de erosión, en diferentes subsistemas, con los valores estimados a través de la USLE, ya que se dispone de información básica, que aún cuando escasa, permite realizar estimaciones aplicando la citada metodología.

A continuación se presenta la metodología utilizada para asignar los valores de cada uno de los parámetros de la ecuación, para cada subsistema evaluado.

Factor erosividad de la lluvia (R):

El índice de erosividad (EI30) se calculó con base a las bandas de precipitación obtenidas mediante un pluviógrafo de sifón de registro diario y de un pluviómetro de la Estación Quebrada de Ramos, Laboratorio de Conservación de Suelos - Proyecto NURR-C-88-91; ubicada dentro de la finca a unos 200 m del área experimental. Se utilizó el modelo desarrollado por Wischmeier y Smith (1978, citado por Lal, 1989) para relacionar la pérdida de suelo con los parámetros de la lluvia; se define como el producto (EI30) de la energía cinética (E) de la tormenta por la intensidad ocurrida en un tiempo máximo de 30 minutos (I30). El término I30 se calcula como la mayor cantidad de lluvia caída en 30 minutos consecutivos. La energía de la tormenta se obtiene de la aplicación de la siguiente ecuación matemática:

$$e = 0,119 + 0,0873 \log I$$

Donde:

e es la energía cinética en Mj/ha por mm de lluvia.

I es la intensidad de la precipitación en mm/h.

La energía cinética de la lluvia se calcula de los registros diarios, subdividiéndolos en rangos de intensidades; a cada rango se le calcula su energía cinética la cual se multiplica por los mm de lluvia caídos en dicho rango. La energía cinética total del evento (E) será la suma de estos productos. En el Apéndice C2 se presenta un ejemplo de cálculo del EI30.

Factor de erosionabilidad del suelo (K):

El factor K es una medida del efecto de la lluvia y el escurrimiento sobre la erosión del suelo, y se define como la tasa de pérdida de suelo por unidad índice de erosión para un suelo específico medido sobre una parcela piloto (9% de inclinación de la pendiente y 22.13 m de longitud).

Para la evaluación de la erosionabilidad del suelo en Mj/ha / Mj mm/ha h se utilizó la ecuación desarrollada por Wischmeier y Smith (1978), la cual sirvió de base para construir el nomograma de Wischmeier et al. (1971) citado por Wischmeier y Smith (1978), desarrollado para estimar la erosionabilidad del suelo (factor K) con base en las características obtenidas del levantamiento de suelos (Apéndice F2 y F3).

La expresión algebraica es la siguiente:

$$100 K = [2.1 \cdot 10^4 (12 - M) N^{1.14} + 3.25 (S - 2) + 2.5(P-3)] \times 0,1317$$

Donde:

K = factor de erosionabilidad del suelo (t ha h/ha 10x7j mm)

$N = \% \text{ limo} + \% \text{ de arena muy fina} * (100 - \% \text{ arcilla})$

$M = \% \text{ de materia orgánica}$

$S = \text{estructura del suelo codificada en el nomograma}$

$P = \text{clase de permeabilidad en el perfil, codificada en el nomograma}$

$0,1317 = \text{Factor de corrección para expresar en unidades SI} = \frac{M_i}{ha} / \frac{M_i}{mm \cdot ha \cdot h}$

Factor de inclinación y longitud de la pendiente (LS):

El factor topográfico LS es la relación entre el suelo perdido en un terreno cualquiera con pendiente p y longitud l y la correspondiente a la parcela piloto utilizada en el desarrollo de la USLE.

La fórmula utilizada para calcular el factor de longitud de la pendiente es la siguiente:

$$L = (l / 22.1)^m$$

Donde:

l es la longitud de la pendiente a evaluar, en metros.

m es una función de la inclinación de la pendiente que varía entre 0.2 y 0.5 de acuerdo al valor de la inclinación de la pendiente entre $< 1 \%$ y $> 5 \%$.

Es importante resaltar que la ecuación de Wischmeier y Smith (1978) tiende a sobrestimar el efecto de la pérdida de suelo, para pendientes superiores a aquellas donde se evaluó dicha ecuación; por tal motivo se aplicó la ecuación propuesta por McCool et al. (1987), para pendientes mayores de 9% de inclinación:

$$S = 16.8 \text{ Sen } \theta - 0.5$$

Donde:

S es el factor de inclinación de la pendiente y

θ es el ángulo de la pendiente.

El valor del factor LS se obtiene al multiplicar los dos subfactores: Longitud (L) y pendiente (S) (Apéndice F-4).

En cada una de las parcelas instaladas en los cuatro subsistemas agrícolas objetos del presente estudio, se realizó un levantamiento topográfico; los valores medios de los gradientes obtenidos se utilizaron para la caracterización topográfica y la evaluación de los correspondientes factores de la USLE. La longitud de la pendiente es de 10 m, longitud total que tienen las parcelas experimentales.

Factor de cobertura y manejo (C):

El factor C indica el efecto de la cobertura vegetal en la pérdida de suelo, y se define como la tasa de pérdida de suelo de un área con una cobertura y manejo específicos y la pérdida de suelo en una parcela en barbecho, limpia y arada en el sentido de la pendiente a intervalos regulares, de la misma condición de pendiente y bajo la misma condición climática.

La determinación del factor C se hizo a partir de valores tabulados. Las tablas utilizadas fueron las propuestas por Dissmeyer y Foster (1981) para evaluar el factor C en tierras forestales basado en nueve subfactores, los mismos han sido descritos ampliamente en el capítulo II. La valoración del factor C se obtuvo multiplicando los valores de los subfactores considerados para la condición dada en cada uno de los subsistemas objetos de estudio.

Para el caso de la presente investigación, los subfactores considerados fueron los siguientes:

- Superficie del suelo desnudo.
- Cobertura del follaje.
- Alto contenido de materia orgánica.

- Cantidad de raíces finas.
- Efecto residual de enlazamiento.

En los Apéndices F6 y F7 se presentan los subfactores superficie de suelo desnudo, raíces finas y reconsolidación del suelo, así como también el subfactor cobertura del follaje respectivamente. El procedimiento para calcular el factor C en cada subsistema de cultivo consistió en determinar un valor inicial usando el Apéndice F6; este valor se multiplica, si se quiere, por el valor del subfactor de cobertura del dosel obtenido en el Apéndice F7. Este resultado a su vez se multiplica por 0,70 que es el subfactor alto contenido de materia orgánica, aplicado a todos los tratamientos.

Las variables de cada subfactor se determinó por observación directa en el campo, utilizando las siguientes técnicas:

- *Subfactor Superficie de suelo desnudo:* Se construyó una rejilla con marco de madera y reticulado de hilo nylon con dimensiones internas de 0.46 m² dentro del marco, y de 5 x 5 cm entre hilos. La recolección de datos se realizó tirando la rejilla al azar 12 veces en las parcelas de 30 m² y 28 veces en las parcelas de 70 m². Se contó el número de cuadros que tenían más del 50 % del área sin cobertura, este número se multiplicó por el área de cada cuadro; las lecturas se realizaron a intervalos de un mes aproximadamente, considerando cada intervalo como un estado o etapa diferente de las condiciones de cobertura dentro de las parcelas. Dichas etapas son las siguiente:

1. Inmediatamente después del deshierbe.
2. Cuando la maleza tiene aproximadamente 5 cm de altura.
3. Cuando la maleza tiene aproximadamente 20 cm de altura.
4. Cuando la maleza alcanza hasta 80 cm de altura y el suelo se encuentra totalmente cubierto.

- *Subfactor cobertura del follaje:* Al mismo tiempo que se midió la cobertura al ras del suelo, se midió la cobertura del follaje por observación directa de cada planta dentro de las parcelas experimentales y se determinó el porcentaje de cobertura que ofrecía al suelo desnudo.

Otra técnica utilizada fue la de tomar fotografías verticales (4 por parcela) desde la superficie del suelo hacia arriba, técnica muy poco precisa en éste caso por no tener un marco de referencia para realizar pares estereoscópicos; sin embargo, sirvió para realizar una estimación del porcentaje de cobertura de la copa, principalmente en las parcelas de café con árboles.

- *Subfactor contenido de materia orgánica:* En las parcelas experimentales con cultivo de café se presenta una alta acumulación de materia orgánica tanto, por la cobertura arbórea, como por el material del deshierbe que es dejado en la superficie como una capa de mantillo orgánico, haciendo el suelo menos erosionable. Para considerar este efecto, se debe dar un valor de 0,7 al subfactor cuando el suelo tenga 2,5 cm de espesor con alto contenido de materia orgánica (Foster et al., 1980). Por esta razón, el subfactor se aplicó a todos los tratamientos, ya que cumplen con dichas condiciones.

- *Subfactor cantidad de raíces finas:* Este subfactor se consideró en todas las parcelas experimentales atribuido a la vegetación invasora o hierbas, las cuales al ser mutiladas por el deshierbe manual, queda una red de raíces finas que protegen al suelo de la fuerza erosiva de la lluvia y el escurrimiento. Su valor en porcentaje se estimó por observación directa en el campo.

- *Subfactor de efecto residual de enlazamiento:* Este subfactor se aplicó en las parcelas del subsistema Barbecho Desnudo, por la historia reciente que presentaba dicho suelo al momento de construir las parcelas. Inicialmente este terreno se encontraba en descanso, cubierto totalmente por una vegetación herbácea y arbustiva natural, la cual fue retirada en forma manual para la

instalación de las parcelas; por tal motivo, el valor asignado según el gráfico presentado en el Apéndice F8 fue más bajo al momento de iniciar la evaluación y se aumentó a medida que se realizaban las labranzas para mantener el suelo desnudo.

Los valores obtenidos del factor C se presentan en el Apéndice F9.

Factor de prácticas de medidas de control de la erosión (P):

El factor P de la USLE es la relación de pérdidas de suelo entre una parcela donde se han aplicado prácticas especiales de conservación para el control de la erosión, como cultivos en contorno, en fajas o terrazas y las pérdidas de suelo que se producen en una parcela donde tales prácticas no se realizan y el laboreo se efectúa en el sentido de la pendiente.

Para efectos del presente estudio, el factor P es igual a 1 debido a que no se realiza en la actualidad ninguna práctica conservacionista definida para este factor. Es importante señalar que la plantación del café sin sombra se realizó en terrazas individuales, a las cuales se les realizó "platoneo" o reconstrucción de las mismas durante los tres primeros años después de la plantación. En la actualidad tal actividad no se realiza, debido a que el sistema de raíces es más abundante y el "platoneo" causaría demasiado daño a las plantas.

De la manera antes descrita se obtuvieron los valores de cada uno de los factores que definen la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE, posteriormente se procedió a estimar las pérdidas de suelo para cada una de las etapas, definidas con base en los estadios de cobertura en que se encontraban las parcelas y las prácticas de manejo, y para cada uno de los subsistemas considerados en la investigación, durante el período marzo - diciembre del año 95. Los valores estimados a través de la USLE fueron contrastados con los obtenidos experimentalmente por medición directa en el campo.

CAPITULO V

RESULTADOS Y ANÁLISIS

RESULTADOS

Una parte de los resultados obtenidos en esta investigación han sido presentados en los capítulos III y IV, ya que, los mismos tienen que ver con la caracterización de los suelos y de los sistemas agroecológicos objeto de estos estudios. En este capítulo se hace referencia a los resultados generados a través de las parcelas de erosión. El Cuadro 2 muestra los datos obtenidos para las variables de precipitación, escurrimiento y pérdida de suelo.

Precipitación y erosividad de la lluvia

En el Cuadro 2 y Figuras 11 y 12 se muestra la distribución por etapas de las precipitaciones, las máximas intensidades en 30 minutos y la erosividad de la lluvia para el período marzo - noviembre del año 1995. El pluviómetro y el pluviógrafo ubicados dentro de la finca han registrado un total de 822,5 mm, originando una erosividad de la lluvia de 4892 Mj.mm/ha.h. Se observa una distribución bimodal. En la etapa IV (agosto) es donde se registró la mayor pluviometría con 290,3 mm que equivale a un 35 % de la precipitación total, seguida de la etapa II (abril) con el 19 % y la etapa VI (octubre) con el 17 % de la precipitación total. La etapa VII es la más baja en registros de precipitación con 38,3 mm.

Para el período total de observación se registraron un total de 78 eventos de precipitación, Apéndice C1, C3 y F1, de los cuales 50 registraron láminas > 5 mm; 31 lluvias con láminas > 8 mm e intensidades > 5 mm/h, 24 lluvias

**Cuadro 2. Valores de Precipitación, escurrimiento y pérdidas de suelo.
Período marzo - noviembre de 1995.**

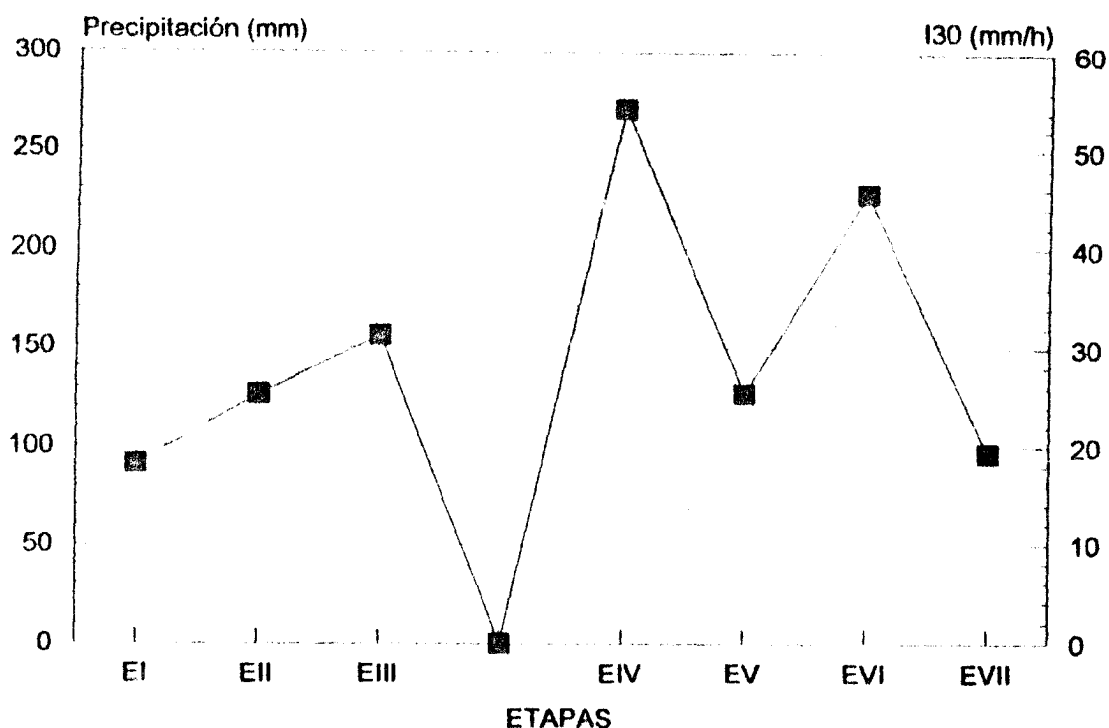
ETAPA (FECHA)	ACTIVIDADES DE MANEJO	PRECIPITACION			TRATA- MIENTO	ESCURRIMIENTO		PERDIDA DE SUELO	
		Acum. (mm)	130m/tx mm/h	E130 (Mmm/hel)		Vol (m3/ha)	% Lluvia	TOTAL (kg/ha)	< 2 mm (kg/ha)
I 8/3 - 8/4 95	Deshierbe (2/95)	61,9	18,20	133,34	BD	14,3	2,31	73,14	49,86
					CA	15,1	2,44	58,01	32,97
					CN	18,5	2,67	83,31	65,35
					CS	10,2	1,65	74,31	46,38
II 8/4 - 6/5 95	Cosecha Abono	156,1	25,20	496,15	BD	16,1	1,03	57,93	35,85
					CA	20,4	1,31	59,26	33,18
					CN	21,5	1,38	62,01	37,67
					CS	10,0	0,64	70,21	17,87
III 3/5 - 6/8 95	sin intervención	55	31,20	180,89	BD	7,1	1,29	47,18	25,73
					CA	5,0	0,91	38,38	18,48
					CN	5,1	0,93	59,05	20,03
					CS	2,5	0,46	81,98	15,07
IV 4/8 - 28/8 95	sin intervención (45 días después del deshierbe)	290,3	54,20	2747	BD	125,7	4,33	266,34	227,07
					CA	33,7	1,16	92,71	50,80
					CN	44,2	1,52	179,45	116,65
					CS	20,1	0,69	222,32	111,95
V 28/8 - 30/9 95	Deshierbe	82,9	25,30	192,94	BD	8,8	1,06	189,21	121,39
					CA	2,5	0,30	48,88	22,63
					CN	5,4	0,65	108,51	65,22
					CS	2,5	0,30	107,61	53,31
VI 30/9 - 23/10 95	Cosecha Abono	138	45,50	1021,7	BD	41,3	2,99	176,74	155,42
					CA	16,5	1,20	54,33	25,04
					CN	25,4	1,84	125,12	82,86
					CS	13,4	0,97	60,90	26,53
VII 27/10 - 5/11 95	sin intervención	38,3	36,10	120,15	BD	8,0	2,09	73,16	59,59
					CA	5,2	1,36	28,38	12,74
					CN	6,9	1,80	32,94	21,05
					CS	2,1	0,55	22,67	5,03
TOTAL PERIODO		822,5		4892,2	BD	221,3	2,69	887,80	674,91
					CA	98,4	1,20	390,90	195,83
					CN	125,1	1,52	646,65	416,82
					CS	60,8	0,74	627,52	276,18

presentan intensidades > 10 mm/h y 2 lluvias con láminas > 50 mm e intensidades > 45 mm/h.

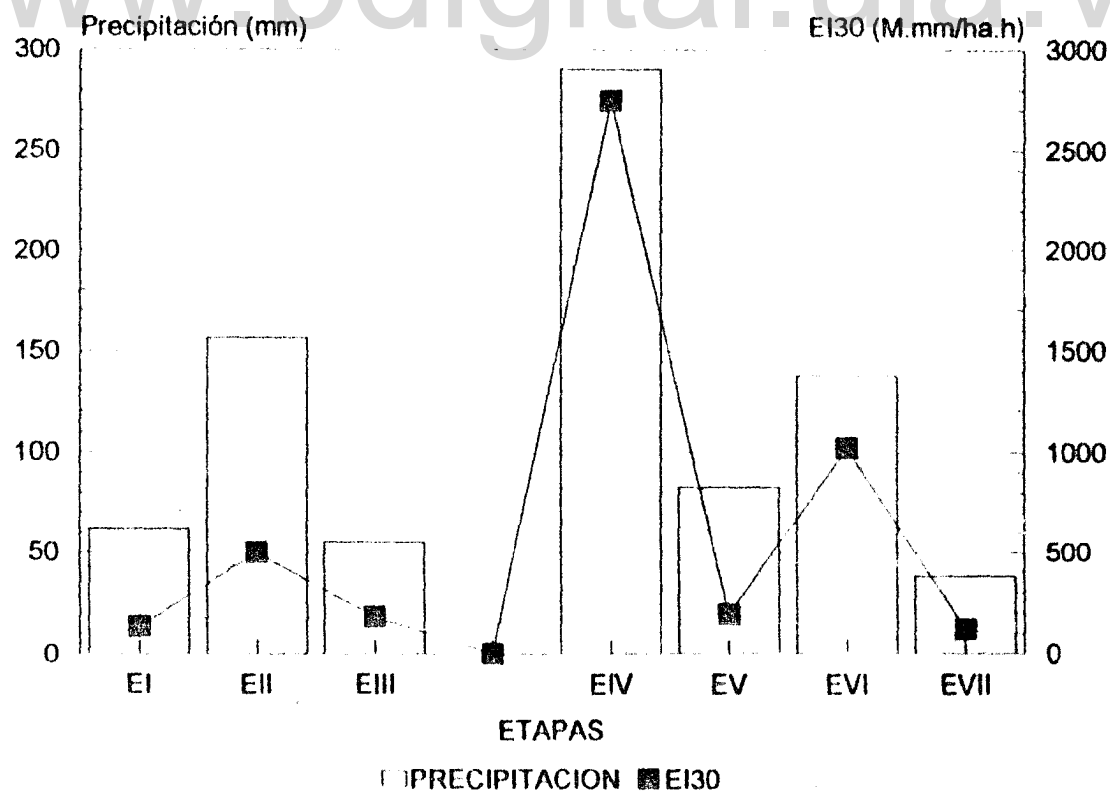
Como puede observarse, son pocas las lluvias que realmente tienen poder erosivo y las mayores pérdidas no solo se presentan en las etapas donde ocurrieron estas lluvias (etapas II y IV) sino también coincidieron con los cambios ocasionados en la superficie del suelo, por las labores de manejo del cultivo de café.

Normalmente, los picos de precipitación ocurren en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre; sin embargo, es importante señalar que las lluvias caídas durante el mes de julio y agosto son poco frecuentes en la zona, las mismas fueron ocasionadas por la influencia de los huracanes que se produjeron durante el año 1995 en el océano Atlántico y que repercutieron en el clima de Venezuela.

La etapa IV (4 - 28 de agosto) registró los valores más altos de precipitación (290,3 mm), ocurriendo ocho lluvias con intensidades máximas en 30 minutos mayores de 19 mm/h y la máxima intensidad fue de 54,2 mm/h; en esta etapa se registró el valor más alto en el índice de erosividad de la lluvia, 2747 Mj.mm/ha.h equivalente al 56 % de la erosividad total, para el período total de la investigación. Le sigue la etapa VI (septiembre-octubre) con 1021,7 Mj.mm/ha.h equivalente al 21 % y la etapa II (abril) con 496,2 Mj.mm/ha.h que representa el 10 %, en ambas etapas el volumen de precipitación registrado es similar, aunque, las lluvias con mayor energía se presentaron en la etapa VI donde también se registraron altas intensidades. En la etapa VII se produce el más bajo índice de erosividad de la lluvia (120,15 Mj.mm/ha.h) equivalente al 2,5 %.



PRECIPITACION ■ INTENSIDAD
 Figura 11. Precipitación e I30 por etapas.
 Período marzo - noviembre 1995.



■ PRECIPITACION ■ EI30
 Figura 12. Precipitación y EI30 por etapas.
 Período marzo - noviembre 1995.

En el Apéndice C1 se presenta cada observación con su respectiva precipitación, intensidad máxima en 30 minutos (I30) y erosividad de la lluvia (EI30).

Cambios en la cobertura vegetal

En la *etapa I*, un mes después de la labor de deshierbe en los agroecosistemas con cultivo de café, las plantas de café se encontraban en la fase de maduración, por lo que sus copas cubrían casi el 90 % al suelo; sin embargo, el área entre plantas presentaba un herbazal ralo con una altura entre 0 - 15 cm y pequeñas áreas desnudas lo que permitió el escurrimiento superficial y el arrastre de sedimentos hacia la canal.

