

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EROSION HIDRICA Y ESCORRENTIA SUPERFICIAL EN EL SISTEMA DE CAFE

[*Coffea arabica* L.] PORO [*Erythrina poeppigiana*  
(WALPERS) O. F. COOK ] Y LAUREL [*Cordia alliodora*  
(R. & P.) CHAM. ]

EN TURRIALBA, COSTA RICA

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa Conjunto de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar el grado de

*Magister Scientiae*

por

MAURICIO MARTIN BERMUDEZ MENDEZ

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Programa de Recursos Naturales Renovables  
Turrialba, Costa Rica

1980

DEDICATORIA

A MIS PADRES:  
MARIO BERMUDEZ B.  
OLGA MENDEZ R.

A MIS HERMANOS:  
MARIA EUGENIA, LIGIA,  
MARIO, ALFREDO Y PATRICIA.

## AGRADECIMIENTOS

El autor desea dejar constancia de su sincero agradecimiento:

Al Ing. Walter Apolo Berrú, por su colaboración en el diseño e instalación del experimento; así como en la recolección y análisis de los datos.

Al Ing. John Beer, por su constante ayuda en el desarrollo del trabajo; y por sus acertados comentarios.

Al Dr. Gerardo Budowski y al Dr. Gonzalo de las Salas, por permitirle al autor la oportunidad de participar en el proyecto UNU/CATIE que financió la investigación; y por sus continuas muestras de interés.

A los miembros del tribunal: Frank Zadroga, Carlos Burgos y Nico Gewald, por la atención dedicada a la revisión de los manuscritos; en especial al Ing. Pablo Rosero por sus inapreciables consejos.

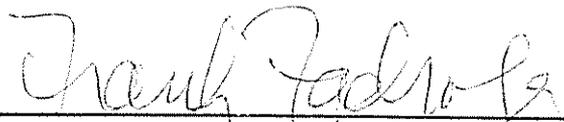
Al personal del Programa de Recursos Naturales Renovables, especialmente a los Srs. Oscar Ovares y Paolo Dittel, por su valiosa cooperación.

Al personal del Laboratorio de Suelos del CATIE, por las facilidades brindadas.

A los estudiantes de la generación 1.978, por la amistad y amabilidad ofrecidas al autor.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y al Gobierno de Holanda, por haberle otorgado la beca que permitió la realización de sus estudios de posgrado.

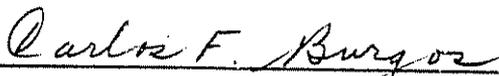
Esta tesis fue aceptada por la Comisión de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales del convenio Universidad de Costa Rica - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.