La *etapa II*, se define tanto por las características de cobertura vegetal en las parcelas como por la práctica de manejo que se realizó en los agroecosistemas con cultivo de café, la cual fue la recolección de frutos o cosecha. Las plantas de café presentaban una cobertura de copa alrededor del 50 % en el tratamiento CN; un 30 % en el tratamiento CS y un 80 % en el tratamiento CA (incluyendo copa de los árboles). Sin embargo, la cobertura al ras del suelo había aumentado su crecimiento alcanzando una altura entre 15 y 60 cm; y el área de suelo desnudo disminuyó en todos los tratamientos a excepción del barbecho desnudo donde se había realizado un deshierbe.

La *etapa III* se caracteriza porque los subsistemas con cultivo de café presentan una cobertura vegetal casi del 100 % , que se debe principalmente a la cobertura al ras del suelo; el deshierbe en los mismos se realizó días después de culminar las mediciones en esta etapa. En el tratamiento café sin sombra, el helecho alcanzó una altura hasta de 1 m, aunque en áreas cercanas a cada planta de café, éste había sido "chapurreado" con el fin de facilitar la cosecha del café; en los tratamientos café con frutales y café con árboles el herbazal alcanzó una altura de 80 y 60 cm respectivamente. Es importante destacar que la cobertura

en el tratamiento de café con árboles se mantiene, durante todo el año, muy cerca del 100 %, no solo por la fisonomía del cultivo del café y de los árboles de sombra, sino por la cobertura en la superficie del suelo por hojarasca y piedras de tamaño variado.

En los agroecosistemas de cultivo de café se retrazó las labores de deshierbe y abonamiento, las mismas se realizaron durante las tres primeras semanas del mes de junio; en el barbecho desnudo se realizó un deshierbe en la última semana de este mes.

La *etapa IV* se caracteriza porque las plantas de café se encontraban en la etapa de fructificación y la cobertura de las copas estaba entre un 60 y 80 %; la cobertura de malezas alcanzaba una altura de 60 cm y el área desnuda ocupaba un 3 % en estos agroecosistemas.

La *etapa V* se define en función de la práctica de manejo que se realizó en ese período como fue el deshierbe de los agroecosistemas con cultivo de café, por tal motivo la cobertura al ras del suelo disminuyó con respecto a las etapas anteriores. Sin embargo, esta disminución no fue tan relevante para que el proceso erosivo pudiera producirse en las parcelas experimentales, debido a que, el material producto del deshierbe, es dejado en la superficie del terreno como un "mulch", lo cual permite una protección al suelo contra el impacto de las gotas de lluvia.

La *etapa VI* se define en función al tiempo de la labor de cosecha y abonamiento de los agroecosistemas con cultivo de café. Las plantas de café disminuyeron su cobertura en un 50 % después de la cosecha del fruto; sin embargo, la cobertura al ras del suelo había comenzado su crecimiento alcanzando el herbazal una altura entre 5 y 10 cm al final de la etapa, presentando las parcelas un pequeño porcentaje de suelo totalmente desnudo.

La *etapa VII* se caracteriza porque los subsistemas con cultivo de café presentan una cobertura al ras del suelo casi del 100 %. En las plantas de café comienza el crecimiento de nuevas ramas, hojas y la floración. En esta etapa no se realiza ninguna actividad de manejo en estos subsistemas.

El tratamiento barbecho desnudo se deshirió mensualmente durante el período total de observación.

En el Cuadro 3 se presentan los porcentajes de la cobertura total estimada para los tratamiento con cultivo de café, en cada una de las etapas.

Cuadro 3. Porcentajes de cobertura por etapas

TRATAMIENTOS	ETAPAS						
	EI	EII	EIII	EIV	EV	EVI	EVII
CA	96	97,6	98,8	99,8	96	96	99
CN	93	98	100	99,4	83	90	95
CS	93	98,5	99,7	99,3	92	92	98

Escurrimiento

En el Cuadro 2 y las Figuras 13 y 14 se muestra la distribución por etapas del escurrimiento asociado con precipitación y EI30; y los valores acumulados se muestran en la Figura 15, para el período total de observación.

Los mayores incrementos en las curvas de escurrimiento se observan en las etapas II, IV y VI donde ocurrieron las máximas precipitaciones y los valores más altos de índices de erosividad de la lluvia. Las etapas II y IV coinciden además con la labor de cosecha del café, lo que incrementó el volumen de escurrimiento por efecto de la compactación del suelo debida al pisoteo del mismo. Los registros bajos en volumen escurrido, etapas III y VI, coinciden con la disminución en la lámina

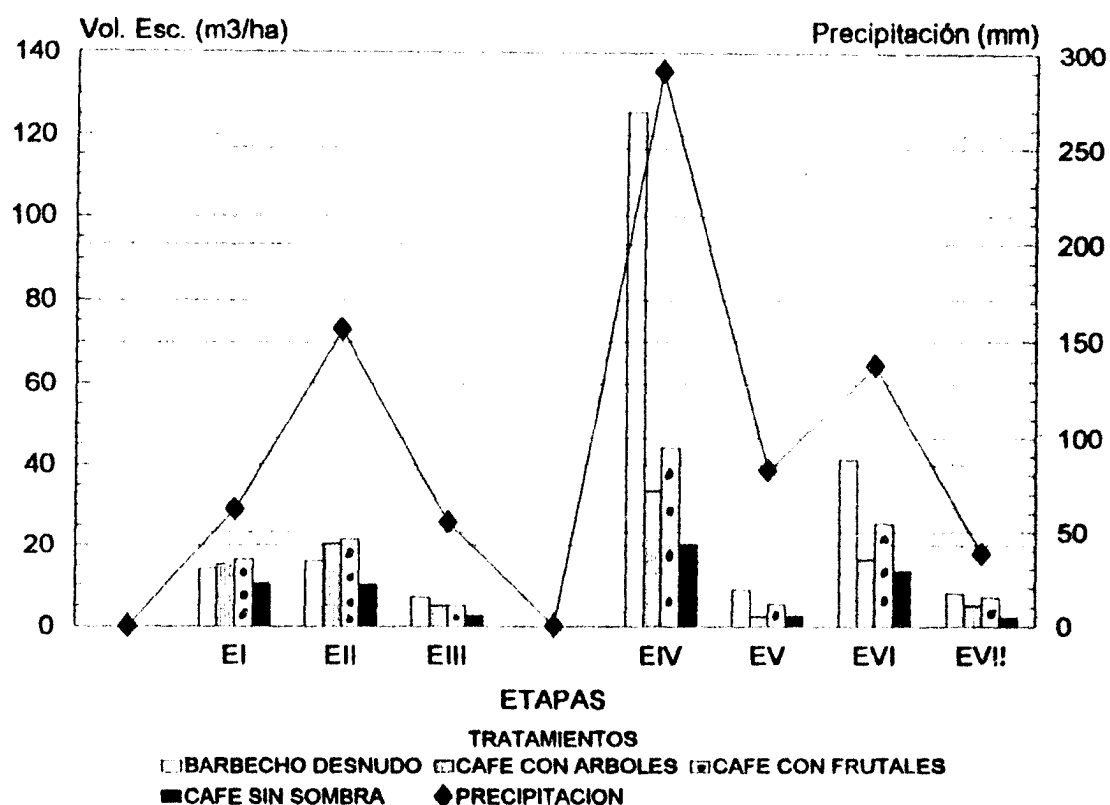


Figura 13. Volumen escurrido y precipitación asociada.
Período marzo - noviembre 1995.

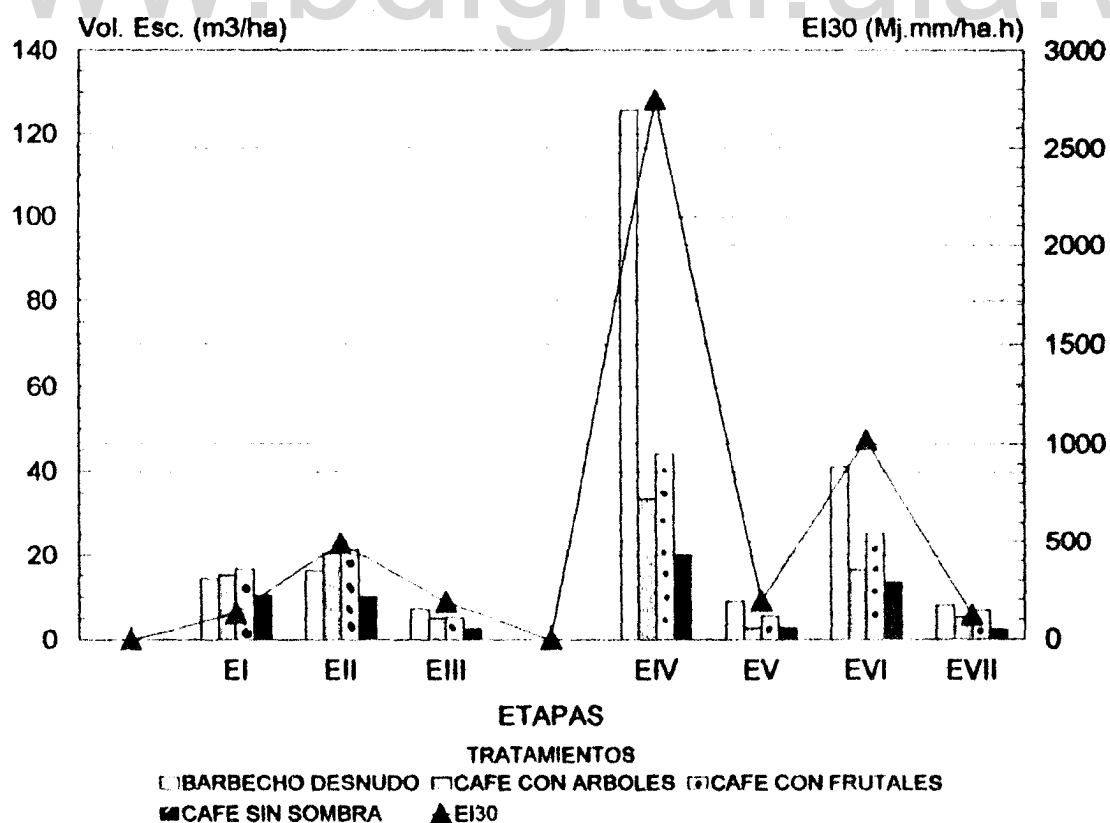


Figura 14. Volumen escurrido y EI30 asociada.
Período marzo - noviembre 1995.

precipitada y con el incremento en la cobertura vegetal al ras del suelo. El tratamiento barbecho desnudo (BD) registró el mayor volumen con 221,3 m³ /ha que equivale al 2,69 % de la precipitación, seguido por el café con frutales (CN) con 125,1 m³/ha y 1,52 %, café con árboles (CA) 98,4 m³ /ha con 1,2 % y el valor más bajo en el café sin sombra (CS) 60,8 m³ /ha, este último valor corresponde a un 0,74 % de la lluvia precipitada.

Pérdida de suelo

La pérdida de suelo fue dividida en pérdida de suelo total y pérdida de suelo < 2 mm, con el fin de determinar las características del sedimento erosionado.

Pérdida de suelo total

En el Cuadro 2 y las Figuras 16 y 17 se muestra la distribución de la pérdida de suelo total por etapas asociada con la precipitación y la energía de la lluvia; y los valores acumulados se muestran en la Figura 18.

Los mayores incrementos en pérdida de suelo total se observan en las etapas II, IV, V y VI donde ocurrieron las máximas precipitaciones, las máximas intensidades en 30 minutos y los más altos índices de erosividad de la lluvia (Apéndice C1 y C3). Además coinciden con las labores de manejo como son la cosecha del fruto de café y el deshierbe. La mayor pérdida de suelo se registró en el tratamiento barbecho desnudo (BD) con un total de 887,8 Kg/ha; en cuanto a los agroecosistemas de café, el tratamiento café con frutales (CN) obtuvo el mayor valor con 646,65 kg/ha, seguido por el café sin sombra (CS) con 627,52 kg/ha y el más bajo se registró en café con árboles (CA) con 390,9 kg/ha.

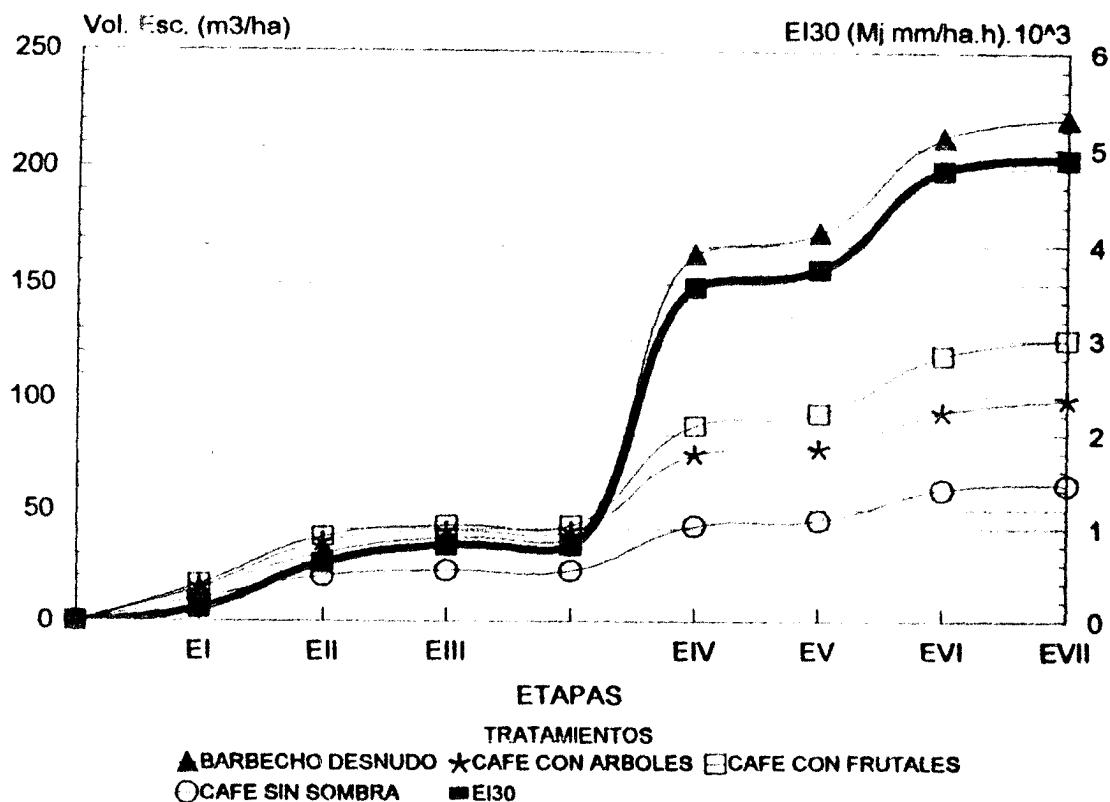


Figura 15. Volumen escurrido y EI30 acumulados.
Período marzo - noviembre 1995.

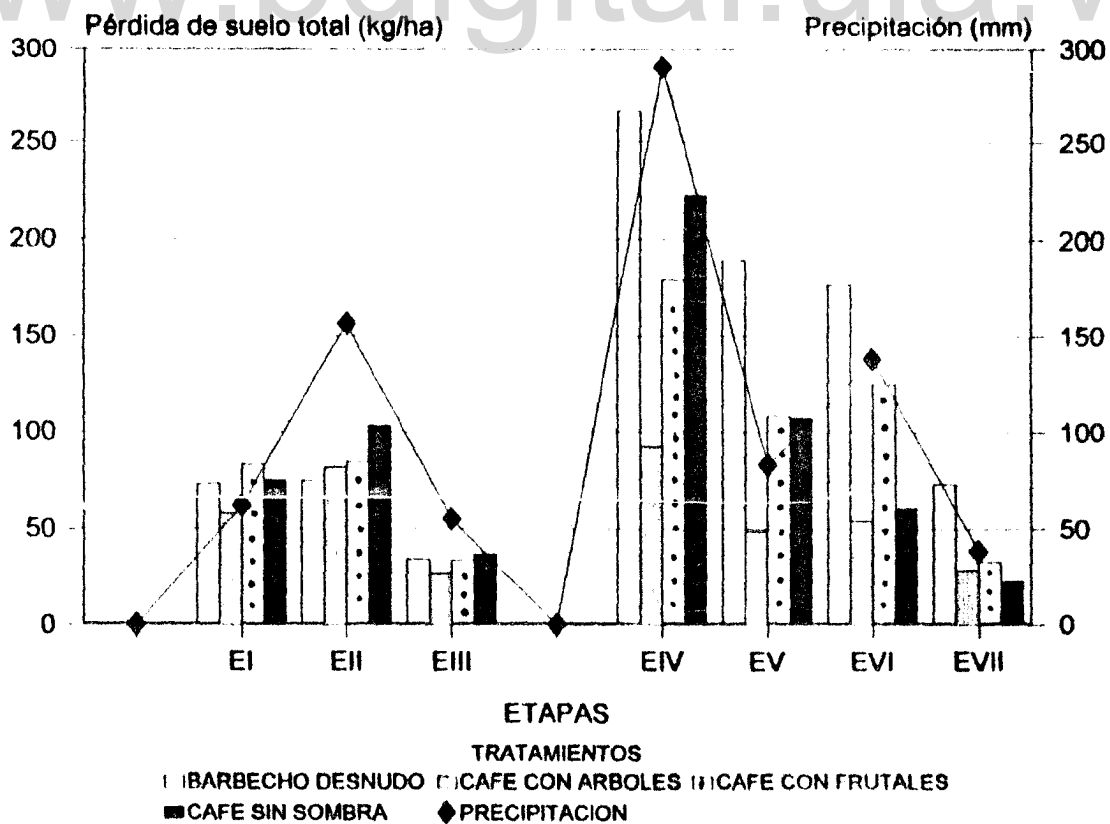


Figura 16. Pérdida de suelo total y lluvia asociada.
Período marzo - noviembre 1995.

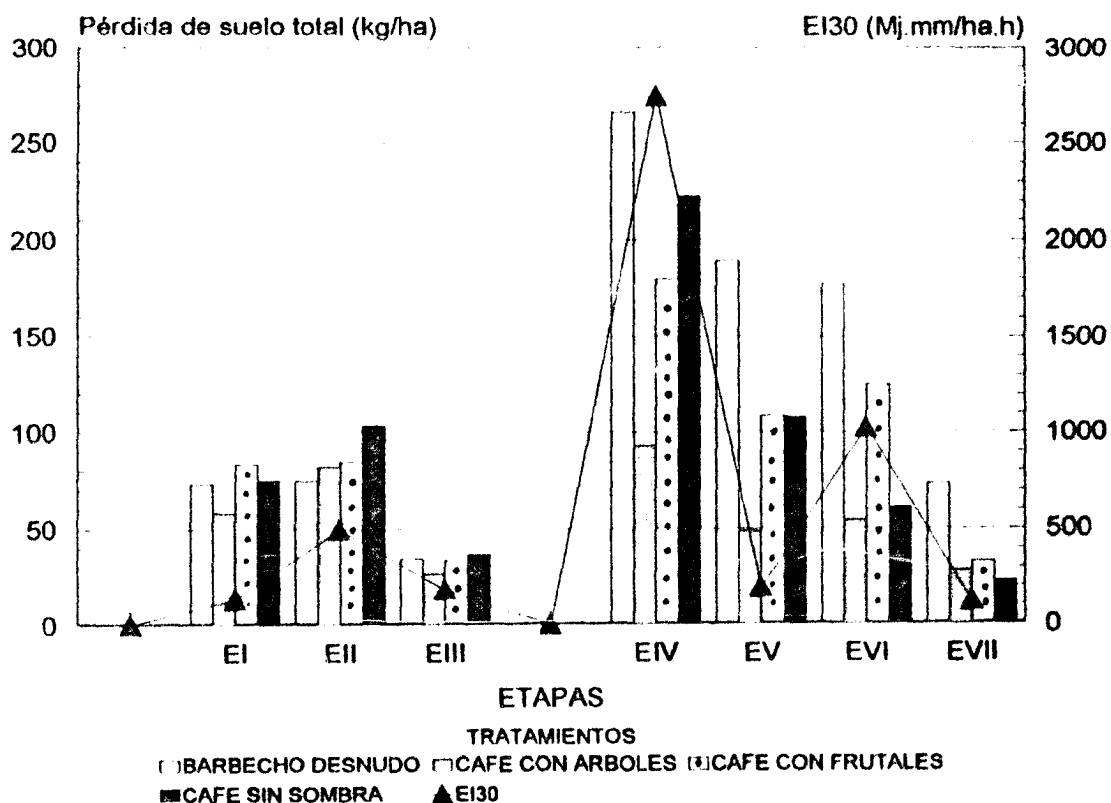


Figura 17. Pérdida de suelo total y EI30 asociada
Período marzo - noviembre 1995.

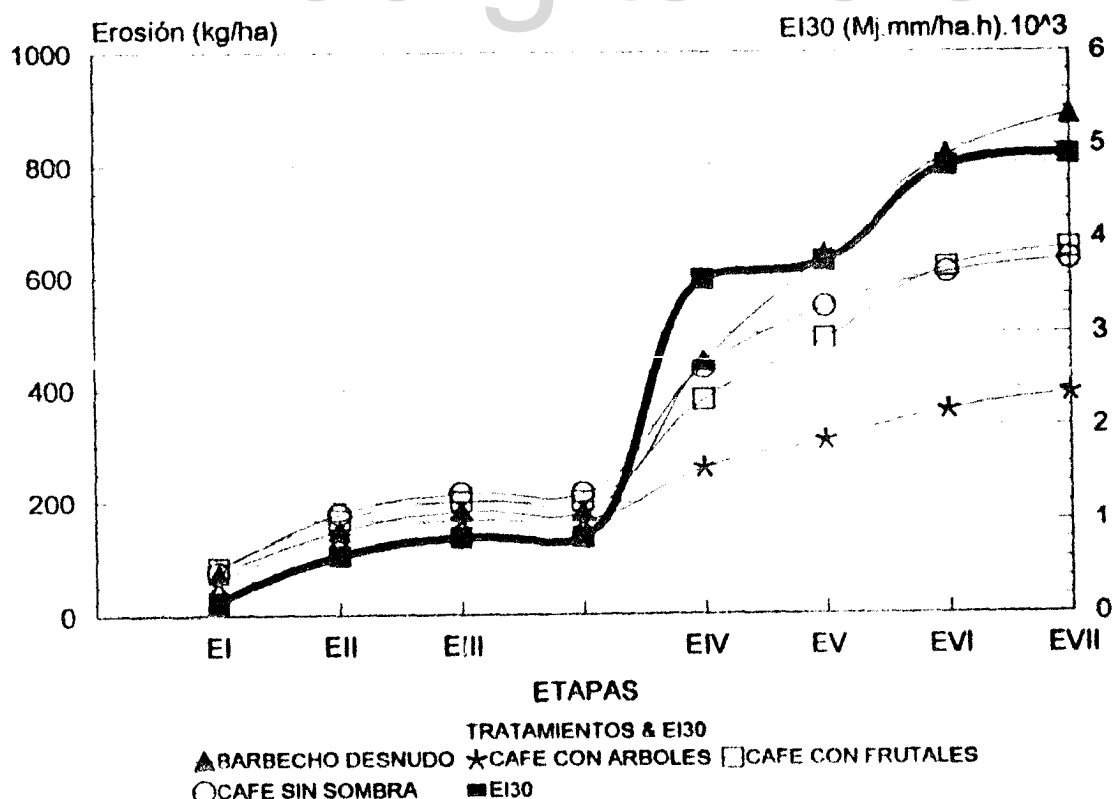


Figura 18. Pérdida de suelo total y EI30 acumuladas
Período marzo - noviembre 1995.

Pérdida de suelo < 2 mm

En el Cuadro 2 y las Figuras 19, 20 y 21 se muestra la distribución de la pérdida de suelo < 2 mm, por etapas y los valores acumulados para todo el período de observación. Al igual que en el caso anterior, las mayores pérdidas de suelo < 2 mm se presentan en las etapas donde ocurren las mayores precipitaciones (Figura 19), altas intensidades, mayor energía de la lluvia (Figura 20), y donde además se realizan las labores de cosecha y deshierbe. El tratamiento barbecho desnudo (BD) obtuvo el mayor valor con 674,91 kg/ha y en café con frutales (CN) con 416,82 kg/ha, ambos tratamientos presentan el menor porcentaje de esqueleto grueso; los valores más bajos se registraron en los tratamientos café sin sombra (CS) con 276,18 kg/ha y café con árboles (CA) con 195,83 kg/ha.

La Figura 22 muestra los registros de pérdida de suelo total asociada con el porcentaje de lluvia escurrida, obtenidos por tratamiento y para el período total de la investigación.

La buena protección ejercida por la cobertura vegetal presente en los agroecosistemas estudiados y las bajas láminas precipitadas durante el período de observación, limitaron el volumen de escurrimiento y por ende la baja pérdida de suelo obtenida en la presente investigación.

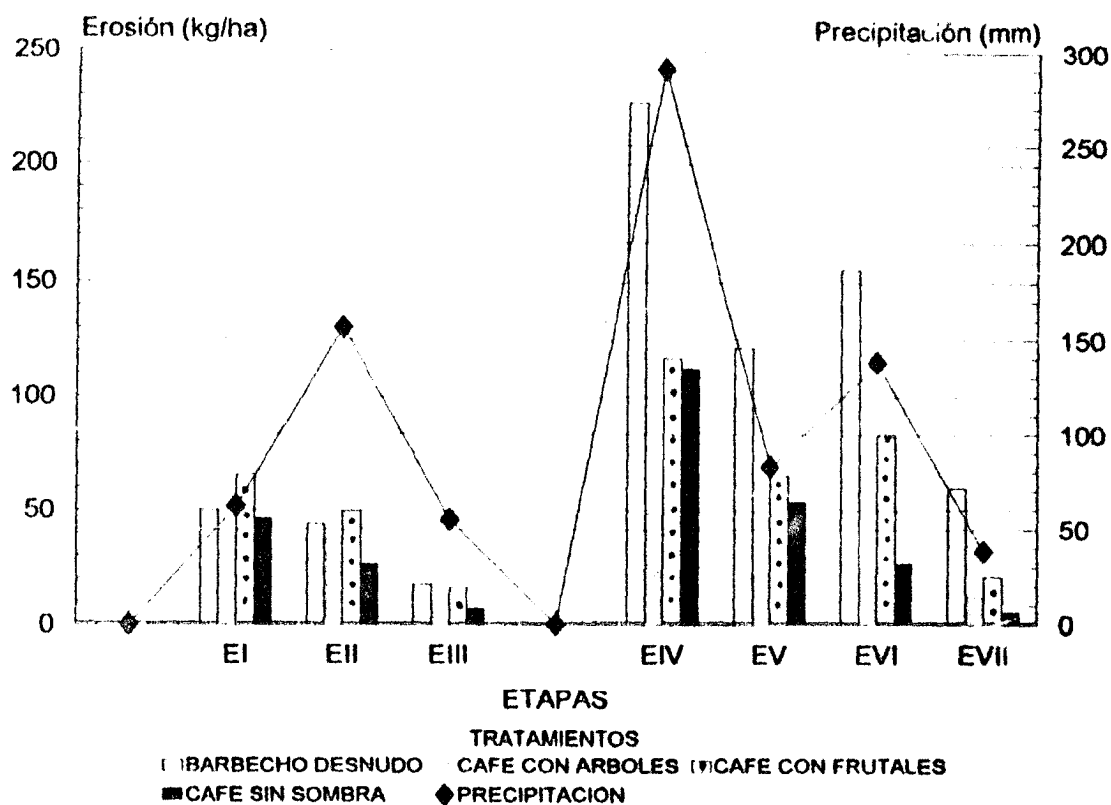


Figura 19. Pérdida de suelo < 2 mm y lluvia asociada
 Período marzo - noviembre 1995.

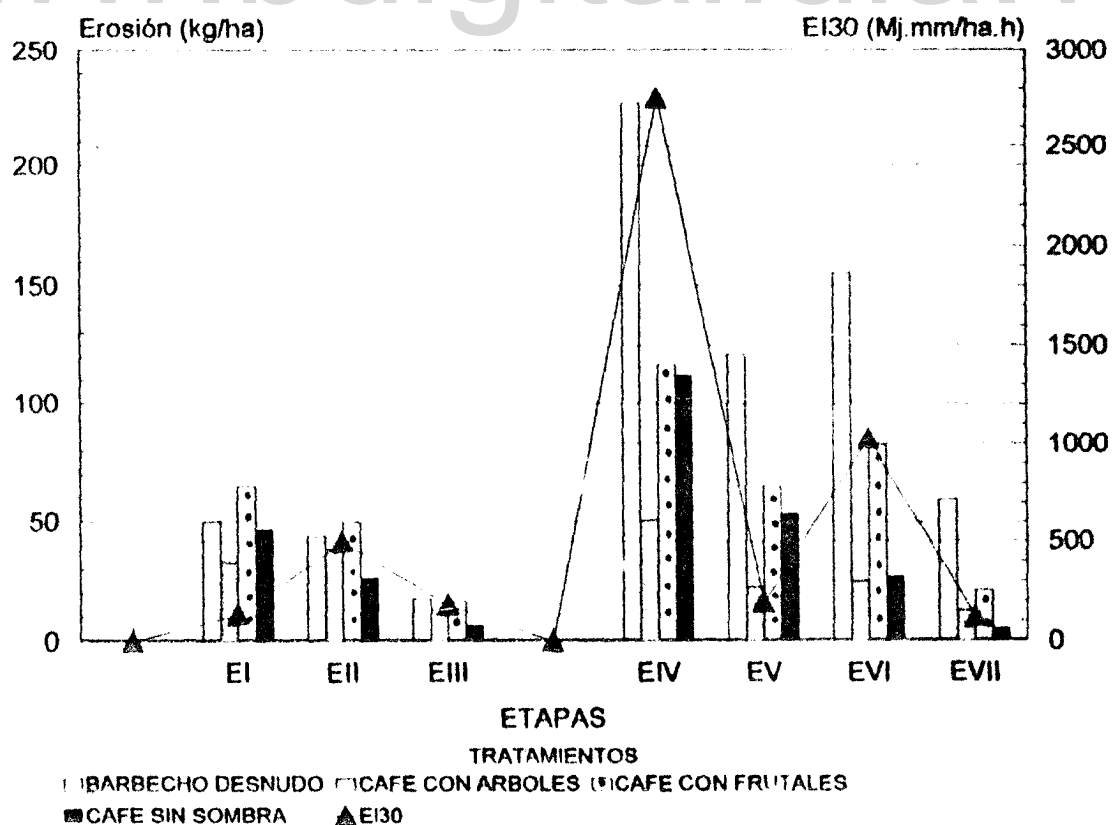


Figura 20. Pérdida de suelo < 2 mm y EI30 asociada.
 Período marzo - noviembre 1995.

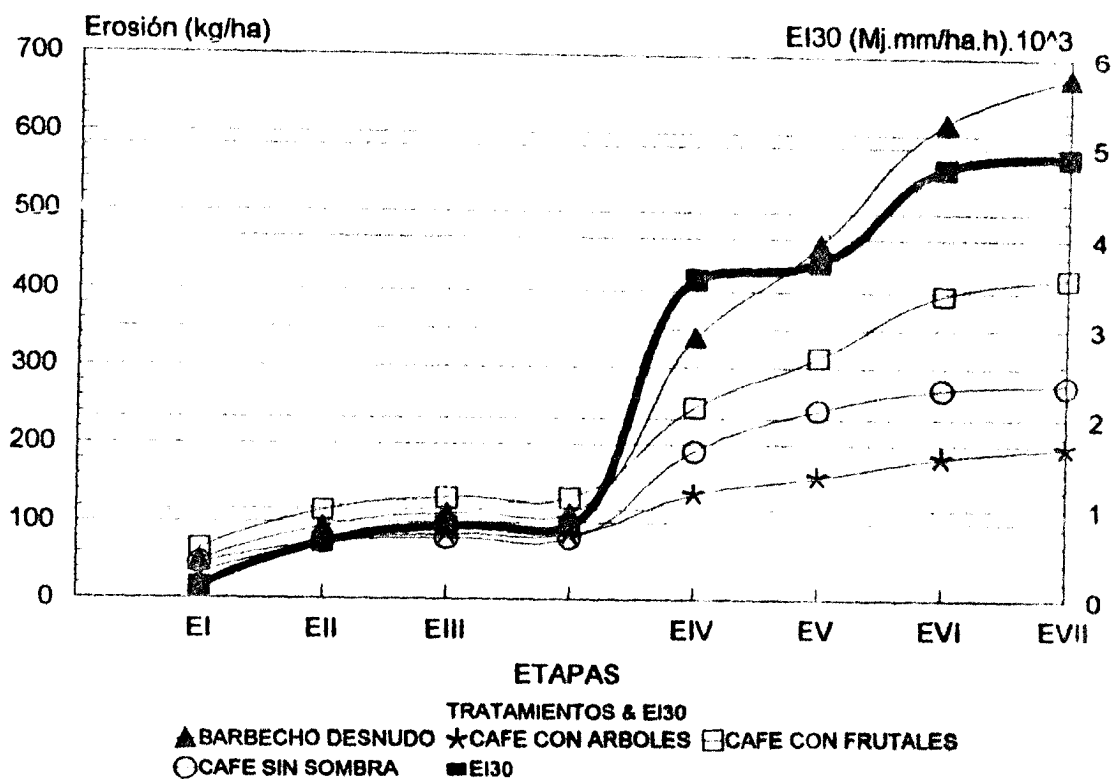


Figura 21. Pérdida de suelo < 2 mm y EI30 acumuladas.
Período marzo - noviembre 1995.

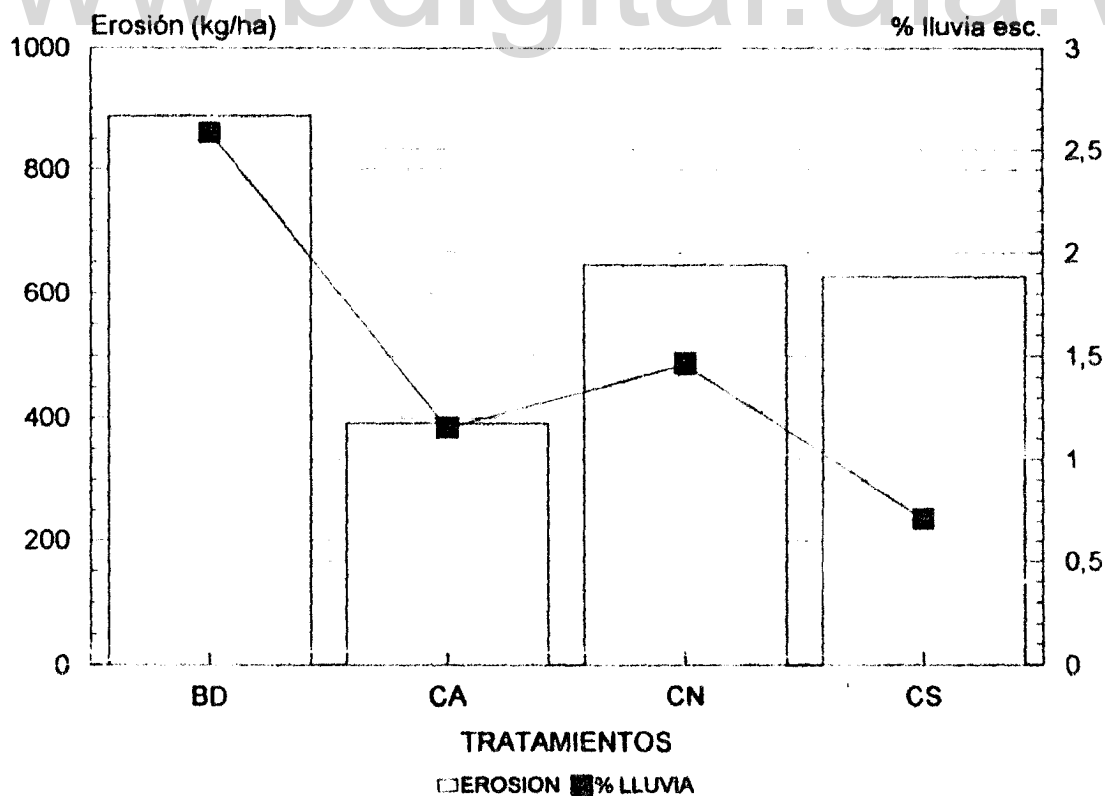


Figura 22. Pérdida de suelo total y % de lluvia escurrida.
Período marzo - noviembre 1995.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Cobertura vegetal

La cobertura vegetal presentó cambios muy leves durante el año en el tratamiento café con árboles (CA) debido a que la sombra de los árboles limita el crecimiento del herbazal. En los tratamientos café con frutales (CN) y café sin sombra (CS) el porcentaje de suelo desnudo se incrementó después del deshierbe; pero en una proporción muy pequeña (más o menos 50 % del área cubierta por el herbazal), debido a que el material del deshierbe se deja en la superficie del terreno. La protección que ejerce la cobertura vegetal, tanto aérea como al ras del suelo, induce a una menor pérdida de suelo y un menor volumen de escurrimiento, ya que la misma produce intercepción de la lluvia y el escurrimiento, evitando el impacto de las gotas de lluvia y facilitando la infiltración del agua en el suelo. Además, los mayores contenidos de materia orgánica se asocian con mejoras en las características del suelo tales como la estructura, disponibilidad de nutrientes, etc. En el caso del tratamiento CA, a pesar de presentar la mayor pendiente (42 %), la baja pérdida de suelo puede estar relacionada con la cobertura de hojarasca y pedregosidad superficial. El-Hassanin (1993) señala que la cobertura vegetal más efectiva contra la pérdida de suelo y el escurrimiento es el bosque, seguido por el pasto y en última instancia los de ciclo corto. El barbecho desnudo incrementa grandemente la pérdida de suelo y el escurrimiento.

Escurremiento

El tratamiento barbecho desnudo presenta el mayor volumen de escurrimiento, sin embargo, los valores son muy bajos si se comparan con resultados obtenidos por otros investigadores en parcelas desnudas con pendientes menores de 30 % los cuales superan el 40 % de la lámina precipitada (Fernández, 1989; El-Hassanin et al., 1993; Fernández, 1995; Fernández et al., 1995; Rodríguez, 1995 y otros). El volumen de escurrimiento en todos los tratamientos pudo estar

influenciado por las características de las tormentas (cantidad, duración, intensidad y frecuencia), cambios físicos en la superficie del suelo (principalmente por las labores de manejo) y los antecedentes de humedad. En relación al comportamiento del barbecho desnudo (BD), es importante considerar el señalamiento de Dissmeyer y Foster (1981) de que, un suelo baldío cuando es cultivado presenta fases de erosión que pueden ser mucho menores que las que serían dos o tres años después, dado al efecto residual de enlazamiento; este efecto pudo limitar el escurrimiento, y por ende la pérdida de suelo, al facilitar la infiltración.

El valor más bajo de escurrimiento se registró en el tratamiento café sin sombra (CS), lo que evidencia la alta tasa de infiltración que ocurre en este agroecosistema. Ello se asocia a los altos contenidos de esqueleto grueso presente en el perfil del suelo y al efecto de los biocanales que se producen por las raíces de las hierbas constituidas principalmente de helecho (Achrostium sp); también es el agroecosistema con el nivel más alto de materia orgánica, producto de la incorporación al suelo de los residuos del deshierbe dejados en la superficie, lo cual favorece un mejor desarrollo de la estructura y una mayor capacidad de infiltración.

El valor de escurrimiento registrado en el tratamiento café con árboles (CA), aún cuando de baja cuantía, casi duplica al obtenido en café sin sombra (CS). El tratamiento CA también presenta un alto contenido de esqueleto y además una estructura migajosa, es decir, una mayor porosidad que facilitaría la infiltración; sin embargo, el alto contenido de hojarasca que se deposita en la superficie del suelo de este tratamiento, aunado al alto gradiente de la pendiente, podría inducir a que una parte del agua de lluvia escurra entre la hojarasca sin que alcance la superficie del suelo.

Pérdida de suelo

Para el período total de observación, la mayor pérdida de suelo se registró en el tratamiento barbecho desnudo (BD) con 1,1 kg/ha por milímetros de precipitación, este valor se considera muy bajo si se compara con reportes de parcelas desnudas que han servido como testigo en otros experimentos. El-Hassanin et al. (1993) reportó una pérdida de suelo de 388 kg/ha por milímetros de precipitación en barbecho con 12 % de pendiente, en parcelas de 10 m de largo y en un período de un año; Rodríguez et al. (1995) indican una pérdida de suelo en parcela desnuda de 96.000 kg/ha en pendientes de 15 % en un período de seis meses; Páez y Rodríguez (1995) reportan una pérdida de suelo de 572.700 y 31.100 kg/ha en parcelas desnudas con 15 y 4 % de pendiente respectivamente; Urbina y Rodríguez (1995) reportan pérdidas de suelo de 22.740 kg/ha en un período de cuatro meses.

En el barbecho desnudo (BD), los valores bajos en pérdida de suelo en esta investigación se atribuyen, en primer lugar, al bajo volumen de escurrimiento producto de registros relativamente bajos de lámina precipitada durante el período marzo - noviembre del año 1995 y, en segundo lugar, al efecto residual de enlazamiento, una vez eliminada la vegetación arbustiva y herbazal que existía en el área antes de instalar las parcelas. La malla de raíces se fue eliminando con cada deshierbe realizado. Esta condición supone una disminución en el volumen escurrido y por lo tanto menores pérdidas de suelo, sobre todo en las primeras etapas, las cuales fueron aumentando al final del período de observación, en la medida que disminuía la malla de raicillas presentes en la superficie de las parcelas, y además, debido a la disgregación de las partículas de suelo que al mezclarse con el agua del escurrimiento, obstruyen los poros disminuyendo la velocidad de infiltración (Kirkby y Morgan, 1984).

En cuanto a los agroecosistemas de café, el orden decreciente de la pérdida de suelo fue $CN < CS < CA$. Los resultados obtenidos son similares a los presentados por Urbina y Rodríguez (1995), quienes, para una lámina de 174 mm y un EI30 de 557,9 Mj.mm/ha.h, reportan pérdidas de suelo en bosque natural (70 % de pendiente) de 40 kg/ha; en pasto (36 % de pendiente) 350 kg/ha; en durazno sin barrera (42 % de pendiente) 740 kg/ha. Sin embargo, los resultados en la presente investigación pueden considerarse bajos, ya que los mismos se obtuvieron para una lámina de 822,5 mm y un EI30 de 4892 Mj.mm/ha.h.

Los tratamientos CN y CS registraron similares pérdidas de suelo debido al efecto que ejerce el material de deshierbe (superior en volumen en el tratamiento CS) que al dejarlo en la superficie como un mantillo orgánico, controla el escurrimiento y la pérdida de suelo. Estudios sobre este aspecto han realizado diversos investigadores (Maass et al. , 1993; Roose, 1993; Fernández, 1995; Páez y Rodríguez, 1995; Urbina y Rodríguez 1995 y otros) concluyendo que los residuos en superficie reducen marcadamente las pérdidas de suelo por erosión hídrica. Igualmente, los biocanales formados por el helecho (*Achrostium* sp), y la pedregosidad presente en el perfil de estos suelos permiten una mayor infiltración y por lo tanto una menor pérdida de agua, controlando a la par la erosión por escurrimiento del agua de lluvia sobre el suelo. Vahrson y Cervantes (1991) reportan pérdidas de suelo en parcelas de café sin sombra de 168 kg/ha en pendientes entre 56 y 59 % y una pluviosidad de 2092 mm, indicando que esos valores tan bajos se deben a valores muy bajos de escurrimiento.

El tratamiento café con árboles (CA) logró controlar en buena medida la erosión; en este tratamiento se presenta una cobertura de hojarasca que varía entre 3 y 15 cm de espesor y abundante pedregosidad en la superficie del terreno, condición que impide el golpeteo directo al suelo de las gotas de lluvia o de las gotas de agua caídas desde la copa de los árboles. Cuando ocurren láminas bajas de precipitación se produce un escurrimiento del agua a través de la

hojarasca, sin que llegue muchas veces a la superficie del suelo; estas condiciones pudo influir en una menor pérdida de suelo.

El tratamiento café sin sombra (CS) registra una pérdida de suelo superior (38 %) que el tratamiento café con árboles (CA), motivado, en parte, a la menor eficiencia contra el escurrimiento y el proceso erosivo que ejerce el mantillo orgánico presente en CS; este mantillo se desintegra más rápidamente por efecto de la exposición solar a la cual se encuentra sometido, lo que permite que parte del agua que no infiltre, aunado al alto gradiente de la pendiente, escurra e incremente las pérdidas de suelo. Por el contrario, en el tratamiento CA el mantillo permanece bajo sombra y su descomposición es más lenta, permitiendo un efecto amortiguador contra la pérdida de suelo, ya que, como se señaló anteriormente, parte del agua escurre entre el mantillo.