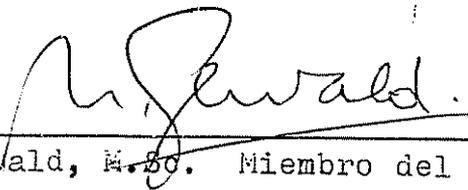
Frank Zadroga, M.Sc. Profesor Consejero



Pablo Rosero, H.Ag. Miembro del Comité



Carlos F. Burgos, Ph.D. Miembro del Comité



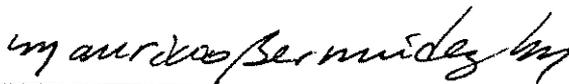
Nico Gewald, M.Sc. Miembro del Comité



Coordinador Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales



Coordinador Sistema de Estudios de Posgrado Universidad de Costa Rica



Mauricio Martín Bermúdez Méndez, Bach.Biol.  
Candidato

## CONTENIDO

Resumen .....	vii
Summary.....	ix
Lista de cuadros.....	xi
Lista de figuras.....	xiii
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION DE LITERATURA.....	2
2.1. Definición de erosión hídrica.....	2
2.2. Factores que afectan la erosión hídrica.....	2
2.2.1. El factor suelo.....	3
2.2.2. El factor topografía.....	3
2.2.3. La cobertura vegetal.....	4
2.2.4. Las lluvias.....	4
2.2.5. La actividad humana.....	5
2.3. Cuantificación de la erosión.....	6
2.4. Consecuencias de la erosión.....	7
2.5. Erosión en sistemas agroforestales.....	7
2.6. Erosión en Turrialba.....	9
3. MATERIALES Y METODOS.....	11
3.1. Area de estudio.....	11
3.2. Prácticas agronómicas.....	11
3.3. Tratamientos.....	13
3.4. Parcelas experimentales.....	13
3.5. Muestreo de suelos.....	15
3.6. Cobertura del suelo.....	15
3.7. Datos pluviográficos.....	15
3.8. Determinación de la escorrentía.....	16
3.9. Determinación de la erosión.....	17
3.10. Análisis de los datos.....	17
3.11. Utilización de la ecuación universal.....	18

4. RESULTADOS.....	19
4.1. Análisis de suelos.....	19
4.2. Cobertura del suelo.....	21
4.3. Características de las lluvias.....	24
4.4. Escurrimiento superficial.....	29
4.5. Relaciones lluvia-escorrentía.....	31
4.6. Sedimentos y pérdidas de suelo.....	31
4.7. Relaciones lluvia-erosión.....	35
4.8. Correlación escorrentía-erosión.....	35
4.9. Factores de la ecuación universal.....	40
5. DISCUSION.....	42
5.1. Suelos.....	42
5.2. Cobertura del suelo.....	43
5.3. Precipitación.....	44
5.4. Escorrentía superficial.....	46
5.5. Erosión.....	47
5.6. Sistema café.....	48
5.7. Sistema café-poró.....	49
5.8. Sistema café-poró-laurel.....	49
5.9. Parcelas experimentales.....	51
6. CONCLUSIONES.....	52
7. BIBLIOGRAFIA.....	53
8. APENDICE.....	60

## RESUMEN

En Costa Rica el café, principal producto de exportación, se cultiva en todo tipo de pendiente. Es en los terrenos muy inclinados donde la alternativa de establecer plantaciones a pleno sol elevaría el riesgo de erosión acelerada y la contaminación de aguas por sedimentos. Es por esto que debe estudiarse la erosión hídrica en cafetales y las alternativas de manejo que reduzcan las pérdidas de suelo.

En el presente estudio, realizado en Turrialba, Costa Rica, se midió la escorrentía superficial y la erosión en cafetales con una densidad de 2.500 plantas/hectárea. Los suelos son de la serie Colorado con 30% de pendiente. Los sistemas estudiados fueron:

1. Cafetal con sombra manejada de poró ( Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook ).
2. Cafetal con sombra manejada de poró y asocio de árboles maderables de laurel ( Cordia alliodora (Ruiz & Pavón) Cham. ).
3. Cafetal al cual se eliminaron los árboles de sombra.

Se instalaron parcelas de 4 X 10 metros, confinadas por bordes de metal. En la base de las parcelas un sistema colector conducía el agua de escorrentía y los sedimentos a un tanque.

Se tomaron lecturas del volumen de escorrentía superficial y de las pérdidas de suelo por aguacero, durante el período julio-diciembre de 1.979.

Se encontraron valores muy bajos de escorrentía superficial, debido principalmente a la alta permeabilidad y buen drenaje de los suelos. En cuanto a pérdidas de suelo, en los sistemas con árboles la reducción de la erosión fue de 70-85% con respecto a la producida en el cafetal sin

sombra. En vista de esto, los sistemas agroforestales se consideraron como una efectiva práctica de conservación de suelos.

Las lluvias, en el período de estudio, no presentaron el poder erosivo que se esperaba, siendo la precipitación anual más baja que los promedios para la zona. El volumen de escorrentía superficial y las pérdidas de suelo se correlacionaron mejor con la cantidad total de mm de lluvia por aguacero.

Además, se evaluó la biomasa de hojarasca y malezas cada tres meses y se encontró que en los sistemas agroforestales había una menor incidencia de malas hierbas y una biomasa elevada de hojarasca cubriendo el suelo.

## SUMMARY

In Costa Rica coffee, the principal export crop, is cultivated on all slope angles. It is on the highly inclined slopes that the alternative of establishing monocultural plantations ( i.e. without trees ) increase the risk of accelerated erosion and subsequent contamination of water supplies by sediments.

For this reason there is a need to study water erosion in coffee plantations and the management alternatives that reduce soil losses. One possible method is to establish agro-forestry systems.

In Turrialba, for soils of the Colorado series with 30% slope, superficial run-off and erosion was measured in coffee plantations which have a planting density of 2.500 bushes/hectare. The systems studied were:

1. Coffee plantation with managed shade provided by "poró" ( Erythrina poeppigiana ).
2. Coffee plantation with managed shade of "poró" in association with timber producing tree of "laurel" ( Cordia alliodora ).
3. Coffee plantation from which all shade trees had been eliminated.

Plots ( 4 X 10 m ) bordered by metal plate strips were established. A collection system, which carried run-off and sediments to a tank, was situated at the foot of each plot. Individual storm and daily readings were taken during the period July-December, 1979.

Very low superficial run-off values were found, principally because of the high permeability and good drainage of the soil. With respect to soil losses a reduction in the erosion of 70-85% was recorded in the systems with trees when compared with that produced by a coffee plantation without shade. Thus the agro-forestry systems can be classed as an effective soil conservation practice.

The rain during the study period did not provide the erosive power which was expected owing to a much lower annual precipitation than the recorded average for the zone. The superficial run-off volume and the soil losses were better correlated with the total rainfall ( mm ) per storm.

In addition leaf litter and weeds were evaluated every 3 months and it was found that in the agro-forestry systems there is a lower weed density and increased biomass of leaf litter covering the soil.

## LISTA DE CUADROS

### TEXTO

CUADRO No.		Página
1	Promedio de las características del perfil de los suelos de la serie Colorado en las parcelas de estudio, según tratamientos.....	20
2	Biomasa de malezas y hojarasca en g/m <sup>2</sup> por tratamientos, cada tres meses.....	23
3	Precipitación mensual en mm para las estaciones Turrialba y Florencia Sur.....	25
4	Valores promedio para la lluvia neta y la intercepción en % de la lluvia total, por tratamientos.....	25
5	Características mensuales de las lluvias medidas en la estación Florencia Sur, 1979.....	27
6	Resumen mensual de la escorrentía en % y m <sup>3</sup> /ha en el período de estudio, según tratamientos.....	30
7	Resumen mensual de la erosión en g/l y Kg/ha en el período de estudio, según tratamientos.....	34

### APENDICE

A 1	Metodología para el análisis del perfil del suelo.....	61
A 2	Análisis de varianza para perfiles de suelo, según parcelas y tratamientos.....	62
A 3	Características de las lluvias no erosivas durante el período de estudio, de la estación Florencia Sur.....	63
A 4	Características de las lluvias erosivas durante el período de estudio, de la estación Florencia Sur.....	64
A 5	Valores promedio para la escorrentía y la erosión, por tratamientos.....	65

CUADRO No.

Página

A 6	Análisis estadístico de las variables estudiadas.....	66
A 7	Análisis de varianza de las características estudiadas.....	67
A 8	Análisis matemático de las regresiones entre las características de las lluvias, el volumen de escorrentía y la erosión en eventos individuales, por tratamientos.....	68
A 9	Lista de especies vegetales encontradas en los muestreos de malezas.....	69
A 10	Costos aproximados de la instalación de las parcelas.....	70

## LISTA DE FIGURAS

### TEXTO

FIGURA No.		Página
1	Area de estudio.....	12
2	Parcela de escurrimiento.....	14
3	Distribución mensual de las caracte- rísticas de las lluvias.....	28
4	Relaciones características de la lluvia-escorrentía.....	32
5	Relaciones características de la lluvia-erosión.....	36
6	Distribución mensual de la escorrentía y la erosión.....	38
7	Relaciones escorrentía-erosión.....	39

### APENDICE

A 1	Localización de las parcelas y los árboles de laurel.....	71
A 2	Localización de los cafetos y los árboles de poró.....	72
A 3	Localización de los colectores de lluvia.....	73
A 4	Pluviogramas de lluvias erosivas y no erosivas.....	74

## 1. INTRODUCCION

El manejo de cuencas hidrográficas se basa en afrontar los problemas de erosión acelerada, inundaciones y las necesidades de agua que genera la actividad humana.