La combinación café con árboles (CA) resultó la más eficiente para contrarrestar la erosión hídrica, comportándose en esta primera etapa de evaluación un 56 % más efectiva que el barbecho desnudo, un 40 % más efectiva que el café con frutales y un 37 % más efectiva que el café sin sombra. Vahrso y Cervantes, (1991) reportaron pérdidas de 1364 kg/ha en parcelas de café con sombra de árboles maderables y frutales, en pendientes entre 56 y 59 % y una precipitación de 2092 mm. Dichos autores indican que la pérdida de suelo observada en las parcelas de café con árboles se debe a un mayor escurrimiento provocado por una menor conductividad hidráulica del suelo.

Las mayores pérdidas de suelo < 2 mm ocurren en los tratamientos barbecho desnudo y café con frutales, los cuales contienen el menor porcentaje de esqueleto grueso, y además, registran los valores más altos de escurrimiento, lo que pudo haber facilitado el transporte de las partículas de suelo. Los mayores porcentajes de esqueleto grueso se presenta en los tratamientos CA y CS, esta condición supone un aumento en las tasas de infiltración y una disminución del escurrimiento, y por ende, menor cantidad de sedimentos transportados.

Los bajos registros en las pérdidas de suelo en los diferentes tratamientos pudo estar limitada por la cantidad de lluvia y escurrimiento, lo cual debido al relativamente corto período de observación, no refleja el efecto de la erosividad de las lluvias, la pendiente y las características de esos suelo sobre la erosión hídrica. Es importante señalar que las parcelas experimentales establecidas para esta investigación se seguirán evaluando por un período de tres años, a los fines de obtener información más valedera en cuanto a las bondades y limitaciones que los agroecosistemas estudiados tienen sobre la erosión hídrica.

ESTIMACIÓN DE LA PERDIDA DE SUELO APLICANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO (USLE)

Las estimaciones de pérdida de suelo fueron realizadas en cada una de las parcelas experimentales, para las cuales se obtuvieron valores promedio para el período marzo - noviembre de 1995. En los Apéndices F1 a F9 se presentan los cálculos de cada uno de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo y en el Cuadro 6 se presenta, por tratamiento, el resumen de los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros de la ecuación y el valor estimado de la pérdida de suelo.

**Cuadro 6. Cálculo de la Ecuación Universal de
Pérdida de Suelo USLE**

Período marzo - diciembre de 1995.

TRATAMIENTO	PARCELA	FACTOR R Mj*mm/ha*h	FACTOR K t/ha/Mj*mm/ha*h	FACTOR LS	FACTOR C	PERDIDA DE SUELO t/ha
BARBECHO DESNUDO	1	4547	0,01129	3,408	0,315	55,127
	2	4547	0,01436	3,358	0,315	69,074
	3	4547	0,01452	3,237	0,315	67,326
	PROMEDIO	4547	0,01337	3,331	0,315	63,781
CAFE CON ARBOLES	1	4547	0,00577	3,951	0,00573	0,594
	2	4547	0,00516	3,587	0,00507	0,428
	3	4547	0,00415	4,825	0,0039	0,356
	PROMEDIO	4547	0,00514	3,998	0,0049	0,458
CAFE CON FRUTALES	1	4547	0,01633	4,004	0,00843	2,506
	2	4547	0,01779	4,018	0,00639	2,077
	3	4547	0,01667	3,863	0,0095	2,782
	PROMEDIO	4547	0,01695	3,964	0,00811	2,478
CAFE SIN SOMBRA	1	4547	0,01230	4,045	0,0102	2,308
	2	4547	0,01454	3,338	0,0074	1,633
	3	4547	0,01090	4,072	0,0063	1,271
	PROMEDIO	4547	0,01256	3,823	0,00797	1,740

Factor de erosividad de la lluvia EI30

El valor obtenido de EI30 para eventos mayores de 10 mm y para el periodo de la investigación (nueve meses) fue de 4585, considerado moderadamente bajo según la clasificación de riesgos de erosión presentada por Páez (1989).

El EI30 es un índice de lluvia apropiado para estimar el potencial erosivo de la lluvia (Páez y Rodríguez, 1989). Sin embargo, es de hacer notar que se incurre en errores en las estimaciones de pérdida de suelo, cuando se utilizan índices

que deben ser aplicados para largos períodos de tiempo y no para un año en particular ni para tormentas individuales, debido a la variabilidad que existe en la distribución de las lluvias a través del tiempo.

Fullen (1985) hace referencia a los bajos umbrales de erosividad de la lluvia propuestos por varios autores con base en sus investigaciones. Morgan (1878) sugiere que 10 mm/h son necesarios para producir desprendimientos en suelos arenosos; Richter y Negendank (1977) señalan que 6 mm/h causan erosión en viñedos ubicados en tierras inclinadas; Fullen y Reed (s/f) indican que se requieren 2 mm/h para iniciar la erosión en suelos arcillosos taponados; Reed (1979) indica que lluvias con intensidades tan bajas como 1 mm/h son erosivas en suelos arables compactados. Por lo tanto, se estima que las intensidades de las lluvias erosivas varía entre 24.4 y 1 mm/h, lo cual supone que el poder erosivo de la lluvia no solo depende de las características de las tormentas, sino también de las características y condiciones en que se encuentra un determinado suelo donde ocurren las mismas.

Una situación interesante se presenta en la Etapa VI (Cuadro 2) donde, con respecto a la etapa V, hubo un incremento en la precipitación en un 167 %, mientras la erosividad de la lluvia EI30 se incrementó en 1071 %, o sea 11 veces más. Sin embargo, aunque el porcentaje de lluvia escurrida se incrementó entre un 282 y 400 %, la pérdida de suelo se mantuvo casi igual a excepción del tratamiento café sin sombra CS donde, por el contrario, disminuyó un 43 %. Esta situación pone en evidencia que la pérdida de suelo no solo depende de las características de las lluvias, sino también, de los cambios físicos que ocurren en la superficie del suelo como son la compactación del suelo por efecto del pisoteo durante la cosecha y el incremento en la cobertura al ras del suelo. Igualmente pudo influir, en los bajos registros de pérdida de suelo en dicha etapa, los contenidos de humedad antecedente y/o los efectos de lluvia acumulada en la superficie del suelo, así como también, la textura y presencia de fragmentos gruesos (McIsaac et al., 1987).

Factor de erosionabilidad del suelo K

Los valores estimados de erosionabilidad del suelo se consideran, según la clasificación de riesgos de erosión, (Páez, 1989), muy bajos en el tratamiento café con árboles y bajos en los demás tratamientos. Lal (1988) señala que los valores obtenidos del factor K a través del nomograma de Wischmeier y Smith (1978) son poco confiables debido que fue realizado tomando en consideración pocos tipos de suelo de EE.UU. (Lal, 1988). Páez (1985) señala que con el uso del nomograma se aprecia una sobrestimación en suelos de baja erosionabilidad y una subevaluación en los de alta erosionabilidad. Otro aspecto importante es que el nomograma no toma en cuenta la presencia de fragmentos gruesos, abundantes en estos suelos.

Factor longitud y gradiente de la pendiente LS

Un aspecto importante en la determinación del factor LS es la forma de la pendiente, por tal motivo se realizó un levantamiento altimétrico dentro de cada parcela para observar la variación en la forma de la pendiente; las mismas resultaron uniformes dentro de cada parcela.

El valor del factor LS obtenido (entre 3 y 4) se considera alto debido a la influencia que ejerce el gradiente de la pendiente las cuales varían entre 33 y 47 %. McIsaac et al. (1987) señalan que las estimaciones realizadas con la USLE sobrestiman el efecto de inclinación de la pendiente

Factor de cobertura y manejo C

El grado de protección de la cobertura (CP de uso) es extremadamente alto en los agroecosistemas del cultivo de café, según la clasificación de riesgos de erosión (Páez, 1989), lo que supone bajos riesgos de erosión de estos agroecosistemas.

Factor de prácticas de medida de control de la erosión P

El factor P de la USLE se toma como la unidad por considerarse que no existe en los agroecosistemas estudiados, ninguna práctica predeterminada para este factor. Sin embargo, es importante señalar que en los agroecosistemas del cultivo de café se construye un pequeño hoyo (15 cm), en forma de media luna, detrás de cada planta de café para colocar el fertilizante; estos hoyos representan una serie de pequeños peldaños que suponen una intercepción tanto del escurrimiento como de la erosión. Esta condición puede influir en las menores pérdidas medidas que las estimadas a través de la USLE.

En el Cuadro 7 se presentan los valores de pérdida de suelo obtenidos de las estimaciones realizadas a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE y los resultados obtenidos de las mediciones en campo, para cada uno de los tratamientos evaluados durante el período marzo - noviembre de 1995.

**Cuadro 7. Comparación de los
valores de Pérdida de Suelo
Estimados a través de la USLE y
los Medidos en Campo.**

TRATAMIENTOS	PERDIDA DE SUELO	
	ESTIMADO kg/ha	MEDIDO kg/ha
BARBECHO DESNUDO	63781	887.8
CAFÉ CON ARBOLES	458	390.9
CAFÉ CON FRUTALES	2478	646.65
CAFÉ SIN SOMBRA	1740	627.52

El valor estimado en el tratamiento barbecho desnudo, es 72 veces mayor que el valor medido en campo; en los tratamiento café con frutales y café sin sombra lo supera 2.8 veces, mientras que, en el tratamiento café con árboles los valores son prácticamente iguales.

Los resultados obtenidos a través de estimaciones realizadas con la USLE para los agroecosistemas de café, pueden considerarse bastante aceptables; debido a que difieren poco de los resultados obtenidos por mediciones en campo. Sin embargo, es importante señalar que las estimaciones realizadas con la USLE en la presente investigación, pudieran estar afectadas por: (1) el corto período de tiempo considerado para las estimaciones (nueve meses), ya que la USLE fue desarrollada para obtener predicciones de promedios anuales, (2) por aplicar la ecuación en condiciones diferentes a las condiciones bajo las cuales la USLE fue desarrollada, tal es el caso del factor S donde se utilizó la ecuación de McCool, la cual fue obtenida con base al estudio de rangos de inclinación entre 0,1 y 32 %, mientras que los rangos de inclinación en la presente investigación

están entre 33 y 47 %, y (3) por las fuentes de errores en que se podría estar incurriendo al realizar las estimaciones de los factores K y C.

Los valores obtenidos en el tratamiento barbecho desnudo (BD) difieren notablemente de los valores medidos en campo, esta diferencia pudo ocurrir por el efecto "residual de enlazamiento" que se produce por las raíces finas y el material vegetal que queda en la superficie del suelo, cuando se cambió la condición de uso de la tierra de matorral a barbecho desnudo; esta condición hace que la erosión inmediatamente después de la labranza sea menor que la que sería dos o tres años después (Dissmeyer y Foster, 1981).

La presente investigación se tiene prevista para un período de tres años, por lo que en la actualidad se continúa con la recolección de datos en las parcelas experimentales; esto ha permitido observar un incremento considerable en la pérdida de suelo que ocurre en el tratamiento barbecho desnudo (BD), con precipitaciones de similares láminas e intensidades a las ocurridas en el primer año de observación, lo que corrobora lo expuesto anteriormente.

Análisis estadístico

Análisis de varianza y Prueba de Significancia de Duncan

En los Cuadros 4 y 5 se presenta el resumen del análisis de varianza y de la prueba de significancia de Duncan para los tratamientos evaluados. Los Apéndices E1 a E6 presentan los resultados del análisis de varianza y prueba de significancia de Duncan por etapas y para el período total de la investigación.

El análisis de varianza para las variables pérdida de suelo total, pérdida de suelo < 2 mm y lámina escurrida, en la primera, segunda y tercera etapa resultó con diferencias no significativas estadísticamente, a un nivel del 5 %.

Cuadro 4. Resumen del Análisis de Varianza por Etapas y Total, para los Tratamiento Evaluados.
Variables Pérdida de Suelo Total, Pérdida de suelo < 2 mm y Lámina Escurrida.
Período marzo- noviembre de 1995.

VARIABLES	ETAPAS							TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	
	F	F	F	F	F	F	F	
PÉRDIDA DE SUELO TOTAL	0,11 ns	0,32 ns	0,35 ns	6,29 *	18,61 **	3,31 ns	24,45 **	10,15 **
PÉRDIDA DE SUELO < 2 mm	0,26 ns	0,90 ns	2,75 ns	11,46 **	23,56 **	3,92 ns	43,09 **	20,52 **
LÁMINA ESCURRIDA	1,14 ns	1,92 ns	2,07 ns	24,90 **	2,73 ns	0,14 **	4,98 *	37,51 **

- ** Estadísticamente significativo a un nivel de Probabilidad del 1 %
 * Estadísticamente significativo a un nivel de Probabilidad del 5 %
 ns Estadísticamente no significativo a un nivel de Probabilidad del 5 %

Cuadro 5. Resumen de la Prueba de significancia de Duncan para los Tratamiento Evaluados.
Variables Pérdida de Suelo Total, Pérdida de suelo < 2 mm y Lámina escurrida
Período marzo- noviembre de 1995.

VARIABLES	ETAPAS							TOTAL
	1	2	3	4	5	6	7	
PÉRDIDA DE SUELO TOTAL	(CN CS BD CA)	(CS CN CA BD)	CS BD CN CA	(BD CS) (CN CA)	BD (CN CS) CA	BD CN (CS CA)	BD (CN CA CS)	BD (CN CS) CA
PÉRDIDA DE SUELO < 2 mm	(CN BD CS CA)	(CN BD CA CS)	BD (CN CA) CS	BD (CN CS CA)	BD (CN CS) CA	BD CN (CS CA)	BD CN CA CS	BD CN CS CA
LÁMINA ESCURRIDA	(CN CA BD CS)	(CN CA BD CS)	BD (CA CN) CS	BD (CN CA CS)	(BD CN CA CS)	BD (CN CA CS)	(BD CN) CA (CS)	BD (CN CA) CS

BD = Barbecho destruido
 CA = Café con árboles
 CN = Café con frutales
 CS = Café sin sombra

Los tratamientos están ordenados de mayor a menor y los que se encuentran entre paréntesis significa que no hay diferencias importantes de los Tratamientos estudiados sobre la Variable en referencia.

Análisis de correlación

Las correlaciones se realizaron entre las variables dependientes pérdida de suelo total, pérdida de suelo < 2 mm y lámina escurrida en función de la precipitación, lámina escurrida, intensidad máxima en 30 minutos (I30) y la erosividad de la lluvia (EI30) (Apéndices C1, C3 y D).

Se contrastaron pares de valores entre las variables señaladas anteriormente, por tratamiento y para el período total de observación; los resultados se presentan en el Apéndice E7.

Las correlaciones entre la variable pérdida de suelo total vs precipitación, lámina escurrida, I30 y EI30, para los tratamientos barbecho desnudo, café con árboles y café con frutales, resultaron con valores bajos en los coeficientes de correlación ($0,295 < r < 0,546$) lo que indica el bajo control que dichas variables tienen sobre la pérdida de suelo, aunque dichas correlaciones son significativas estadísticamente. Ello puede asociarse a la protección que ejerce la cobertura vegetal al suelo y a las características físicas y químicas de los mismos, igualmente, a las labores de manejo que permitieron una mayor tasa de infiltración, un menor volumen de escurrimiento y por ende, menor transporte de sedimentos. En el tratamiento café sin sombra, las correlaciones entre la pérdida de suelo y las demás variables resultaron no significativas; esto pudo deberse a que la pérdida de suelo en este tratamiento es mayormente controlada por las características de la vegetación y del suelo analizadas anteriormente.

La pérdida de suelo < 2 mm presenta un comportamiento similar al de la pérdida de suelo total, en este caso se obtienen correlaciones significativas en todos los tratamientos a excepción del café sin sombra; pero los valores de los coeficientes de correlación son bajos ($0,639 < r < 0,611$), lo que indica que si existe una débil asociación entre las variables precipitación, lámina escurrida, I30 y EI30 con la pérdida de suelo < 2 mm. La baja correlación entre estas variables

pudo deberse a la efectiva protección que ejerce la cobertura vegetal, tanto aérea como al ras del suelo, existente en los agroecosistemas del cultivo de café estudiados; lo que permite una mayor infiltración y menor volumen de escurrimiento, controlando así el proceso erosivo del suelo. Otra causa importante son las altas tasas de infiltración que presentan los suelos del área y los bajos registros en los volúmenes escurridos, debido a las bajas láminas precipitadas durante el período de evaluación; esto limita su poder erosivo y su capacidad para transportar las partículas de sedimentos pendiente abajo.

La lámina escurrida vs precipitación y vs EI30 obtuvieron los valores más altos de los coeficientes de correlación ($0,703 < r < 0,826$), lo que indica, lógicamente, que existe una relación alta entre las variables señaladas. Lámina escurrida vs I30 resultó con bajos valores en los coeficientes de correlación ($0,596 < r < 0,683$) lo que indica que la relación entre esas variables es débil aunque las correlaciones son significativas.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A través del análisis de información recabada en esta primera etapa de la investigación se pueden establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- El cultivo de café con árboles (CA) muestra la mayor eficiencia para contrarrestar la erosión hídrica siendo, un 56 % más efectivo que el barbecho desnudo (BD), un 40 % más efectivo que el café con frutales (CN) y un 37 % más efectivo que el café sin sombra (CS).
- Los bajos valores en volúmenes de escurrimiento registrados, estuvieron influenciados por las bajas láminas precipitadas durante el período de observación, la poca ocurrencia de lluvias realmente erosivas y las altas tasas de infiltración que presentan los suelos en los diferentes tratamientos.
- Las condiciones físicas de los suelos, asociadas a los altos contenidos de esqueleto grueso, presencia de los biocanales producidos por las raíces de helecho (Achrostium sp), muy abundante en las plantaciones de café sin sombra, son inductoras de altas tasas de infiltración de agua en el suelo. A esta situación se atribuyen las menores tasas de escurrimiento que se observan en el café sin sombra.
- Los valores de escurrimiento y pérdidas de suelo obtenidos en el tratamiento barbecho desnudo son muy bajos (887,8 kg/ha) si se comparan con los reportados por otros investigadores en parcelas similares. Los resultados pudieron verse afectados por el efecto residual de enlazamiento de la vegetación arbustiva y herbazal que existía antes de instalar las parcelas; efecto

que disminuyó al final del período de observación, debido a los deshierbes periódicos que se realizaron en las mismas.

- Las mayores pérdidas de suelo registradas en los tratamientos barbecho desnudo (76 %) café con frutales (65 %) y en café con árboles (50 %) corresponden a partículas menores a 2 mm, lo que pudiera asociarse con mayores riesgos de pérdidas de nutrientes.
- Los mayores volúmenes de escurrimiento y las mayores pérdidas de suelo se relacionan no solo con la cantidad de lluvia precipitada, su intensidad y energía; sino también con las labores de manejo que se realizan en los agroecosistemas del cultivo de café. El mayor escurrimiento coincide con la labor de cosecha, posiblemente debido a la compactación que se produce en el suelo por efecto del pisoteo. Las mayores pérdidas de suelo coinciden con las labores de deshierbe, debido a que las partículas de suelo quedan sueltas en la superficie del terreno facilitando su transporte por el agua de escurrimiento.
- El alto grado de protección que ejerce la cobertura vegetal, tanto aérea como al ras del suelo: herbazal, material de deshierbe, hojarasca y pedregosidad, induce a una menor pérdida de suelo y a un menor volumen de escurrimiento.
- La cobertura total (aérea y al ras del suelo) en los tratamientos con cultivo de café no presenta variaciones muy marcadas, sin embargo, si se observan diferencias en los valores de escurrimiento y pérdidas de suelo; esto revela que existen diferentes grados de eficiencia de dichas coberturas, en condiciones de suelos y pendientes similares.
- Resalta el efecto protector de la cobertura vegetal al observar que el tratamiento café con árboles (CA) localizado en las parcelas de mayor grado de pendiente (42 %), presenta cantidades de pérdidas de suelo menores. A su vez los

tratamientos café con frutales (CN) y café sin sombra (CS) presentan similares gradientes de pendiente (38 y 37 % respectivamente), no obstante, los valores de pérdidas de suelo son mayores en el tratamiento CN; los mismos podrían asociarse a las diferencias de cobertura asociadas al manejo. Sin embargo, la baja agregación del suelo en el tratamiento café con frutales, debido al menor contenido de arcilla y mayor tenor de arena, aunada con un menor contenido de materia orgánica, es condición que facilita el desprendimiento y arrastre de las partículas de suelo por el escurrimiento

- En general, se puede considerar que existe poca variabilidad entre las características de los suelos de los diferentes tratamientos, destacándose que, entre las características medidas u observadas a nivel de campo y laboratorio que podrían afectar el proceso de erosión hídrica se encuentran los altos porcentajes de esqueleto grueso y el alto contenido de materia orgánica, los cuales se relacionan con altas tasa de infiltración y por ende menores valores de escurrimiento y de pérdida de suelo por erosión hídrica
- La evaluación de prácticas agroforestales o con cultivos arbustivos requieren de parcelas de gran tamaño, lo cual es un factor limitante en tierras montañosas, debido a los cambios bruscos que se suceden en los gradientes y longitudes de la pendiente y en las características del suelo
- El corto período de observación constituye una limitante para la obtención de resultados más confiables en cuanto a los volúmenes de escurrimiento y a las pérdidas de suelo que ocurren en los agroecosistemas del cultivo de café evaluados. Al respecto hay que considerar que se trata de un proyecto de investigación de tres años de duración, del cual el presente trabajo constituye la fase inicial.

- En relación a la comparación entre las estimaciones con la USLE y las mediciones en campo de las pérdidas de suelo, no se puede considerar que el error afecta solamente las estimaciones, al calcular los valores para los diferentes factores con referencia a una limitada base de datos, sino también que las mediciones de campo, producto de esta primera fase de evaluación, no son suficientes para describir los procesos en forma global, aparte de los errores de medición que pudieron cometerse. De aquí que con la base de datos disponible dicha comparación no resulte adecuada. Es el caso de la diferencia tan marcada entre los valores estimados y medidos para el barbecho desnudo, donde las mediciones en campo se vieron muy afectadas por las condiciones en que se encontraba dicho tratamiento durante esta fase inicial de la investigación.
- Tal como previsto, se requiere continuar con las mediciones de campo a los fines de obtener información valedera acerca del comportamiento de los diferentes agroecosistemas del cultivo de café, frente al control de la erosión hídrica y el mantenimiento de la productividad.

www.bdigital.ula.ve

BIBLIOGRAFÍA

ATAROFF M. and M. MONASTERIO. 1996. Changes in soil erosion related to the management of coffee cultures in the Venezuelan Andes. En I. Pía, R. López y D. Lobo (eds.). Soil Erosion Processes on Steep Land Evaluation and Modelling. International Soil Conservation Society. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. Maracay, Venezuela.

BARRADAS, V. L. y L. FANJUL. 1984. La importancia de la cobertura arbórea en la temperatura del agroecosistema cafetalero. Biotica 4: 415-421.