El uso inadecuado de la tierra es una fuente de desequilibrios ecológicos e hidrológicos, los cuales deben solucionarse mediante técnicas apropiadas que permitan la explotación racional de los recursos.

En Costa Rica, un país netamente agrícola, el café se cultiva tanto en terrenos planos como inclinados. En estos cafetales cultivados en laderas se deben realizar prácticas de conservación de suelos para reducir la escorrentía superficial y proteger el suelo. Sin embargo, frecuentemente estas prácticas representan un gasto adicional, no reportan beneficios económicos directos y acusan una reducción en la productividad del cultivo.

Los sistemas agroforestales, por ejemplo la combinación de café con sombra manejada y árboles maderables, pueden ser una alternativa de manejo viable que disminuya las pérdidas de suelo y agua.

Esto justifica el presente estudio sobre el efecto de los árboles en la erosión y la escorrentía superficial producida en cafetales, cuyos objetivos son:

1. Determinar la magnitud de la escorrentía superficial y la erosión en cafetales sin sombra, cultivados en suelos de la serie Colorado con 30% de pendiente.
2. Evaluar la influencia de dos especies forestales sobre las pérdidas de suelo y la escorrentía superficial producidas en cafetales.
3. Establecer la relación entre las características de los aguaceros y las pérdidas de suelo y agua.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1. Definición de erosión hídrica:

La erosión hídrica se define como el desprendimiento y arrastre de partículas de suelo por acción del agua. Las gotas de lluvia desprenden el suelo y el agua de escorrentía es la encargada de realizar el transporte y la sedimentación (25, 37, 45, 63 ).

Este tipo de erosión puede presentarse en forma laminar, de surcos, de cárcavas o de pérdidas masivas. La erosión laminar es menos evidente, y a veces la más dañina, al lavar el suelo más fértil y que contiene los fertilizantes que se aplican al cultivo (25).

### 2.2. Factores que afectan la erosión hídrica:

La erosión hídrica puede considerarse como una función de dos componentes: erosividad y erodabilidad. La erosividad es la capacidad de la lluvia para producir erosión, mientras que la erodabilidad es la susceptibilidad del suelo a ser erodado, que depende de las características propias de cada suelo, la topografía y el manejo que recibe ( 21, 24, 25, 63 ).

Las relaciones entre la erosión y sus causas se han expresado mediante la ecuación universal de pérdidas de suelo:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P , \text{ donde}$$

A = pérdidas de suelo

R = el factor lluvia

K = el factor erodabilidad del suelo

LS = el factor longitud y pendiente del declive

C = el factor cultivo o cobertura

P = el factor prácticas de conservación

Según Dourojeanni y Paulet (21), los factores que intervienen en el proceso de la erosión son de dos tipos : pasivos y activos. Los factores pasivos son el suelo, la

topografía y la cobertura vegetal, mientras que el factor activo es la lluvia. La actividad humana puede actuar sobre los factores pasivos para minimizar el efecto de las lluvias y reducir la energía del agua de escurrimiento.

#### 2.2.1. El factor suelo:

Las características propias de cada suelo determinan su grado de susceptibilidad a la erosión. Weischmeier y Mannering (75) encontraron 24 características de los suelos relacionadas con la erosión. Sin embargo, parece ser que las más importantes son el contenido de materia orgánica, arena y arcilla, así como la estructura, el espesor, la permeabilidad y la infiltración. Para efectos prácticos, el índice de erodabilidad se determina basándose en la textura, estructura, permeabilidad y el porcentaje de materia orgánica (74).

El agua que un suelo retiene depende en parte de su contenido de materia orgánica (71), cuyo papel en el mejoramiento de la estructura es muy importante (33). Además, actúa como formador de agregados, aumentando la porosidad (29) y la velocidad de infiltración (31). En términos generales, la permeabilidad es un indicador de la resistencia a la erosión superficial (56), ya que la infiltración, la escorrentía y la erosión son procesos muy relacionados entre sí.

#### 2.2.2. El factor topografía:

Las pérdidas de suelo se incrementan exponencialmente con el porcentaje de la pendiente (25). Especialmente en terrenos inclinados el arrastre de suelos resulta problemático. Al caer las gotas de lluvia sobre una superficie inclinada el desprendimiento y salpicamiento de las partículas de suelo producen un movimiento neto hacia abajo (45). Además, la velocidad del agua es proporcional a la gradiente del terreno (25), y al duplicarse la velocidad del agua se aumenta su poder de arrastre 32 veces (37).

Por otra parte, las pérdidas de suelo son directamen-

te proporcionales a la longitud del declive. A mayor longitud debe esperarse una mayor cantidad de suelo erosionado (72), especialmente en la parte final del declive (25).

### 2.2.3. La cobertura vegetal:

Varios autores (46,54,63) coinciden en que la vegetación protege el suelo contra la erosión, principalmente de las siguientes maneras :

1. Protección directa del impacto de las gotas de lluvia.
2. Efecto sujetador de las raíces.
3. Mejoramiento de la estructura del suelo y de la infiltración, por aumento del contenido de materia orgánica en el suelo.
4. Reducción del volumen y velocidad del agua de escorrentía superficial, disminuyendo su poder erosivo.

En terrenos agrícolas la densidad del cultivo y el grado de cobertura del suelo condicionan la posibilidad de erosión (25). Es en estos terrenos en donde ocurre un peligroso aumento de las condiciones propicias para la erosión.

Los bosques son la manera más eficaz de reducir la erosión al mínimo. El efecto de los bosques se debe principalmente a los diferentes estratos de vegetación que interceptan la lluvia reduciendo su energía, y a la presencia de un mantillo protector del suelo ( 25, 26 ). En los bosques tropicales las pérdidas de suelo por erosión hídrica son muy bajas (54).

En general, la infiltración en terrenos boscosos es mucho mayor que en terrenos agrícolas (14, 77 ), por lo tanto es menor la escorrentía y el peligro de erosión.

### 2.2.4. Las lluvias:

Para que ocurra erosión es necesaria una fuente de energía. El poder erosivo de las lluvias depende de su energía cinética, y ésta es una combinación de su intensi-

dad, cantidad y frecuencia (21).

Según Suárez de Castro (62), la precipitación es el factor climático que ejerce mayor influencia sobre la erosión, pero que son las características cuantitativas de los aguaceros individuales ( y no los promedios o totales) las que están relacionadas con las pérdidas de suelo. Son pues, la intensidad y la duración dos aspectos importantes de un estudio sobre erosividad de la lluvia.

Existen varios índices para estimar el poder erosivo de las lluvias. Uno de ellos es el EI-30, que tiene un alto coeficiente de correlación con las pérdida de suelo y con la escorrentía (43,59). Este índice se calcula para eventos individuales mediante registros pluviográficos, analizando intervalos de al menos treinta minutos (21).

En Turrialba, Costa Rica, Rocha (59) determinó que la precipitación y las pérdidas de suelo se correlacionaban mediante un modelo logarítmico, mientras que la correlación entre el índice EI-30 y la erosión era de tipo lineal. Barnett (7) y Suárez de Castro (63) presentan correlaciones lineales simples entre la erosión y la intensidad máxima, para categorías de aguaceros individuales.

Sin embargo, es de esperar que la relación lluvia-erosión sea de tipo exponencial.

#### 2.2.5. La actividad humana:

Entre las principales actividades humanas que favorecen la erosión acelerada tenemos la agricultura en terrenos empinados, sistemas y herramientas inadecuadas de cultivo, la deforestación, las quemas, la construcción de caminos y el sobrepastoreo (24, 25).