BERGSMAN, E.. 1985. Classes of relief susceptibility for surface erosion. En: S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer y A. Lo (eds.). Soil Erosion and Conservation. Soil Cons. Soc. Amer. Ankeny, Iowa, U.S.A.

BRICEÑO, M. E., G. CASTILLO y S. PARRA. 1994. Estudio de conservación de suelos y aguas en la subcuenca "Río Moco" en la cuenca del Río Motatán, Municipio Trujillo Edo. Trujillo. Trabajo de Pasantía. Núcleo Universitario "Rafael Rangel". Universidad de los Andes, Trujillo Venezuela.

BRUBAKER, S. C., A. J. JONES, D. T. LEWIS and K. FRANK. 1993. Soil Properties Associated with Landscape Position. Soil Sci. Soc. Am. J. 57: 235-239.

CAMPBELL, B. M., P. FROST, J. A. KING, M. MAWANZA and L. MHLANGA. 1995. The influence of trees on soil fertility on two contrasting semi-arid soil types at Manopo, Zimbabwe. Agroforestry Systems. 28: 159-172.

CALDERA, S. y B. PEÑA. 1996. Determinación de pérdidas de suelo en parcelas experimentales de erosión ubicadas en el sector Quebrada de Ramos, Microcuenca Quebrada de Ramos, Subcuenca Río Castán, Estado Trujillo. Proyecto de Grado. Núcleo Universitario "Rafael Rangel". Universidad de Los Andes, Trujillo, Venezuela

CASTRO, C. D., T. M. ZOBECK and T.J. LOGAN. 1987. Evaluation of soil slope and gradient factors using topographic maps and soil survey reports. En: I. Pla (ed.). Soil Conservation and Productivity. Proceedings IV International Conference on Soil.

CORTES, A. y D. MALAGON. 1983. Los levantamientos de suelos y sus aplicaciones multidisciplinarias. Serie SC-58 C.I.D.I.A.T., Mérida.

DETAR, W. R., J. J. ROSS and R. Y. CUNNINGHAM. 1980. Estimating the C-factor in the universal soil loss equation for landscaped slopes. J. Soil Water Cons. 35: 40-41.

DISSMEYER, G. E. and G. R. FOSTER. 1981. Estimating the cover-management factor (C) in the universal soil loss equation for forest condition. J. Soil Water Cons. 36: 235-240.

———. 1985. Modifying the universal soil loss equation for forest land. En S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer y A. Lal (eds.) Soil Erosion and Conservation. Soil Cons. Soc. Amer. Ankeny, Iowa, U.S.A..

DHARMASENA, P. B.. 1994. Conservation farming practices for small reservoir watersheds: a case study from Sri Lanka. Agroforestry Systems. 28: 203-212.

ELWELL, H. A. and M. A. STOCKING. 1982. Developing a simple yet practical method of soil loss estimation. Trop. Agric. (Trinidad). 59: 43-48.

EL-HASSANIN A. S., T. M. LABIB and E. I. GABER. 1989. Effect of vegetation cover and land slope on runoff and soil losses from the watersheds of Burundi. Agriculture, Ecosystems and Environment. 43: 301-308.

FASSBENDER, H. W.. 1993. Modelos Edafológicos de Sistemas Agroforestales. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Turrialba, Costa Rica.

F.A.O.. 1967. La Erosión del Suelo por el Agua. Cuaderno de Fomento Agropecuario N° 81.

FERNANDEZ N.. 1989. Evaluación de prácticas de conservación de suelos en cultivos. Rev. alcace, Maracay. 37: 87-96.

FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. 1990. Manual de laboratorio para el análisis de suelo. FONAIAP. Maracay, Venezuela.

FOSTER, G. R., L. D. MEYER and A. ONSTAD. 1977. A runoff erosivity factor and variable slope length exponents for soil loss estimates. Trans. ASAE 20(4): 683-687.

FOSTER, R. G. and H. W. WISCHMEIER. 1974. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. Trans. ASAE . 17: 305-309.

FULLEN, M. A.. 1985. Erosion of arable soils in Britain. Intern. J. Environmental Studies. 26 55-69.

FUMERO S. y R. LOPEZ. 1991. Efecto de la erosión sobre la productividad de suelos agrícolas en los Andes Venezolanos. I: Influencia de la remoción de suelo superficial y aplicación de abonos. XI Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Coro, Venezuela.

GREWAL, S. S., S. P. MITTAL, D. SURJIT and Y. AGNIHOTRI. 1992. Agroforestry systems for soil and water conservation and sustainable production from foothill area north India. Agroforestry Systems. 17: 183-192.

HOLGUÍN, F. y L. HAYASHI. 1993. Estadística. Elementos de muestreo y correlación. Edit. DIANA, México.

KIRKBY, M. J. y R. P. MORGAN. 1984. Erosión de Suelos. LIMUSA, México.

LAL, R.. 1989. Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol. II: Water runoff, soil erosion and nutrient loss. Agroforestry Systems. 8: 97-112.

----- Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: III: Changes in soil chemical properties. Agroforestry Systems. 8: 113-132.

----- Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: IV. Effects on soil physical and mechanical properties. *Agroforestry Systems*. 8: 197-215.

----- Agroforestry systems and soil surface management of a tropical alfisol: V. Water infiltrability, transmissivity and soil water. *Agroforestry Systems*. 8: 217- 238.

LISAZO J.. 1980. Erosión laminar bajo diferentes coberturas y pendientes en un Palehumult de las cuencas altas del programa Guanare-Masparro. CIDIAT. Mérida, Venezuela.

LOPEZ R. y S. FUMERO. 1991. Efecto de la erosión sobre la productividad de suelos agrícolas de los Andes Venezolanos. II: Estudio en invernadero de la calidad como sustrato de diferentes horizontes del suelo. XI Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Coro, Venezuela.

MASS, J. M., C. F. JORDAN and J. SARUKHAN. 1988. Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques. *J. of Applied Ecology*. 25: 595-607.

McCOOL, D. K., L. C. BROWN, G. R. FOSTER, C. K. MUTCHER, and L. D. MEYER. 1987. Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. *Trans. ASAE* 30: 1387-1396.

McISAAC, G. F., J. K. MITCHELL and M. C. HIRSCHI. 1987. Slope steepness effects on soil loss from disturbed lands. *Trans. ASAE* 30: 1005-1013.

MONTENEGRO, H. y D. MALAGÓN. 1990. *Propiedades Físicas de los Suelos*. I.G.A.C. Subdirección Agrología, Bogotá, Colombia.

MUTCHLER C. K., C. E. MURPHREE and K. C. MCGREGOR. 1988. Laboratory and field plots for soil erosion studies. En: Lal R. (ed.). *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society, E.U.A.

NEARING, M. A., G. R. FOSTER, L. J. LANE and S.C. FINKNER. 1989. A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project Technology. Trans. ASAE. 32:1587-1593.

NEARING M. A., L. J. LANE, E. E. ALBERTS and J.M. LAF. 1993. Prediction technology for soil erosion by water. Status and research needs. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 1702-1711.

OLSON, K. R., R. LAL and L. D. NORTON. 1994. Evaluation of methods to study soil erosion-productivity relationships. J. Soil and Water Cons. 49: 586-590.

OLSON, K. R., L. D. NORTON, T.E. FENTON, and R. LAL. 1994. Quantification of soil loss from eroded soil phases. J. Soil and Water Cons. 49: 591-596.

PADOVANO, C.. 1994. Estudio de conservación de suelos de la microcuenca "Qda. de Ramos" Municipio Trujillo, Edo. Trujillo. Proyecto de Grado. Núcleo Universitario "Rafael Rangel". Universidad de Los Andes, Trujillo, Venezuela.

PÁEZ, M. L.. 1985. Evaluación de la Erodabilidad y de la Eficiencia de índices de Erodabilidad en suelos Agrícolas de Venezuela. Comisión de Estudios pro Graduados. Curso de Postgrado en Ciencias del Suelo. Facultad de Agronomía U.C.V., Maracay, Venezuela.

----- 1989. Riesgos de erosión hídrica y alternativas de conservación de suelos en tierras agrícolas del Valle Medio del Río Yaracuy. Rev. Alcance, Maracay. 37:113-136.

----- 1991. Consideraciones metodológicas sobre la USLE para mejorar su poder predictivo y la calidad de la información básica generada para su utilización. En: R. A. López y M. L. Páez (eds.). Metodología de Evaluación e Investigación de la Erosión del Suelo y su Impacto en la Productividad y en el Ambiente. SC-70, CIDIAT. Mérida, Venezuela.

PAEZ, M. L. y O. S. RODRIGUEZ. 1989. Factores de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo en Venezuela. Rev. alcance, Maracay. 37: 22-31.

----- 1995. Eficiencia de diferentes sistemas en el control de la erosión. Rev. alcance, Maracay. 47:13-28.

PEARSON, H. A.. 1995. Agroforestry in the interior highlands. *Agroforestry Systems* 29: 181-189.

PEREZ, U.. 1989. Evaluación del efecto de la cobertura del cultivo de papa y del pasto kikuyo sobre la erosión de los suelos bajo prácticas agronómicas de manejo comunmente aplicadas en la región andina venezolana. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes, Mérida.

PEREZ, U. y R. LOPEZ. 1993. Evaluación de la erosión hídrica en un suelo de los Andes Venezolanos Bajo cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) y pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov.). XI Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Guanare, Venezuela.

PELLEK, R.. 1992. Countour hedgeows and ather soil conservation interventions for hilly terrain. *Agroforestry Systems*. 17: 135-152.

PEARSON, H. A.. 1995. Agroforestry in the interior highlands. *Agroforestry Systems*. 29:181-189.

PLA, I.. 1991. Limitaciones y perspectivas en el estudio y evaluación de los procesos y efectos de la erosión hídrica. En R. A. López y M. L. Páez (eds.) *Metodología de Evaluación e Investigación de la Erosión del Suelo y su Impacto en la Productividad y en el Ambiente*. SC-70. CIDIAT, Mérida, Venezuela.

RAINTREE, J. B.. 1987. The state of the art of agroforestry diagnosis and design. *Agroforestry Systems*. 5: 219-250.

RENARD, K. G., G. R. FOSTER, D. C. YODER and D. K. McCOOL. 1994. RUSLE revisited: Status, questions, answers and the future. *J. Soil Water Cons.* May-june.

RISSE L. M., M. A. NEARSING, A. D. NICKS and J. M. LAFLEN. 1993. Error assessment in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 825-833.

RODRÍGUEZ, O., N. FERNÁNDEZ y A. FERNÁNDEZ. 1995. Evaluación de la erosión en una secuencia zanahoria-lechuga con diferentes prácticas de manejo. Rev. alcance, Maracay. 47:49-62.

RODRIGUEZ, O. S. y M. L. PAEZ. 1989. Efectos de la labranza y los residuos en superficie sobre la erosión hídrica. Rev. alcance, Maracay. 37: 73-86.

RODRÍGUEZ, O.. 1993. Hedgerows and mulch as soil conservation measures evaluated under field simulated rainfall. International Workshop Soil Erosion Processes on Steep Lands. Mérida - Venezuela may 16 - 20.

ROOSE, E. J.. 1979. Application of the Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith in West Africa. En: D. J. Greenland and R. Lal Eds.). Soil Conservation and Nanagement in the Humid Tropics. John Wiley & Sons, Londres.

----- 1993. Agroforestry , water and soil fertility management in african tropical mountains. International Workshop Soil Erosion Processes on Steep Lands. Mérida - Venezuela may 16 - 20.

ROSS, J. J., W. R. DETAL and R. L. CUNNINGHAM. 1980. Estlming the C factor in the universal soil loss equation for landscaped slopes: A fiel rating system. J. Soil Water Cons. 35: 42- 44.

RUIZ , P.. 1993. Procesos de Erosión en Campos Abandonados del Pirineo. El ejemplo del Valle de Aisa. Monografía Científica Nº 4. Geoformas Ediciones, Logroño, España.

RUSSO, R. O. and G. BUDOWSKI. 1986. Effect of pollarding frequency on biomass of Erythrina poeppigiana as a coffee shade tree. Agroforestry Systems 4: 145-162.

SALCEDO, A. R. y E. MORALES. 1994. Estudio de conservación de suelos y aguas microcuenca "Alto Castán" subcuenca del Río Castán, Edo. Trujillo. Trabajo de Pasantía Núcleo Universitario " Ratael Rangel". Universidad de Los Andes, Trujillo, Venezuela

SCHROTH, G. and J. LEHMANN. 1995. Contrasting effects of roots and mulch from three agroforestry tree species on yields of alley cropped maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 54: 89-101.

SHARMA, R., E. SHARMA and A. N. PUROHIT. 1995. Dry matter production and nutrient cycling in agroforestry systems of mandarin grown in association with Albizia and mixed tree species. *Agroforestry Systems*. 29: 165-179.

SHERR, S. J. and E. U. MÜLLER. 1990. Evaluating agroforestry interventions in extension projects. *Agroforestry Systems*. 11: 259-280.

SMITH, R. E., D. C. GOODRICH and J. N. QUINTON. 1995. Dynamic, distributed simulation of watershed erosion: The KINEROS2 and EUROSEM models. *J. Soil and Water Cons.* 50: 517-519.

STOCKING, M. A.. 1988. Assessing vegetative cover and management effects. En R. Lal (ed.) *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society, Ankeny, Iowa U.S.A.

TEKETAY, D. and A. TEGINEH. 1991. Traditional tree crop based agroforestry in coffee producing areas of Harerge, Eastern Ethiopia. *Agroforestry Systems*. 16: 257-267.

TRIESTE, J. D. and G. F. GIFFORD. 1978. Application of the Universal Equation to Rangelands on a Per-Storm Basis. *Journal of Range Management*. 33: 66-70.

URBINA, C. y O. RODRIGUEZ. 1995. Efecto de los abonos orgánicos en el control de la erosión y mejoramiento físico y químico del suelo. *Rev. alcance, Maracay*. 47-63-74

———. 1995. Evaluación de sistemas de conservación, en tierras altas bajo cultivo de trigo. *Rev. alcance, Maracay*. 47:75-87.

URIBE, A. y A. MESTRE. 1988. Efectos de la Densidad de Población y de la Disposición de los Árboles en la Producción de Café. *CENICAFE (Colombia)*. 39: 31-41.

VAHRSON, W. y C. CERVANTES. 1991. Tasas de Escorrentía superficial y Erosión Laminar en Puriscal, Costa Rica. Turrialba. 41: 396-402.

VAN ES, H. M., C. L. VAN ES and D. K. CASSEL. 1989. Application of regionalized theory to large-plot field experiments. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1178-1183.

WALPOLE, R. E. and R. H. MYERS. 1987. Probabilidad estadística para Ingenieros. 3ª Edición. Interamericana, México.

WISCHMEIER, W. H.. 1976. Use and misuse; of the universal soil loss equation. J. of Soil Water Cons. 3: 5- 9.

WISCHMEIER, W. H. and D. D. SMITH. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Agriculture Handbook N° 537. USDA- SCS, Washington OC USA.

----- 1984. The USLE: Some reflectiones. J. of Soil Water Cons. 39: 105- 107.

YODER, D. and J. LOWN. 1995. The futures of RUSLE: Inside the new Revised Universal Soil Loss Equation. J. Soil and Water Cons. 50: 484-489.

YOUNG, A.. 1989. Agroforestry for Soil Conservation. Wallingford, UK: C.A.B. International.

APÉNDICES

www.bdigital.ula.ve

APÉNDICE A

MAPA TOPOGRÁFICO DE LOS AGROECOSISTEMAS ESTUDIADOS.



APÉNDICE B

RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SUELO SUPERFICIAL POR PARCELA Y POR TRATAMIENTO.

Apéndice B. Características del suelo superficial por Parcela y por Tratamiento.

SISTEMA	PARCELA	PROF. cm	%ESQUEL. GRUESO	% a	% L	% A	CLASE TEXTURA	DENS.AP. Mg/m3	RETENC. HUMED 0,034 MPa	1,515 MPa
BARBECHO DESNUDO	B1	24,67	24,29	34,3	30,7	35,0	F.A	1,50	29,71	21,19
	B2	24,67	25,16	38,3	33,3	28,3	F.A	1,27	29,41	21,01
	B3	21	28,26	36,3	34,0	29,7	F/F.A	1,46	30,39	21,12
	media	23,4467	25,90	36,3	32,7	31,0	F.A	1,41	29,84	21,11
CAFE CON ARBOLES	CA1	13,29	39,32	35,6	30,9	33,6	F.A	1,46	27,57	17,25
	CA2	12,71	48,94	41,3	31,7	27,0	F	1,40	28,37	19,02
	CA3	16,86	56,99	51,6	27,1	21,3	Fa/FAa	1,40	25,29	14,42
	media	14,2967	48,42	42,8	29,9	27,3	FA	1,42	27,08	16,90
CAFE CON FRUTALES	CN1	20,14	44,84	42,4	34,3	23,3	F	1,54	29,05	18,03
	CN2	16,57	33,83	42,3	36,0	21,6	F	1,45	27,80	16,94
	CN3	20,86	40,31	43,6	34,3	22,1	F	1,40	26,78	17,00
	media	19,19	39,66	42,8	34,9	22,3	F	1,46	27,88	17,32
CAFE SIN SOMBRA	CS1	20	40,24	29,7	34,0	36,3	F.A	1,37	36,56	20,11
	CS2	20	36,96	30,3	36,7	33,0	F.A	1,27	35,84	22,70
	CS3	23,33	46,97	37,0	29,3	33,7	F.A	1,44	32,94	21,98
	media	21,11	41,39	32,3	33,3	34,3	F.A	1,36	35,11	21,60

SISTEMA	PARCELA	pH	C.E. mhos*10-5	M.O. g/kg	C.O. g/kg	N. g/kg	FOSFORO mg/kg	POTASIO mg/kg	CALCIO mg/kg	MAGNESIO mg/kg
BARBECHO DESNUDO	B1	4,67	0,06	56,40	29,70	2,80	11,73	170,22	173,33	137,33
	B2	4,70	0,04	56,10	29,60	2,80	15,07	93,33	93,33	145,67
	B3	4,70	0,05	67,30	35,10	3,30	72,67	100,33	130,00	218,67
	media	4,69	0,05	59,93	31,47	2,97	33,16	121,29	132,22	167,22
CAFE CON ARBOLES	CA1	4,86	0,07	54,10	28,40	2,70	21,37	98,00	685,71	364,43
	CA2	5,30	0,11	67,10	35,30	3,30	24,16	231,14	1851,43	617,86
	CA3	5,10	0,08	54,60	28,80	2,70	8,57	228,86	945,71	576,00
	media	5,09	0,09	58,60	30,83	2,90	18,03	186,00	1160,95	519,43
CAFE CON FRUTALES	CN1	4,60	0,05	42,50	22,40	2,10	1,49	85,92	342,86	149,14
	CN2	4,64	0,07	40,70	21,40	2,10	4,79	130,71	360,00	249,71
	CN3	4,91	0,18	45,20	23,80	2,30	8,48	164,43	514,29	440,71
	media	4,72	0,10	42,80	22,53	2,17	4,92	127,02	405,72	279,85
CAFE SIN SOMBRA	CS1	4,77	0,06	80,80	42,50	4,00	0,73	256,67	253,33	283,67
	CS2	4,97	0,10	85,10	44,30	4,30	0,10	249,00	320,00	235,00
	CS3	4,30	0,08	73,70	38,60	3,70	1,40	229,33	440,00	105,33
	media	4,35	0,08	79,37	41,97	4,00	0,74	245,00	337,78	208,00

Fuente: Caldera S y Peña B (1998)

APÉNDICE C

PRECIPITACIÓN E ÍNDICE DE EROSIVIDAD
DE LA LLUVIA.
PERÍODO MARZO - NOVIEMBRE DE 1995.

ApéndiceC1. Registros pluviográficos, Estación Quebrada de Ramos
Microcuenca Quebrada de Ramos, Estados Trujillo.
Período marzo - noviembre 1995.

FECHA	HORA	LECTURA LAMINA	FECHA	HORA	LECTURA LAMINA	FECHA	HORA	LECTURA LAMINA
18/02/95	22,3	0	3/11/95	15,48	6,7	4/08/95	0,45	0,8
	23	1,7		16	9,4		1	3,7
	24	5,3		16,32	12,8		1,15	8
	1	5,3	3/12/95	14	2,8		1,3	8,6
	1	8,9		14,3	3,3	4/08/95	15,55	8,7
	2	11,9					16,1	13,7
	3	15,3	13/03/95	11,06	3,3		17	14,6
	4	19,2		11,27	3,9		17,3	27,2
	5	22,7					17,5	29,3
	6	26,4	14/03/95	9,5	0	4/12/95	1	0,1
	6,26	27,3		10	0,2		3	1,6
	8	27,4	20/03/95	16,55	0,3		3,25	2,7
24/02/95	18,15	7,5		17,15	1,7		3,3	4
	19	8,9		17,3	2		3,42	7,5
	19,2	9,9		18	2,2		3,5	9,7
	20	11		18,48	2,2		4	10,2
	21	13,5		19	2,6		4	0,5
	21,3	14,8		20	4,3		5	3
	22	15,4		21	5,2		5,5	9,7
18/10/95	22,45	16	21/03/95	17,15	5,4		5,5	0
	15,55	9		17,36	5,7	14/04/95	6,3	0,1
	16,05	10		17,38	6		7	0,4
	16,15	10,5		18,1	6,1		12,25	0,4
	16,4	16,5		18,3	6,5		12,5	0,5
	19,45	45,4		18,45	8,1		14,3	0,5
			22/03/95	4,3	8,1		15,45	0,6
3/08/95	17,3	0,1		6,3	8,5		15,48	0,9
	17,45	0,9		7	11,2		20,2	1
3/09/95	6	1		8	14,8		21	1,8
	6,3	1,3		9	15,7		21,4	13,8
3/10/95	22,5	1,4		13,5	16		21,48	13,9
	23	3,8	23/03/95	14,15	16,9		22	14,1
	23,2	4,7		19,3	7,3		23,3	14,7
	24	4,9		20,3	25,5		23,55	14,8
	24,3	4,9		22,3	25,7	15/04/95	24	15,4
	0	4,9	25/03/95				24,12	15,6
	0,55	6,5		13,45	6		0	15,4
	1,32	6,6		14	7,2		1,05	15,9
				14,3	7,8		8,47	5,9
				18,5	7,9		9	6,1
							11	6,4

FECHA	HORA	LECTURA LAMINA	FECHA	HORA	LECTURA LAMINA	FECHA	HORA	LECTURA LAMINA
16/04/95	18	7	24/04/95	17	8,1	15/05/95	14	0,3
	19,05	7,1		17,45	8,2		14,15	0,7
	19,45	7,2		18,05	9,2		16,3	0,8
	21	7,2		18,3	9,3	16/05/95	12	0,2
	21,5	7,3	26/04/95	10	9,3		12,3	3,1
	22,08	7,5		13,5	9,4		14	6,5
	23,24	7,5		14	11,2		18	6,6
17/04/95	1,15	7,6		14,3	12,1		18,3	8,1
	1,47	7,8		19,35	12,1		22,45	8,2
	3,5	7,8		19,45	12,9		24	9,4
	4,15	7,9		20	13,7		1	9,5
	5	8		20,15	14,3	27/5/95	21,15	5,7
	8,45	8	27/04/95	14	4,6		21,3	6,2
	13,4	8,1		14,2	4,9		23,45	6,2
	14	8,7	28/04/95	16,35	4,9		23,48	6,3
	14,15	11,7		17,2	15,5	28/05/95	0,1	6,3
	14,35	12,9		18	15,8		0,25	6,6
18/04/95	15	14,6		19,45	16		0,33	6,6
	16	14,7	29/04/95	9,15	5,5		1	7,1
	17,5	4,9		14,45	5,6	29/05/95	1,2	7,3
	18,5	5,2		15,15	17,8		1,55	9,1
	19	5,5		15,3	18,3		2,2	9,3
	20	7		16	18,4		1,3	9,4
	21	8,3		21,05	18,4		2	9,5
	22	9		21,45	18,6		2,15	9,5
19/04/98	22,05	9,1	30/04/95	22	19,3		4,4	11,5
	0	9,1		22,05	20,8		5,15	11,7
	3,3	9,1		12	0,2		5,25	11,9
20/04/95	5	9,8		12,3	3,1		5,35	12
	16,45	0,3		14	6,5		6,18	12,1
	17,45	16,8		18	6,6		6,3	12,2
	18,3	16,9		18,3	8,1		7,28	12,2
	19	17		22,45	8,2	30/05/95	7,3	12,3
22/04/95	19,45	19,9		24	9,4		17,45	2,5
	22,3	20		1	9,5		17,5	4
	7	0,2	5/01/95	11,1	3,3		18	4,2
	7,3	10,8		11,3	3,9		18,4	13,2
	8	11,1	5/04/95	1	3,9		19	13,6
	8,5	13,5		1,45	6,9	6/02/95	19,15	14,3
	9	13,8		2,3	10,9		15	4,4
	9,4	14,3	5/06/95	17	0		15,1	6,8
	13	14,3		17,15	0,3			
	14	16,1						
	14,15	16,6						
	15	16,8						
	16,45	16,8						
	17,3	16,9						

FECHA	HORA	LECTURA LAMINA
6/03/95	12,5	6,9
	13,06	8,1
	18,27	8,1
	18,32	8,4
6/04/95	3,28	0
	3,33	0,2
	4,3	0,5
	4,55	0,8
	6	0,8
	6,1	0,9
	7,2	1
6/04/95	16,4	1
	17,1	16,6
	17,15	17
	18,15	17,1
6/05/95	13,3	17,8
	14,45	7,8
	15	7,9
	15,12	8,4
	15,2	8,4
	15,3	8,7
	16,1	8,7
31/07/95	16,3	9,2
	16	0
	18,45	0
	19	5,8
8/01/95	18,15	5,8
	18,16	6
	18,4	6
	19	14,5
	19,1	15,7
	19,3	16,3
	19,5	18,4
	20	18,9
	20,1	18,9
	20,15	19,3
	20,3	19,5
8/03/95	9,25	7
	9,45	7,2
	9,5	8
	10,1	8,2

FECHA	HORA	LECTURA LAMINA
8/03/95	15,25	8,4
	15,3	8,6
	16,45	8,6
	16,5	8,8
	18,3	8,8
	18,5	9,7
	19,3	9,9
	20,2	9,9
	20,45	10,1
8/04/95	8,2	0,2
	9	2,7
	9,25	3,3
	9,45	3,4
8/05/95	16,4	3,6
	17,15	17
	17,2	17,1
	17,42	18,3
	17,45	18,4
	19,15	18,4
8/08/95	19,3	19,5
	19,36	21,2
	20	21,3
	20,3	21,5
	18,48	3,9
	19	4,1
	19,3	4,1
	19,42	4,8
	19,58	18,7
	20,28	45,8
8/09/95	21,22	57,5
	22,34	85,4
	24,1	88,7
	26,1	71,2
	27,4	71,4
8/09/95	32,1	71,6
	16,3	0
	16,45	10,4
	17	10,4
	17,3	12

FECHA	HORA	LECTURA LAMINA
8/10/95	18,1	9,3
	18,2	11,4
	18,4	12,3
	19,15	12,3
	19,3	13,4
	19,4	18,8
	19,55	19,9
	20,3	36,1
14/08/95	16,25	3,5
	16,36	8,8
	21,45	8,8
	22	10,5
19/08/95	0,3	1,8
	1	2,3
	1,45	2,4
	2	2,8
	2,25	3
	4	7
19/08/95	17,25	7,1
	18	8,9
	20,26	10,3
	20,3	10,4
	20,4	10,7
	21,06	10,7
	21,15	12,3
20/08/95	7,45	3,8
	8	6,7
	8,36	8,6
	10	9,6
	13	10,6
	13,3	11
	13,5	13,4
	14,15	31,2
24/08/95	14,36	32,2
	15	48
	21,12	0
	21,3	7,9
	21,45	8,5
	22,15	9
	22,3	9,1
	23,15	9,1
	24	22,1
	24,45	27,7
25/08/95	1,15	33,4
	1,3	39,3

FECHA	HORA	LECTURA LAMINA
27/08/95	19,48	3,5
	19	3,7
	19,3	3,7
	19,42	4,3
	19,48	16,7
	20,18	41
	21,12	51,5
	22,24	58,5
28/08/95	24	61,6
	2	63,7
	3,3	64,9
28/08/95	8	66
	17,45	6,1
	17,55	7,4
	18,3	7,5
9/05/95	20,15	7,7
	19,36	14,1
	20	18,9
	20,25	19,9
9/06/95	19,3	3,4
	21,03	11,6
	21,45	11,7
	22	12,2
	22,45	12,4
	3	12,4
	3,3	12,8
9/07/95	18,18	2,5
	18,25	3,2
	23,45	3,3
	24,15	4
	0,4	5,6
	0,5	5,7
9/08/95	17,42	5,7
	18	13,3
	18,12	14,4
	18,3	14,5

FECHA	HORA	LECTURA LAMINA
9/11/95	16,2	4,9
	16,33	5,1
	16,4	5,9
	16,5	6
	18,27	6
	18,45	9,2
	19	9,4
	19,3	9,4
9/12/95	19,4	10,7
	19,45	0,1
13/09/95	20	0,8
	16,55	0,9
	17,06	1,4
15/09/95	17,25	1,5
	18,25	1,6
	19,05	12
	19,3	13,4
16/09/95	19,35	13,5
	18,25	1,5
	18,3	1,6
	18,45	1,6
	19	1,8
	19,27	1,9
	19,5	4,2
	20,3	4,3
23/09/95	21,3	9,8
	14	0,2
	14,2	6,7
	14,3	6,8
	14,5	6,8
	15	7,1
27/09/95	16,25	7,1
	16,3	7,3
	18	7,4
	19,15	12,2
	19,28	12,5
	19,36	14,3
	19,45	14,4

FECHA	HORA	LECTURA LAMINA
29/09/95	17,18	4,2
	17,36	5,2
	18,05	5,2
	18,1	5,4
	18,3	5,5
	19,25	16,3
	19,3	16,6
	19,45	16,8
10/02/95	19	12,6
	19,45	36,9
	20	37,1
10/07/95	21	0,8
	21,45	34,9
	22	35,3
	22,35	35,3
	22,45	36,1
	23,3	36,5
	2,45	36,5
	3	37,4
10/11/95	3,3	37,5
	13,15	1,1
	13,37	3,8
	17,25	3,8
	17,45	3,9
	18,05	5,6
	18,45	6,7
	19	7,3
16/10/95	19,2	9,8
	19,4	10,2
	20,25	10,5
	15	1,1
	15,15	1,3
	17,35	1,3
	17,5	1,4
	18,05	1,8
	18,2	2,1
	18,45	3,5
	19	3,6
	20,42	3,6
	21,1	3,9
	21,35	4,4
	22,1	4,6
	22,25	4,6
	22,35	4,7

FECHA	HORA	LECTURA LAMINA
18/10/95	15,55	9
	16,05	10
	16,15	10,5
	16,4	10,5
	19,45	39,4
20/10/95	14	0,3
	14,2	12,4
	20,15	12,4
	20,2	13,4
	20,3	13,7
	21,3	13,7
	21,4	14,4
	21,55	33,7
25/10/95	18,25	3,1
	18,3	3,4
	18,45	3,4
	19	3,8
	19,27	3,9
	19,5	8,9
	20,3	9,2
	21,3	20,9
11/01/95	19	7
	19,45	21,5
	20	22,3
11/03/95	22,45	2,6
	23,05	4,9
	23,35	6,1
	24	6,4
	24,15	7,6
	24,3	7,8

Apéndice C2. Ejemplo de cálculo de energía para un evento de lluvia.

$$e = 0.119 + 0.0873 \cdot \text{LOG}(I)$$

FECHA	DATOS HORA	LAMINA ACUM mm	DURACION min	LAMINA PARCIAL mm	INTENSIDAD mm/h	e Mj/ha mm	E acumulado Mj/ha
22/03/95	15,55	0	0				
	16,1	5	15	5	20	0,233	1,163
	17	5,9	50	0,9	1,08	0,122	0,11
	17,3	18,5	30	12,6	25,2	0,241	3,041
	17,5	20,6	20	2,1	6,3	0,189	0,395
TOTAL=				20,6			4,71

$$I_{30} = 25,2 \text{ mm/h}$$

$$EI_{30} = I_{30} \times E \quad EI_{30} = 118,692 \text{ Mj.mm/ha.h}$$

www.bdigital.ula.ve

**Apéndice C3. Precipitación acumulada, intensidad máxima (I30)
y el índice de erosividad de la lluvia (EI30)
Período marzo - noviembre 1995.**

ETAPA	FECHA	No. OBSER- VACION	Prec. Acum. mm	Imáx mm/h	EI30 Mj*mm/ha*h
I	8-14 /03/95	1	15,60	9,20	18,804
	20-22/03/95	2	17,80	6,40	12,948
	23/03/95	3	18,40	18,20	75,971
	25/3-8/04/95	4	10,10	14,40	25,617
Subtotal			61,90		133,340
II	8-15/04/95	5	57,00	25,20	205,778
	16-22/4/95	6	49,30	21,20	151,536
	24-29/04/95	7	32,90	24,40	123,734
	30/04-1/05/95	8	9,90	5,80	8,458
Subtotal	4/05/95	9	7,00	5,30	6,596
			156,10		496,102
III	6-16/05/95	10	12,80	5,80	8,450
	27-30/06/95	11	18,30	13,50	35,259
	2-5/06/95	12	23,90	31,20	137,180
Subtotal			55,00		180,889
IV	31/07/-3/08/95	13	22,40	23,20	92,569
	4-14/08/95	14	134,10	54,20	1309,587
	19-22/08/95	15	32,00	36,80	397,409
	24-26/08/95	16	39,30	26,30	229,829
	27-28/08/95	17	62,50	48,60	717,579
Subtotal			290,30		2746,973
V	28/08-8/09/95	18	28,90	25,30	45,653
	11-15/09/95	19	19,00	15,60	52,668
	16/09/95	20	8,30	5,50	8,170
	23-29/09/95	21	26,70	19,50	86,451
Subtotal			82,90		192,942
VI	2/10/95	22	24,50	32,40	198,232
	7/10/95	23	36,70	45,50	427,014
	11/10/95	24	9,40	7,50	12,360
	16-18/10/95	25	34,00	9,40	59,524
	20/10/95	26	33,40	36,10	324,587
Subtotal			138,00		1021,717
VII	25/10/95	27	17,80	13,00	48,139
	1/11/95	28	15,30	19,30	67,241
	3/11/95	29	5,20	5,40	4,773
Subtotal			38,30		120,153

TOTAL = 822,500 4892,116

APÉNDICE D

**DATOS OBTENIDOS EN PARCELAS
EXPERIMENTALES.**

**Apéndice D. Volumen de Escurrimiento y Pérdida de Suelo obtenidos
en Parcelas Experimentales. Período marzo-noviembre 1995.**

FECHA recolección	PARCELA	VOL. ESC.	LAM. ESC. mm	PERD. DE SUELO TOTAL		PERD. DE SUELO < 2 mm		HOJARASCA g
				g	kg/ha	g	kg/ha	
14/03/95	CA1	18.959	0.271	97.16	13.880	55.460	7.923	122.2
	CA2	16.000	0.229	80.35	11.479	48.250	6.893	91.7
	CA3	14.350	0.205	120.27	17.181	56.370	8.053	255.5
	CN1	8.500	0.121	57.76	8.252	129.375	18.482	17.1
	CN2	10.500	0.150	57.40	8.200	36.100	5.157	64.1
	CN3	18.850	0.269	58.12	8.303	31.020	4.431	16.9
	CS1	2.040	0.068	77.19	25.729	40.488	13.496	6.3
	CS2	1.585	0.053	111.69	37.231	41.093	13.698	22.8
	CS3	0.785	0.026	94.44	31.480	6.200	2.067	14.7
	B1	4.670	0.156	93.88	31.293	45.279	15.093	23.2
	B2	1.000	0.033	61.80	20.600	37.600	12.533	21.6
	B3	4.730	0.158	77.84	25.946	17.465	5.822	8.1
22/03/95	CA1	22.745	0.325	115.17	16.452	70.467	10.067	57.1
	CA2	15.558	0.222	115.27	16.467	73.468	10.495	50.2
	CA3	10.970	0.157	106.80	15.257	82.800	11.829	44.2
	CN1	16.170	0.231	186.53	26.647	138.730	19.819	46
	CN2	2.410	0.034	72.31	10.330	30.210	4.316	12.8
	CN3	18.908	0.284	129.42	18.489	21.450	3.064	1.2
	CS1	3.900	0.130	15.92	5.305	15.615	5.205	5.5
	CS2	7.650	0.255	10.46	3.486	71.955	23.985	11.5
	CS3	0.970	0.032	5.00	1.667	3.900	1.300	6.4
	B1	7.645	0.255	31.80	10.600	69.875	23.292	0.8
	B2	1.245	0.042	37.06	12.352	17.756	5.919	2.0
	B3	7.960	0.265	26.54	8.847	13.440	4.480	1.4
25/03/95	CA1	31.050	0.444	53.45	7.636	42.352	6.050	42.6
	CA2	27.280	0.390	46.97	6.711	24.274	3.468	14.5
	CA3	34.100	0.487	50.21	7.174	34.940	4.991	18.2
	CN1	46.792	0.668	12.91	4.303	541.610	77.373	7.0
	CN2	25.700	0.367	33.83	4.833	17.532	2.505	6.6
	CN3	54.285	0.776	26.39	3.770	22.087	3.155	2.1
	CS1	22.125	0.738	164.88	54.958	133.675	44.558	0.6
	CS2	16.045	0.535	88.34	22.779	56.337	18.779	0.8
	CS3	8.730	0.291	116.61	27.479	5.019	1.673	4.5
	B1	25.240	0.841	114.07	38.025	80.174	26.725	1.6
	B2	18.105	0.604	88.49	29.497	21.184	7.061	0.0
	B3	22.370	0.746	62.91	20.970	57.010	19.003	0.0
8/04/95	CA1	56.955	0.814	91.46	13.066	65.460	9.351	164.1
	CA2	50.840	0.726	121.72	18.248	104.623	14.946	188.5
	CA3	19.165	0.274	176.00	25.143	33.900	4.843	189.2
	CN1	53.195	0.760	95.01	13.573	285.958	40.851	4.7
	CN2	35.810	0.512	97.85	13.978	36.548	5.221	17.5
	CN3	55.195	0.789	92.18	13.168	81.779	11.683	2.8
	CS1	11.620	0.387	47.40	15.799	24.096	8.032	2.7
	CS2	8.300	0.277	55.01	18.337	17.010	5.670	22.3
	CS3	7.955	0.265	51.20	17.068	1.988	0.663	9.5
	B1	14.835	0.495	35.15	11.717	35.151	11.717	0.0
	B2	6.000	0.200	22.80	7.600	22.800	7.600	0.0
	B3	14.860	0.495	31.02	10.339	31.016	10.339	0.0

Continuación del Apéndice D

FECHA recolección	PARCELA	VOL. ESC.	LAM. ESC. mm	PERD. DE SUELO TOTAL		PERD. DE SUELO < 2 mm		HOJAS/CA
				g	kg/ha	g	kg/ha	
16/04/95	CA1	22.069	0.315	118,25	16.893	73.050	10.436	223.9
	CA2	68.900	0.984	101.06	14.437	91.460	13.066	331.9
	CA3	3.000	0.043	184.70	26.366	66.000	9.429	192.4
	CN1	39.870	0.570	80.98	11.568	54.878	7.840	17.9
	CN2	35.909	0.513	85.20	12.171	122.071	17.439	40.7
	CN3	56.026	0.800	89.42	12.774	58.817	8.402	4.7
	CS1	17.685	0.590	57.65	19.217	7.421	2.474	3.6
	CS2	9.670	0.322	49.09	16.362	16.386	5.462	9.8
	CS3	6.110	0.204	66.22	22.072	19.816	6.605	11.9
	B1	17.600	0.587	27.35	9.116	47.580	15.860	0.0
	B2	10.745	0.358	24.25	8.084	17.952	5.984	0.0
	B3	16.825	0.561	30.44	10.147	18.641	6.214	3.6
22/04/95	CA1	53.000	0.757	192.55	27.507	154.150	22.021	51.3
	CA2	90.500	1.293	215.98	30.254	68.700	9.814	30.2
	CA3	12.500	0.179	239.40	34.200	42.900	6.129	54.9
	CN1	50.500	0.721	192.79	27.541	20.150	2.879	0.0
	CN2	72.500	1.036	189.00	27.000	189.000	27.000	0.0
	CN3	81.900	1.170	196.57	28.081	183.865	26.266	0.0
	CS1	13.973	0.466	17.48	5.826	11.178	3.726	0.0
	CS2	7.355	0.245	9.67	3.224	61.540	20.513	6.3
	CS3	12.430	0.414	1.86	0.621	1.864	0.621	0.0
	B1	19.500	0.650	28.38	9.460	12.675	4.225	0.0
	B2	9.830	0.328	1.47	0.491	1.474	0.491	0.0
	B3	18.127	0.604	55.29	18.429	55.287	18.429	0.0
30/04/95	CA1	16.594	0.237	93.21	13.316	44.114	6.302	35.4
	CA2	36.833	0.526	66.38	9.482	34.575	4.939	48.4
	CA3	35.500	0.507	79.79	11.399	49.800	7.114	39.9
	CN1	26.610	0.380	63.67	9.096	11.669	1.667	0.0
	CN2	14.245	0.204	104.54	14.934	11.135	1.591	0.0
	CN3	21.230	0.303	153.22	21.889	29.822	4.260	0.0
	CS1	3.500	0.117	128.00	42.667	2.100	0.700	0.0
	CS2	2.000	0.067	14.50	4.833	14.500	4.833	7.1
	CS3	5.490	0.183	71.25	23.750	0.000	0.000	0.0
	B1	9.545	0.318	85.56	28.521	57.962	19.321	0.0
	B2	6.532	0.218	56.45	18.817	35.251	11.750	0.0
	B3	10.110	0.337	59.41	19.803	41.709	13.903	0.0
3/05/95	CA1	6.925	0.099	45.39	6.484	24.685	3.526	10.7
	CA2	25.210	0.360	70.27	10.039	13.905	1.986	5.9
	CA3	18.500	0.264	95.15	13.593	33.350	4.764	10.2
	CN1	12.265	0.175	41.82	5.974	24.816	3.545	0.0
	CN2	11.040	0.158	44.44	6.349	61.106	8.741	0.0
	CN3	12.229	0.175	47.07	6.724	23.666	3.381	0.0
	CS1	3.625	0.121	33.10	11.033	6.500	2.167	0.0
	CS2	2.225	0.074	90.26	30.086	19.558	6.519	14.6
	CS3	2.350	0.078	61.68	20.560	0.000	0.000	0.0
	B1	5.855	0.195	21.64	7.214	16.242	5.414	0.0
	B2	5.370	0.179	17.24	5.748	5.543	1.848	0.0
	B3	5.395	0.180	16.44	5.479	12.337	4.112	0.0
6/05/95	CA1	5.630	0.080	118.58	16.941	51.884	7.412	0.0
	CA2	14.700	0.210	104.71	14.958	18.025	2.575	11.7
	CA3	18.810	0.269	90.82	12.975	38.224	5.461	11.4
	CN1	1.500	0.021	108.13	15.446	60.225	8.604	0.0