Según Lal (44), las prácticas de manejo de suelos para la conservación se basan en dos aspectos fundamentales: mantener una tasa de infiltración elevada y conducir el agua de escorrentía de una manera segura. Estas pueden aplicarse antes de sembrar o cuando ya se ha establecido el cultivo (30).

En general, las prácticas de conservación de suelos pueden dividirse en :

1. Mecánicas: Entre éstas tenemos canales de desviación, terrazas, terrazas individuales, bancales, cajuelas y barreras muertas (70). Generalmente son de alto costo y requieren mantenimiento (30).
2. Agronómicas y culturales: Entre éstas están la distribución adecuada de los cultivos, cultivos en contorno, cultivos en fajas, cultivos de cobertura, mínimo laboreo, barreras vivas y mulch (63). Aunque son efectivas, de menor costo y más fáciles de establecer y mantener que las mecánicas (63, 70, 72), a veces implican un gasto económico y reducen la productividad del cultivo (61).

### 2.3. Cuantificación de la erosión:

Existen diversas formas de estimar la magnitud de la erosión, desde la utilización de la ecuación universal de pérdidas de suelo hasta la medición de sedimentos acarreados por los ríos en cuencas hidrográficas completas. Sin embargo, la medición de la erosión en condiciones naturales es muy difícil. Los principales métodos experimentales para cuantificar las pérdidas de suelo son: transectos en cárcavas, clavos con rondallas, corcholatas de botellas, parcelas de escurrimiento de diversos tamaños y técnicas con simuladores de lluvia (16, 25, 63).

Uno de los sistemas más prácticos, confiables y útiles es el método de las parcelas de escurrimiento, donde se trata de simular al máximo las condiciones naturales. Estas parcelas son muy utilizadas con fines demostrativos y de enseñanza. El método consiste en confinar una área determinada de terreno, de manera que se puede medir la escorrentía superficial y la erosión mediante un sistema

colector que conduce las aguas de escorrentía a un tanque de depósito de sedimentos (25, 28, 59).

#### 2.4. Consecuencias de la erosión:

Los daños causados por la erosión pueden ser de dos tipos:

1. Daños directos: Cuando la pérdida de suelo fértil afecta directamente el rendimiento del cultivo. La pérdida gradual de suelos reduce los rendimientos consecutivos de las cosechas, hasta que el terreno es abandonado (24). Al erodarse los suelos disminuye su contenido de materia orgánica (34), lo cual afecta la producción de los cultivos. En terrenos de alta pendiente la erosión puede ocasionar la pérdida de plantas recién sembradas. La formación de surcos, cárcavas o derrumbes impiden en muchos casos el laboreo del terreno (24).

2. Daños indirectos: Según Kunkle (40), el sedimento es la forma más común de contaminación de aguas, y causa daños a la vida silvestre, eleva los costos del tratamiento de aguas potables, daña los canales de riego, puentes y otras obras, favorece las inundaciones y afecta el valor estético y biológico de los lagos. El suelo erosionado al entrar en suspensión en las aguas de los ríos reduce su calidad, tanto para consumo humano como para irrigación (51). La magnitud de los daños indirectos se manifiesta en los desordenes ecológicos e hidrológicos, entre los cuales tenemos la sedimentación de embalses y lagos, las sequías y las inundaciones (24, 25, 42).

#### 2.5. Erosión en sistemas agroforestales:

Los sistemas agroforestales son aquellos sistemas de producción agrícola basados en cultivos anuales o permanentes que incorporan un componente forestal, ya sea como árboles de sombra, cercos vivos, cortinas rompevientos o con fines comerciales para extracción de made-

ra, leña, postes, puntales, resinas, pulpa para papel y otros (13). Los árboles son utilizados para la recuperación de suelos y el control de la erosión en terrenos marginales (8,41); donde, además de protección al suelo, producen beneficios económicos.