Continuación del Apéndice D

FECHA recolección	PARCELA	VOL. ESC.	LAM. ESC.	PERD. DE SUELO TOTAL		PERD. DE SUELO < 2 mm		HOJARASCA
			mm	g	kg/ha	g	kg/ha	
17/05/95	CN2	10,210	0,146	146,78	20,969	79,483	11,355	0,0
	CN3	6,065	0,087	127,46	18,208	106,528	15,218	0,0
	CS1	1,000	0,033	103,50	34,500	39,500	13,167	0,0
	CS2	1,000	0,033	161,00	53,667	31,100	10,367	8,3
	CS3	1,500	0,050	142,58	47,525	5,575	1,858	0,0
	B1	5,186	0,173	18,56	6,187	50,257	16,752	0,0
	B2	2,270	0,076	23,62	7,873	14,419	4,806	0,0
	B3	1,900	0,063	13,50	4,500	8,900	2,967	0,0
	CA1	6,842	0,098	58,88	8,412	36,681	5,240	26,2
	CA2	9,435	0,135	66,14	9,449	42,942	6,135	144,5
	CA3	7,650	0,109	63,79	9,056	18,490	2,356	103,3
	CN1	4,505	0,064	128,77	18,396	76,374	10,911	
	CN2	17,065	0,244	101,07	14,439	50,870	7,267	6,1
	CN3	9,650	0,138	114,93	16,418	25,400	3,629	1,2
	CS1	1,730	0,058	28,39	9,464	9,492	3,164	0,0
	CS2	0,920	0,031	24,80	8,269	17,364	5,788	9,5
	CS3	1,590	0,053	21,22	7,073	1,218	0,406	4,9
	B1	11,000	0,367	32,80	10,933	19,000	6,333	10,5
	B2	2,480	0,083	46,89	15,631	23,392	7,797	6,4
	B3	6,690	0,223	42,98	14,326	20,276	6,759	7,2
1/06/95	CA1	4,500	0,064	77,40	11,057	64,400	9,200	117,7
	CA2	12,405	0,177	85,16	12,165	43,819	6,260	149,2
	CA3	13,560	0,194	92,91	13,273	23,212	3,316	93,6
	CN1	4,120	0,059	88,40	12,629	73,800	10,543	1,6
	CN2	19,545	0,279	82,52	11,789	45,355	6,479	8,8
	CN3	12,720	0,182	75,94	10,849	21,244	3,035	2,9
	CS1	1,860	0,062	34,57	11,524	9,472	3,157	4,7
	CS2	0,750	0,025	62,05	20,683	9,250	3,083	6,6
	CS3	4,240	0,141	48,31	16,104	1,948	0,649	6,9
	B1	6,470	0,216	29,39	9,798	12,594	4,198	3,9
	B2		0,000	29,74	9,913	6,900	2,300	4,8
	B3	3,415	0,114	30,08	10,027	8,980	2,993	5,9
6/06/95	CA1	7,795	0,111	22,84	3,263	11,639	1,663	29,8
	CA2	21,480	0,307	34,32	4,903	27,151	3,879	23,0
	CA3	20,750	0,296	45,80	6,543	13,500	1,929	28,7
	CN1	6,345	0,091	36,36	5,195	17,964	2,566	0,0
	CN2	13,050	0,186	26,36	3,766	10,655	1,522	2,6
	CN3	19,985	0,286	68,26	9,751	20,658	2,951	0,0
	CS1	3,435	0,115	11,71	3,902	5,400	1,800	0,0
	CS2	3,630	0,121	22,53	7,509	4,426	1,475	0,2
	CS3	4,415	0,147	0,88	0,294	0,883	0,294	0,0
	B1	13,820	0,461	47,62	15,873	28,520	9,507	2,1
	B2	6,220	0,207	41,27	13,757	16,388	5,463	2,4
	B3	9,555	0,319	34,92	11,640	21,920	7,307	3,2
4/08/95	CA1	10,980	0,157	65,13	9,304	55,330	7,904	128,9
	CA2	10,680	0,153	76,64	10,949	47,440	6,777	88,1
	CA3	12,730	0,182	189,58	27,083	60,180	8,597	181,9
	CN1	14,270	0,204	271,92	38,846	153,720	21,960	14,1
	CN2	10,800	0,154	411,32	58,760	250,320	35,760	32,3
	CN3	9,270	0,132	107,56	15,366	76,460	10,923	5,3
	CS1	4,375	0,146	336,03	112,010	137,730	45,910	38,2
	CS2	3,130	0,104	434,88	144,960	201,480	67,160	56,8

Continuación del Apéndice D

FECHA recolección	PARCELA	VOL. ESC.	LAM. ESC. mm	PERD. DE SUELO TOTAL		PERD. DE SUELO < 2 mm		HOJARASCA g
				g	kg/ha	g	kg/ha	
15/08/95	CS3	3,752	0,126	385,46	128,486	251,460	83,820	35,1
	B1	0,970	0,032	211,80	70,600	171,200	57,067	6,5
	B2	0,915	0,305	232,60	77,533	194,200	64,733	44,5
	B3	0,860	0,029	169,20	56,400	148,900	49,633	9,6
	CA1	122,340	1,748	118,53	16,933	74,430	10,633	80,7
	CA2	93,000	1,329	141,30	20,186	88,600	12,657	77,7
	CA3	84,270	1,204	385,65	55,093	120,150	17,164	73,8
	CN1	92,650	1,324	345,73	49,390	231,930	33,133	4,7
	CN2	138,670	1,981	614,44	87,777	407,740	58,249	27,9
	CN3	126,500	1,807	198,20	28,314	114,500	16,357	6,5
	CS1	17,500	0,583	143,80	47,933	80,800	26,933	2,1
	CS2	33,900	1,130	182,88	60,960	60,780	20,260	22,6
	CS3	33,760	1,125	163,34	54,447	120,240	40,080	0,0
	B1	130,500	4,350	322,87	107,623	256,400	85,467	3,5
21/08/95	B2	177,500	5,917	189,60	63,200	153,880	51,293	3,8
	B3	163,270	5,442	214,94	71,647	155,820	51,940	0,0
	CA1	4,500	0,064	80,30	11,471	43,300	6,186	76,0
	CA2	9,240	0,132	25,75	3,679	15,450	2,207	16,0
	CA3	25,500	0,364	82,70	11,814	35,100	5,014	24,0
	CN1	6,500	0,093	283,90	40,557	195,800	27,971	5,1
	CN2	25,500	0,364	303,50	43,357	218,400	31,200	12,3
	CN3	40,000	0,571	19,10	2,729	19,100	2,729	0,0
	CS1	2,050	0,068	36,43	12,147	25,230	8,410	0,0
	CS2	2,800	0,093	3,36	1,120	3,360	1,120	2,2
	CS3	2,920	0,097	1,17	0,390	1,170	0,390	0,0
	B1	4,500	0,150	35,40	11,800	26,500	8,833	0,0
	B2	0,000	0,000	19,30	6,433	14,900	4,967	0,0
	B3	8,500	0,283	18,60	6,200	14,200	4,733	0,0
26/08/95	CA1	42,260	0,604	77,45	11,064	40,950	5,850	135,1
	CA2	35,885	0,513	38,65	5,521	25,550	3,650	45,5
	CA3	59,670	0,852	175,90	25,129	148,100	21,157	55,5
	CN1	39,355	0,552	121,35	17,336	86,050	12,293	1,4
	CN2	57,585	0,823	209,87	29,981	148,570	21,224	15,1
	CN3	82,190	1,174	153,35	21,907	95,050	13,579	3,4
	CS1	9,500	0,317	41,20	13,733	18,900	6,300	0,0
	CS2	9,900	0,330	60,40	20,133	19,800	6,600	13,0
	CS3	12,040	0,401	50,80	16,933	38,700	12,900	0,0
	B1	19,750	0,658	44,60	14,867	36,500	12,167	0,0
	B2	7,390	0,246	49,70	16,567	39,000	13,000	1,2
	B3	26,310	0,877	41,22	13,740	26,720	8,907	1,5
28/08/95	CA1	53,680	0,767	198,37	26,910	158,370	22,624	28,5
	CA2	61,965	0,885	98,46	14,066	93,460	13,351	10,5
	CA3	80,000	1,143	202,50	28,929	60,500	8,643	13,0
	CN1	71,550	1,022	131,82	18,831	87,220	12,460	3,0
	CN2	96,800	1,383	298,25	42,607	178,850	25,550	0,0
	CN3	115,650	1,652	298,16	42,594	185,860	26,551	2,7
	CS1	16,000	0,533	77,00	25,667	29,300	9,767	1,0
	CS2	14,410	0,480	26,44	8,813	12,840	4,280	1,7
	CS3	14,740	0,491	57,67	19,223	5,770	1,923	2,8
	B1	125,860	4,195	125,62	41,873	109,120	36,373	1,2
	B2	273,470	9,116	460,91	153,637	445,610	148,537	1,1
	B3	185,285	6,176	260,66	86,887	250,660	83,553	1,6

Continuación del Apéndice D

FECHA recolección	PARCELA	VOL. ESC.	LAM. ESC. mm	PERD. DE SUELO TOTAL		PERD. DE SUELO < 2 mm		HOJARASCA g
				g	kg/ha	g	kg/ha	
11/09/95	CA1	1.040	0.015	280.00	40.000	142.900	20.414	61.0
	CA2	9.400	0.134	87.04	12.434	57.040	8.149	42.0
	CA3	7.570	0.108	245.81	35.116	37.310	5.330	124.1
	CN1	6.090	0.087	506.04	72.291	381.440	54.491	7.0
	CN2	12.775	0.183	342.96	48.994	240.960	34.423	12.8
	CN3	25.010	0.357	260.08	37.154	163.180	23.311	8.6
	CS1	0.920	0.031	157.58	52.527	56.680	18.893	11.1
	CS2	2.385	0.080	317.28	105.760	172.480	57.493	68.3
	CS3	3.390	0.113	135.30	45.100	90.100	30.033	0.0
	B1	9.000	0.300	368.50	122.833	231.100	77.033	14.8
	B2	0.410	0.014	389.00	129.667	167.500	55.833	27.0
	B3	10.400	0.347	289.28	96.427	190.180	63.393	15.6
15/09/95	CA1	0.517	0.007	27.84	3.977	22.740	3.249	10.6
	CA2	0.690	0.010	28.04	4.006	20.040	2.863	19.8
	CA3	0.740	0.011	44.80	6.400	16.000	2.286	33.9
	CN1	2.080	0.030	106.56	15.223	17.160	2.451	5.0
	CN2	3.330	0.048	231.09	33.013	51.690	7.384	7.0
	CN3	8.320	0.119	42.22	6.031	14.920	2.131	8.0
	CS1	0.770	0.026	23.75	2.917	7.650	2.550	2.1
	CS2	0.200	0.007	21.60	7.200	13.300	4.433	3.0
	CS3	0.350	0.012	14.10	4.700	5.800	1.933	1.8
	B1	1.350	0.045	39.60	13.200	31.000	10.333	3.0
	B2	1.640	0.055	29.20	9.733	26.000	8.667	0.0
	B3	1.930	0.064	26.27	8.757	21.270	7.090	1.9
19/09/95	CA1	3.244	0.046	102.71	14.673	74.210	10.601	1.2
	CA2	2.983	0.043	29.29	4.184	20.290	2.899	25.0
	CA3	1.590	0.023	51.30	7.329	12.900	1.843	19.0
	CN1	5.983	0.085	61.03	11.576	69.830	9.976	1.5
	CN2	6.607	0.094	199.82	28.546	161.020	23.003	6.5
	CN3	8.539	0.122	115.05	16.436	72.050	10.293	6.6
	CS1	0.350	0.005	25.00	8.333	11.100	3.700	3.0
	CS2	1.200	0.040	29.44	9.813	10.740	3.580	5.0
	CS3	1.550	0.026	82.30	27.433	59.500	19.833	4.4
	B1	1.850	0.062	36.14	12.047	23.640	7.880	1.4
	B2	2.345	0.078	88.80	29.600	59.500	19.833	8.7
	B3	2.840	0.095	172.40	57.467	108.100	36.033	8.8
30/09/95	CA1	6.513	0.093	82.58	11.797	56.680	8.097	8.0
	CA2	7.812	0.112	30.72	4.389	9.320	1.331	11.0
	CA3	10.750	0.154	16.40	2.343	5.700	0.814	15.0
	CN1	5.495	0.079	178.81	25.544	58.310	8.330	0.0
	CN2	2.640	0.038	99.40	14.200	45.200	6.457	8.1
	CN3	27.209	0.389	115.67	16.524	93.770	13.396	0.0
	CS1	6.547	0.218	97.10	32.367	42.900	14.300	0.0
	CS2	0.500	0.017	45.90	15.300	7.500	2.500	0.0
	CS3	4.837	0.161	19.10	6.367	2.000	0.667	0.0
	B1	17.787	0.593	96.27	32.090	82.470	27.490	3.5
	B2	6.039	0.201	78.97	26.323	70.570	23.523	2.6
	B3	23.801	0.793	88.48	29.493	81.180	27.060	2.2
3/10/95	CA1	16.016	0.229	2.26	0.323	2.260	0.323	0.0
	CA2	13.757	0.197	1.07	0.153	1.070	0.153	0.0
	CA3	17.794	0.254	2.09	0.299	2.090	0.299	0.0
	CN1	19.893	0.284	9.73	1.390	9.730	1.390	0.0

Continuación del Apéndice D

FECHA recolección	PARCELA	VOL. ESC.	LAM. ESC. mm	PERD. DE SUELO TOTAL		PERD. DE SUELO < 2 mm		HOJARAS/A g
				g	kg/ha	g	kg/ha	
8/10/95	CN2	10.091	0.144	22.24	3.177	22.240	3.177	0.0
	CN3	38.234	0.546	9.06	1.294	9.060	1.294	0.0
	CS1	7.752	0.258	0.61	0.203	0.610	0.203	0.0
	CS2	3.497	0.117	0.19	0.063	0.190	0.063	0.0
	CS3	6.495	0.217	0.24	0.080	0.240	0.080	0.0
	B1	19.848	0.662	7.09	2.363	7.090	2.363	0.0
	B2	12.525	0.418	4.80	1.600	4.800	1.600	0.0
	B3	22.485	0.750	12.80	4.267	12.800	4.267	0.0
	CA1	40.416	0.577	71.60	10.229	44.400	6.343	51.2
	CA2	34.207	0.489	41.74	5.963	21.240	3.034	37.5
	CA3	40.242	0.575	82.35	11.764	16.350	2.336	107.0
	CN1	58.982	0.843	355.28	50.754	268.980	38.426	14.3
12/10/95	CN2	41.183	0.588	250.64	35.806	190.840	27.263	6.7
	CN3	82.205	1.174	201.67	28.810	142.370	20.339	5.4
	CS1	30.983	1.033	63.74	21.247	27.640	9.213	1.0
	CS2	7.389	0.246	36.79	12.263	12.790	4.263	4.8
	CS3	15.272	0.509	50.26	16.753	1.150	0.383	0.0
	B1	55.559	1.852	183.12	61.040	141.020	47.007	0.0
	B2	46.982	1.566	258.42	86.140	224.820	74.940	0.0
	B3	78.571	2.619	699.81	233.270	667.110	222.370	0.0
	CA1	6.543	0.093	0.78	0.111	0.780	0.111	0.0
	CA2	4.831	0.069	0.53	0.076	0.530	0.076	0.0
	CA3	8.498	0.121	0.51	0.073	0.510	0.073	0.0
	CN1	5.000	0.071	23.46	3.352	12.264	1.752	0.0
19/10/95	CN2	13.050	0.186	86.76	12.394	29.855	4.265	0.0
	CN3	19.985	0.286	50.06	7.151	17.758	2.537	0.0
	CS1	3.435	0.115	93.80	31.267	5.300	1.767	0.0
	CS2	3.630	0.121	22.23	7.489	4.126	1.375	0.0
	CS3	4.415	0.147	58.01	19.337	0.883	0.294	0.0
	B1	13.820	0.461	47.32	15.773	28.220	9.407	0.0
	B2	6.220	0.207	26.59	8.863	16.088	5.363	0.0
	B3	9.555	0.319	33.82	11.274	20.822	6.941	0.0
	CA1	28.136	0.402	127.05	18.150	36.050	5.150	75.2
	CA2	25.432	0.363	207.67	29.667	153.170	21.881	97.3
	CA3	25.662	0.367	99.31	14.187	24.210	3.459	74.1
	CN1	32.005	0.457	281.81	40.259	222.310	31.759	11.6
23/10/95	CN2	31.567	0.451	110.12	15.731	73.120	10.446	20.3
	CN3	48.386	0.691	113.18	16.169	62.680	8.954	7.2
	CS1	9.835	0.328	37.39	12.463	13.390	4.463	3.0
	CS2	3.715	0.124	25.32	8.440	8.920	2.973	5.9
	CS3	8.467	0.282	16.94	5.647	2.540	0.847	8.3
	B1	17.968	0.599	42.53	14.177	39.430	13.143	0.0
	B2	11.545	0.385	37.77	12.590	35.170	11.723	0.0
	B3	22.352	0.745	47.18	15.727	44.880	14.960	0.0
	CA1	30.585	0.437	263.28	37.611	133.280	19.040	33.0
	CA2	23.767	0.340	182.84	26.120	63.840	9.120	21.4
	CA3	29.792	0.426	57.84	8.263	26.040	3.720	19.1
	CN1	45.723	0.653	344.60	49.229	238.100	34.014	2.8
	CN2	42.535	0.608	413.69	59.099	283.390	40.484	6.2
	CN3	45.227	0.646	355.32	50.760	157.320	22.474	7.7
	CS1	7.305	0.244	51.51	17.170	28.510	9.503	1.0
	CS2	2.414	0.080	43.53	14.510	27.730	3.243	0.0

Continuación del Apéndice D

FECHA recolección	PARCELA	VOL ESC	LAM ESC mm	PERD. DE SUELO TOTAL		PERD. DE SUELO < 2 mm		HOJARAS/CA
				g	kg/ha	g	kg/ha	
27/10/95	CS3	5.670	0.189	47.52	15.840	0.440	0.147	0.0
	B1	14.147	0.472	40.28	13.427	36.780	12.260	0.0
	B2	12.834	0.428	49.75	16.583	44.450	14.817	0.0
	B3	27.014	0.900	99.34	33.113	75.340	25.113	0.0
	CA1	16.545	0.236	178.52	25.503	84.820	12.117	5.4
	CA2	14.191	0.203	68.28	9.754	45.880	6.554	8.6
	CA3	19.337	0.276	33.85	4.836	12.450	1.779	34.3
	CN1	20.583	0.294	115.48	16.497	64.380	9.197	2.0
	CN2	17.425	0.249	126.83	18.119	86.930	12.419	6.7
	CN3	26.835	0.383	37.60	5.371	28.800	4.114	3.5
	CS1	3.252	0.108	21.61	7.203	9.210	3.070	0.5
	CS2	2.113	0.070	11.18	3.727	5.980	1.993	3.9
	CS3	4.922	0.164	50.32	16.773	2.920	0.973	3.0
	B1	10.037	0.335	99.70	33.233	86.600	28.867	0.0
	B2	1.939	0.067	106.05	35.350	80.050	26.683	2.1
	B3	10.398	0.347	148.11	49.370	120.810	40.270	1.6
11/02/95	CA1	12.466	0.178	45.34	6.477	24.540	3.506	21.7
	CA2	13.585	0.194	18.48	2.640	11.380	1.626	13.3
	CA3	13.742	0.196	111.93	15.990	5.730	0.819	24.8
	CN1	11.166	0.160	97.67	13.953	69.670	9.953	4.0
	CN2	15.799	0.226	42.10	6.014	25.800	3.686	3.4
	CN3	22.774	0.325	46.31	6.616	33.010	4.716	2.4
	CS1	1.404	0.047	36.06	12.020	9.260	3.087	0.5
	CS2	2.242	0.075	41.87	13.957	4.270	1.423	7.8
	CS3	2.712	0.090	14.52	4.840	1.920	0.640	11.3
	B1	13.714	0.457	57.03	19.010	49.030	16.343	1.3
	B2	5.005	0.167	44.79	14.930	35.490	11.830	0.9
	B3	11.743	0.391	33.44	11.147	27.040	9.013	1.1
	CA1	5.934	0.085	58.98	8.426	40.080	5.726	16.6
	CA2	6.610	0.094	61.48	8.783	33.580	4.797	21.3
	CA3	7.512	0.107	19.09	2.727	9.090	1.299	13.2
11/05/95	CN1	6.966	0.100	86.82	12.403	52.320	7.474	0.9
	CN2	7.649	0.109	49.08	7.011	31.880	4.554	4.7
	CN3	15.595	0.223	29.85	4.264	19.350	2.764	2.6
	CS1	0.700	0.023	16.03	5.343	6.930	2.310	0.0
	CS2	1.039	0.035	9.50	3.167	0.000	0.000	0.0
	CS3	1.377	0.046	2.96	0.987	1.160	0.387	2.8
	B1	6.513	0.217	58.03	19.343	51.030	17.010	0.0
	B2	5.900	0.197	47.76	15.920	39.760	13.253	0.0
	B3	6.812	0.227	63.50	21.167	46.500	15.500	0.0

APÉNDICE E

RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.

Apéndice E1. Análisis de Varianza por Etapas y Total, para los Tratamiento Evaluados.
Variable Pérdida de Suelo Total. Período marzo - noviembre 1995.

		ETAPAS							TOTAL
		1	2	3	4	5	6	7	
FUENTE DE VARIACION	G.L.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.
TRATAMIENTO	3	307.9088 ns	438.3287 ns	55.7073 ns	16447.9247 *	9967.3826 **	10061.429 ns	1582.4945 **	123627.8273 **
ERROR	8	2806.1456	1379.8959	158.3437	2613.9333	535.6737	3042.785	64.7172	12178.8109
TOTAL	11								

Apéndice E2. Análisis de Varianza por Etapas y Total, para los Tratamiento Evaluados.
Variable Pérdida de Suelo < 2 mm. Período marzo - noviembre 1995.

		ETAPAS							TOTAL
		1	2	3	4	5	6	7	
FUENTE DE VARIACION	G.L.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.
TRATAMIENTO	3	531.3982 ns	293.0449 ns	71.8221 ns	16152.3521 **	5110.5821 **	11349.5388 ns	1758.631 **	132545.3366 **
ERROR	8	2017.0005	325.7316	26.1051	1409.4715	216.8789	2892.0722	40.81	6460.134
TOTAL	11								

Apéndice E3. Análisis de Varianza por Etapas y Total, para los Tratamiento Evaluados.
Variable Lámina Escurrida. Período marzo - noviembre 1995.

		ETAPAS							TOTAL
		1	2	3	4	5	6	7	
FUENTE DE VARIACION	G.L.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.	C.M.
TRATAMIENTO	3	0.2233 ns	.8205 ns	.1071 ns	67.9369 **	0.2730 ns	4.7032 **	0.2006 *	141.1005 **
ERROR	8	0.1964	0.4277	0.0518	2.7285	0.0999	0.5779	0.0391	3.7615
TOTAL	11								

- ** Estadísticamente significativo a un nivel de Probabilidad del 1 %
- * Estadísticamente significativo a un nivel de Probabilidad del 5 %
- ns Estadísticamente no significativo a un nivel de Probabilidad del 5 %

Apéndice E4. Discriminación de Medias según el Método de Duncan,
por Etapas y para el Período Total de Observación,
para los Tratamientos considerados.
Variable Lámina Escurrida.

ETAPAS	GRUPOS	MEDIAS	N	TRATAMIENTO
I ns	A	1,653	3	CN
	A	1,514	3	CA
	A	1,429	3	BD
	A	1,018	3	CS
II ns	A	2,067	3	CN
	A	1,855	3	CA
	A	1,505	3	BD
	A	0,960	3	CS
III ns	A	0,816	3	BD
	A	0,683	3	CA
	A	0,594	3	CN
	A	0,289	3	CS
IV	A	12,574	3	BD
	B	4,415	3	CN
	B	3,366	3	CA
	B	2,008	3	CS
V ns	A	0,882	3	BD
	A	0,544	3	CN
	A	0,252	3	CA
	A	0,245	3	CS
VI	A	4,128	3	BD
	B	2,543	3	CN
	B	1,646	3	CA
	B	1,337	3	CS
VII	A	0,802	3	BD
	A	0,690	3	CN
	AB	0,523	3	CA
	B	0,208	3	CS
TOTAL	A	22,135	3	BD
	B	12,505	3	CN
	B	9,839	3	CA
	C	6,076	3	CS

ns = no significativa estadísticamente

Apéndice E5. Discriminación de Medias según el Método de Duncan,
por Etapas y para el Período Total de Observación,
para los Tratamientos considerados.
Variable Pérdida de Suelo .

ETAPAS	GRUPOS	MEDIAS	N	TRATAMIENTO
I ns	A	83,310	3	CN
	A	74,120	3	CS
	A	73,140	3	BD
	A	58,010	3	CA
II ns	A	103,160	3	CS
	A	84,680	3	CN
	A	81,870	3	CA
	A	74,810	3	BD
III ns	A	36,750	3	CS
	A	34,370	3	BD
	A	33,630	3	CN
	A	26,720	3	CA
IV	A	266,340	3	BD
	A	222,320	3	CS
	AB	179,450	3	CN
	B	92,710	3	CA
V	A	189,210	3	BD
	B	108,510	3	CN
	B	107,610	3	CS
	C	48,880	3	CA
VI ns	A	176,740	3	BD
	AB	125,120	3	CN
	B	60,900	3	CS
	B	54,330	3	CA
VII	A	73,157	3	BD
	B	32,939	3	CN
	B	28,379	3	CA
	B	22,672	3	CS
TOTAL	A	887,800	3	BD
	B	646,650	3	CN
	B	627,520	3	CS
	C	390,900	3	CA

ns = no significativa estadísticamente a un nivel de probabilidad del 5 %

Apéndice E6. Discriminación de Medias según el Método de Duncan,
por Etapas y para el Período Total de Observación,
para los Tratamientos considerados.
Variable Pérdida de Suelo < 2mm.

ETAPAS	GRUPOS	MEDIAS	N	TRATAMIENTO
I ns	A	65,350	3	CN
	A	49,860	3	BD
	A	46,380	3	CS
	A	32,970	3	CA
II ns	A	49,400	3	CN
	A	44,030	3	BD
	A	38,320	3	CA
	A	26,340	3	CS
III ns	A	17,552	3	BD
	AB	16,301	3	CN
	AB	13,326	3	CA
	B	6,605	3	CS
IV	A	227,070	3	BD
	B	116,650	3	CN
	B	111,950	3	CS
	B	50,800	3	CA
V	A	121,390	3	BD
	B	65,220	3	CN
	B	53,310	3	CS
	C	22,630	3	CA
VI ns	A	155,420	3	BD
	AB	82,860	3	CN
	B	26,530	3	CA
	B	25,040	3	CS
VII	A	59,590	3	BD
	B	21,054	3	CN
	BC	12,741	3	CA
	C	5,077	3	CS
TOTAL	A	674,910	3	BD
	B	416,820	3	CN
	BC	276,180	3	CS
	C	195,83	3	CA

ns = no significativa estadísticamente a un nivel de probabilidad del 5 %.

Apéndice E7. Análisis de Correlación para los Tratamiento Evaluados.
Período marzo - noviembre 1995.

CORRELACION (N=87)	TRATAMIENTOS			
	BD	CA	CN	CS
PERDIDA DE SUELO Vs PRECIPITACION	0,37625 **	0,49128 **	0,41528 **	0,17275 ns
LAMINA ESCURRIDA	0,54639 **	0,37425 **	0,40945 **	0,12171 ns
INTENSIDAD30 MAXIMA	0,48795 **	0,30331 **	0,44192 **	0,13643 ns
EI30 MAXIMA	0,42619 **	0,36651 **	0,44396 **	0,13358 ns
PERD. SUELO < 2 mm Vs PRECIPITACION	0,37199 **	0,44029 **	0,37494 **	0,20894 ns
LAMINA ESCURRIDA	0,61128 **	0,45829 **	0,42599 **	0,21114 *
INTENSIDAD30 MAXIMA	0,51818 **	0,24670 *	0,40028 **	0,17993 ns
EI30 MAXIMA	0,45942 **	0,33143 **	0,38955 **	0,16738 ns
LAMINA ESCURRIDA Vs PRECIPITACION.	0,72745 **	0,77504 **	0,80599 **	0,74026 **
INTENSIDAD30 MAXIMA	0,67507 **	0,60086 **	0,68986 **	0,62069 **
EI30 MAXIMA	0,82698 **	0,75030 **	0,79987 **	0,72674 **

** Estadísticamente significativa a un nivel de probabilidad del 1 %

** Estadísticamente significativa a un nivel de probabilidad del 5%

ns Estadísticamente no significativa a un nivel de probabilidad del 5 %

APÉNDICE F

CÁLCULO DE LOS FACTORES DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO USLE.

**Apéndice F1. Cálculo de la erosividad de la lluvia
para precipitaciones > 10 mm
Período marzo - noviembre de 1995.**

ETAPAS	FECHA	t	Precipitación mm	Intensidad máx mm/h	EI30 Mj*mm/ha*h
I	23/3/95	2 h	18,40	18,20	75,971
Subtotal			18,40		75,971
II	8/4/95	45'	20,60	25,20	118,692
	12/4/95	12h 50'	19,40	8,04	29,857
	14/4/95	11h 27'	15,16	18,00	57,218
	20/4/95	6h 25'	19,70	16,50	69,648
	22/4/95	10h 30'	16,70	21,20	70,849
	28/4/95	3h 10'	11,10	14,20	33,509
	29/4/95	13h 30'	15,30	24,40	84,816
Subtotal			117,96		464,589
III	30/5/95	2h 10'	11,80	13,50	33,590
	4/6/95	2h 30'	16,80	31,20	127,183
Subtotal			28,60		160,773
IV	1/8/95	2h 15'	13,70	19,40	57,919
	5/8/95	4h 30'	17,90	23,00	92,274
	8/8/95	13h 52'	67,30	54,20	870,097
	9/8/95	1h	12,00	41,40	122,894
	10/8/95	2h 20'	26,80	27,80	175,199
	20/8/95	7h 55'	21,60	36,80	386,772
	25/8/95	4h 18'	39,30	26,30	229,829
	27/8/95	13h 52'	62,50	48,60	717,579
Subtotal			261,10		2652,563
V	15/9/95	1h 10'	11,90	15,60	40,004
	29/9/95	2h 27'	12,60	11,80	30,326
Subtotal			24,50		70,330
	2/10/95	1h	24,50	32,40	198,232
	7/10/95	6h 30'	36,70	45,50	427,014
	18/10/95	4h 30'	30,40	9,40	57,885
	20/10/95	7h 55'	33,4	36,3	324,587
Subtotal			125,00		1007,718
VII	25/10/95	3h 5'	17,80	13,00	48,139
	1/11/95	1h	15,30	19,30	67,241
Subtotal			33,10		115,380
			608,660	TOTAL=	4547,324

Apéndice F2. Factor K de la USLE según fórmula de Wischmeier y Smith (1978)

TRATAMIENTO	PARCELA	M %	N %	S	P	K Mg ha h / A / mm ha
BARBECHO DESNUDO	1	4	2105.35	3	1	0.01129
	2	4	2516.67	3	1	0.01436
	3	4	2537.83	3	1	0.01452
	PROMEDIO	4	2384.64	3	1	0.01337
CAFE CON ARBOLES	1	2.41	2143.392	1	1	0.00577
	2	4	2430.9	1	1	0.00516
	3	4	2297.253	1	1	0.00415
	PROMEDIO	3.47	2296.593	1	1	0.00514
CAFE CON FRUTALES	1	4	2775.773	3	1	0.01633
	2	4	2965.088	3	1	0.01779
	3	4	2819.98	3	1	0.01667
	PROMEDIO	4	2857.029	3	1	0.01695
CAFE SIN SOMBRA	1	4	2241.603	3	1	0.01230
	2	4	2540.64	3	1	0.01454
	3	4	2051.322	3	1	0.01090
	PROMEDIO	4	2276.505	3	1	0.01256

M= Porcentaje de materia orgánica

N= (%L + amf) * (100 - % A) (Ver Tabla F-3)

S= Estructura codificada en el nomograma

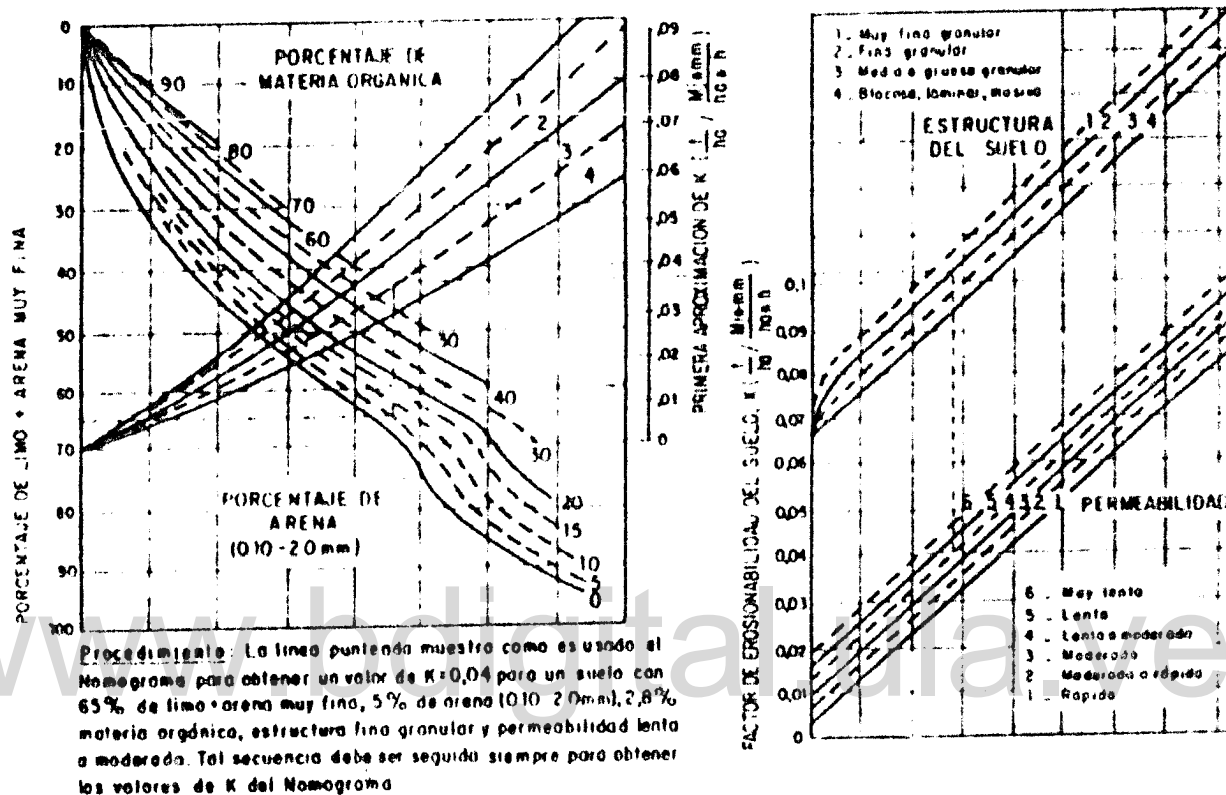
P= Clase de permeabilidad codificada en el nomograma

Apéndice F3. Cálculo del subfactor N

TRATAMIENTO	PARCELA	% L	% a m f.	A	N
BARBECHO DESNUDO	1	30.7	1.69	35	2105.35
	2	33.3	1.8	28.3	2516.67
	3	34	2.1	29.7	2537.83
	PROMEDIO	32.7	1.86	31	2384.64
CAFE CON ARBOLES	1	30.9	1.38	33.6	2143.39
	2	31.7	1.6	27	2430.9
	3	27.1	2.09	21.3	2297.25
	PROMEDIO	29.9	1.69	27.3	2296.59
CAFE CON FRUTALES	1	34.3	1.89	23.3	2775.77
	2	36	1.82	21.6	2965.09
	3	34.3	1.9	22.1	2819.98
	PROMEDIO	34.9	1.87	22.3	2857.03
CAFE SIN SOMBRA	1	34	1.19	36.3	2241.6
	2	36.7	1.22	33	2540.64
	3	29.3	1.64	33.7	2051.32
	PROMEDIO	33.3	1.35	34.3	2276.51

Fuente. Análisis de suelos realizados por las Brs B. Peña y S. Caldera.

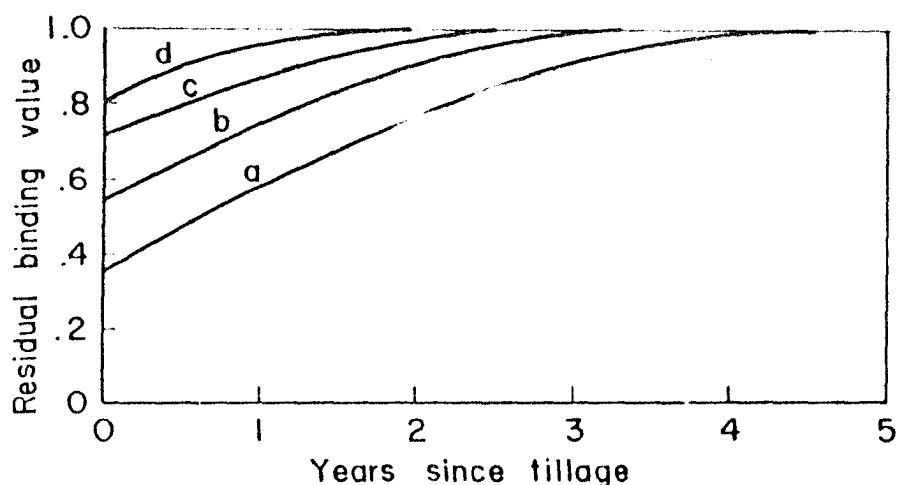
Apéndice F4. Nomograma para la determinación del factor de erosionabilidad del suelo (K) en unidades del Sistema Internacional (Foster et al., 1981).



Apéndice F5. Factor "LS" de la USLE por parcela y por tratamiento.

TRATAMIENTO	PARCELA	A m	Q grados	s %	FACTOR L	FACTOR S McCool	FACTOR LS
BD	1	10	19.34	35.1	0.673	5.064	3.408
	2	10	19.09	34.6	0.673	4.99	3.358
	3	10	18.42	33.3	0.673	4.81	3.237
	PROMEDIO	10	18.93	34.3	0.673	4.95	3.331
CA	1	10	22.29	41	0.673	5.87	3.951
	2	10	20.3	37	0.673	5.33	3.587
	3	10	25.17	47	0.673	7.17	4.825
	PROMEDIO	10	22.54	41.7	0.673	5.94	3.998
CN	1	10	22.59	41.6	0.673	5.95	4.004
	2	10	22.64	41.7	0.673	5.97	4.018
	3	10	21.8	40	0.673	5.74	3.863
	PROMEDIO	10	22.34	41.1	0.673	5.89	3.964
CS	1	10	22.78	42	0.673	6.01	4.045
	2	10	18.98	34.4	0.673	4.96	3.338
	3	10	22.93	42.3	0.673	6.05	4.072
	PROMEDIO	10	21.6	39.6	0.673	5.68	3.823

Apéndice F6.



Apéndice F6. The residual binding subfactor.

Legend: a. Topsoil has good initial fine root mat and subsoil has good structure and permeability. b. Topsoil has poor initial fine root mat and subsoil has good structure and permeability. c. Topsoil absent with poor initial fine root mat. Subsoil has good structure and permeability. d. Topsoil absent with poor initial fine root mat. Subsoil has poor structure and permeability.

Fuente: Dissmeyer y Foster, 1981.

Apéndice F7. Efecto del suelo desnudo, matriz de raíces finas de los árboles y reconsolidación del suelo, en suelos no labrados.

A de suelo desnudo	Porcentaje del suelo desnudo con una matriz densa de raíces finas en los primeros 3 cm de suelo										
	100.00	90.00	80.00	70.00	60.00	50.00	40.00	30.00	20.00	10.00	0.00
0	0.0000										
1	0.0004	0.0004	0.0005	0.0006	0.0007	0.0008	0.0010	0.0012	0.0014	0.0016	0.0018
2	0.0009	0.0009	0.0010	0.0012	0.0014	0.0017	0.0020	0.0023	0.0027	0.0031	0.0036
3	0.003	0.003	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009	0.011	0.012
10	0.005	0.005	0.006	0.007	0.009	0.011	0.013	0.015	0.017	0.020	0.023
20	0.011	0.012	0.014	0.017	0.020	0.024	0.028	0.033	0.038	0.044	0.050
30	0.017	0.018	0.020	0.025	0.029	0.036	0.042	0.050	0.059	0.068	0.077
40	0.023	0.024	0.027	0.034	0.040	0.049	0.058	0.068	0.080	0.092	0.104
50	0.030	0.032	0.038	0.045	0.054	0.064	0.074	0.088	0.103	0.118	0.135
60	0.037	0.039	0.043	0.055	0.067	0.079	0.092	0.109	0.127	0.147	0.167
70	0.047	0.049	0.054	0.068	0.082	0.098	0.117	0.138	0.168	0.187	0.212
80	0.055	0.058	0.066	0.081	0.098	0.116	0.141	0.164	0.192	0.221	0.252
85	0.066	0.069	0.078	0.095	0.115	0.138	0.165	0.195	0.228	0.264	0.3
90	0.075	0.080	0.089	0.111	0.132	0.157	0.187	0.222	0.268	0.301	0.342
95	0.086	0.090	0.102	0.125	0.150	0.179	0.217	0.255	0.298	0.345	0.392
100	0.092	0.104	0.117	0.144	0.180	0.207	0.248	0.293	0.342	0.396	0.450

FUENTE: DISNEYER Y POTER 1982

Apéndice Subfactor cobertura del dosel.

Alteza del dosel metros-(pies)	Porcentaje del suelo desnudo con cobertura de dosel									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0.5 - (1.5)	1.00	0.91	0.83	0.74	0.66	0.58	0.49	0.41	0.33	0.24
1.0 - (3.2)	1.00	0.93	0.86	0.77	0.72	0.65	0.58	0.51	0.44	0.37
2.0 - (6.5)	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55
4.0 - (12.0)	1.00	0.97	0.95	0.93	0.90	0.87	0.84	0.81	0.77	0.76
6.0 - (19.5)	1.00	0.98	0.97	0.96	0.94	0.93	0.92	0.90	0.89	0.87
8.0 - (26.0)	1.00	0.99	0.99	0.97	0.97	0.95	0.95	0.94	0.93	0.93
16.0 - (52.0)	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96
20.0 - (65.0)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

FUENTE: DISNEYER Y POTER 1982

Apéndice F9. Valores del Factor "C" según Dissmeyer y Foster, 1982

ETAPA	TRAT	PÁRCELA	% Suelo Desnudo	H COPA m	% B D CON COR DOSEL	% S D CON COR RAÍCES FINAS	M.O	EFFECTO RFS ENLAZ	FACTOR C
I	BD	1	100				0.7	0.45	0.3150
		2	100				0.7	0.45	0.3150
		3	100				0.7	0.45	0.3150
	CA	1	10	10	40	50	0.7		0.0074
		2	10	10	80	50	0.7		0.0072
		3	3	10	30	50	0.7		0.0041
	CN	1	20	1	40	60	0.7		0.01
		2	10	1	40	60	0.7		0.005
		3	20	1	50	60	0.7		0.008
	CS	1	40	1	25	80	0.7		0.016
		2	30	1	25	80	0.7		0.012
		3	30	1	15	80	0.7		0.013
II	BD	1				80	0.7	0.45	0.3150
		2				80	0.7	0.45	0.3150
		3				80	0.7	0.45	0.3150
	CA	1	10	10	40	50	0.7		0.0074
		2	3	10	80	50	0.7		0.0039
		3	3	10	30	50	0.7		0.0041
	CN	1	10	1	20	60	0.7		0.0054
		2	3	1	20	60	0.7		0.003
		3	10	1	35	60	0.7		0.005
	CS	1	20	1	15	80	0.7		0.0091
		2	3	1	15	80	0.7		0.002
		3	10	1	10	80	0.7		0.004
III	BD	1				60	0.7	0.45	0.3150
		2				60	0.7	0.45	0.0315
		3				60	0.7	0.45	0.0315
	CA	1	3	10	10	50	0.7		0.0042
		2	3	10	80	50	0.7		0.004
		3	3	10	30	50	0.7		0.0041
	CN	1	3	1	5	60	0.7		0.0035
		2	1	1	5	60	0.7		0.0005
		3	3	1	10	60	0.7		0.0033
	CS	1	3	1	10	80	0.7		0.002
		2	3	1	10	80	0.7		0.002
		3	3	1	5	80	0.7		0.0021
IV	BD	1	100			50	0.7	0.45	0.3150
		2	100			50	0.7	0.45	0.3150
		3	100			50	0.7	0.45	0.3150
	CA	1	3	10	10	50	0.7		0.0042
		2	3	10	80	50	0.7		0.004
		3	3	10	30	50	0.7		0.0041

Continúa

Continuación de la Tabla F-9

ETAPA	TRAT	PARCELA	% Suelo Desmenu	H COFA m	% S D CON COR DORPL	% S D CON COB RANOS FINAS	M D	EFFECTO RFS ENLAZ	FACTOR C
IV	CN	1	3	1.5	20	60	0.7		0.003
		2	3	1.5	20	60	0.7		0.003
		3	3	1.5	20	60	0.7		0.003
	CS	1	3	1.2	25	80	0.7		0.002
		2	3	1.2	25	80	0.7		0.002
		3	3	1.2	15	80	0.7		0.002
V	BD	1	100			30	0.7	0.45	0.3150
		2	100			30	0.7	0.45	0.3150
		3	100			30	0.7	0.45	0.3150
	CA	1	10	10	40	50	0.7		0.0074
		2	10	10	80	50	0.7		0.0072
		3	3	10	30	50	0.7		0.0041
	CN	1	40	1.5	45	50	0.7		0.025
		2	40	1.5	50	50	0.7		0.022
		3	40	1.5	35	50	0.7		0.027
	CS	1	40	1.2	20	60	0.7		0.025
		2	30	1.2	20	60	0.7		0.017
		3	30	1.2	30	60	0.7		0.016
VI	BD	1	100			20	0.7	0.45	0.3150
		2	100			20	0.7	0.45	0.3150
		3	100			20	0.7	0.45	0.3150
	CA	1	10	10	40	60	0.7		0.0061
		2	10	10	80	60	0.7		0.0059
		3	3	10	30	60	0.7		0.0034
	CN	1	20	1.8	40	60	0.7		0.01
		2	20	1.8	50	60	0.7		0.0091
		3	35	1.8	35	60	0.7		0.016
	CS	1	30	1.5	10	80	0.7		0.01302
		2	20	1.5	10	80	0.7		0.0091
		3	15	1.5	20	80	0.7		0.0036
VII	BD	1	100			20		0.45	0.315
		2	100			20		0.45	0.315
		3	100			20		0.45	0.315
	CA	1	3	10	40	60	0.7		0.0034
		2	3	10	80	60	0.7		0.0033
		3	3	10	30	60	0.7		0.0034
	CN	1	3	1.8	0	80	0.7		0.0021
		2	3	1.8	0	80	0.7		0.0021
		3	10	1.8	0	80	0.7		0.0042
	CS	1	15	1.5	10	90	0.7		0.008
		2	15	1.5	10	90	0.7		0.008
		3	10	1.5	20	90	0.7		0.0032