En Costa Rica existen gran variedad de sistemas agroforestales (8,13). El de mayor importancia económica es el cultivo de café asociado con árboles de sombra manejada, generalmente de Erythrina spp e Inga spp. El establecimiento de plantaciones de café en terrenos inclinados es muy frecuente. En estos terrenos se producen serios problemas de erosión, pérdida de fertilidad y contaminación de aguas por sedimentos, por lo cual es necesaria la aplicación de técnicas de control de la escorrentía y la erosión (9).

Las prácticas de conservación de suelos de tipo mecánico más utilizadas en cafetales son las terrazas de varios tipos y canales de desvío (64), siendo las más comunes los canales en terrenos de 10 a 30% de pendiente; aunque son difíciles de construir en plantaciones ya establecidas. Entre las prácticas agronómicas y culturales más comunes están la siembra en contorno, plantas de cobertura, abonos verdes y barreras vivas (64). Según Archila (6), los principales métodos de conservación de suelos en cafetales son la cobertura del suelo, la siembra en curvas de nivel, las barreras vivas, las barreras muertas, las zanjas de desviación y las terrazas.

Numerosos estudios realizados por Suárez de Castro, en Colombia, establecen la relación entre la precipitación, la escorrentía y la erosión en cafetales; y se deduce que la mejor defensa contra la erosión es un buen sombrero y el uso de cultivos de cobertura. El mismo autor encontró menos erosión en cafetales con sombra que en cafetales sin sombra (62,63,64,65,67). Por su parte, Rodríguez (61), determinó que las pérdidas de suelo en cafetales al sol eran

mayores que en cafetales con sombra, y asevera que " un cafetal bajo sombra y manejado en forma adecuada ejerce un control de la escorrentía y la erosión similar al alcanzado por los bosques ". Márquez, citado por Uribe (72), determinó que en Brasil se produce un 72% menos de erosión en cafetales con sombra que en cafetales a pleno sol. Según Uribe (73), el sombrero de los cafetales contribuye notablemente a reducir las pérdidas de suelo hasta en un 44%, y concluye que en cafetales sin sombra deben usarse prácticas de conservación de suelos. Concordando con esto, Chaves (19) enfatiza que los árboles de sombra pueden ser un factor favorable en la conservación y mejoramiento de los suelos. Al eliminar los árboles se hace necesario el uso de prácticas de conservación de suelos (50). Por otro lado, Lozano (46) manifiesta que un cafetal bien sombreado se asemeja a un bosque en su papel protector del suelo.

Aparentemente, la protección que brindan los árboles de sombra se debe principalmente al mantillo de hojas que se acumula en el suelo y al efecto sujetador de las raíces; y no al efecto directo de las copas (9,66). Sin embargo, según Budowski (13), se conoce poco del beneficio económico y ecológico de los árboles dentro de los agrosistemas.

## 2.6. Erosión en Turrialba:

Analizando los datos pluviográficos en Turrialba, Amézquita (4), encontró un valor promedio en el índice de erosividad EI-30 de 122, para los años 1.958 a 1.974. El promedio anual de precipitación fue de 2.680 mm. Estos valores de erosividad son considerados bajos, al compararlos con los de otros sitios de menor precipitación. Esto se debe a que las intensidades máximas para cada aguacero no son tan altas.

Amézquita y Forsythe (5), mediante la ecuación universal de pérdidas de suelo, determinaron los valores de erosión para suelos de las series Colorado e Instituto. U-

tilizando diferentes valores para los factores cultivo y topografía, encontraron que en pendientes mayores de 10% era necesario realizar prácticas de conservación de suelos, ya que la erosión estimada era superior al límite tolerable, establecido en 10 Ton/ha/año.

Según Aguirre (1), los suelos de la serie Colorado son susceptibles a erosión, presentan limitaciones para la elección del cultivo y requieren prácticas de conservación de suelos. Amézquita (4) recomienda para estos suelos el uso de prácticas de conservación, en pendientes de hasta 25%. Para pendientes mayores sugiere la necesidad de cobertura boscosa o el uso de cultivos de semi-bosque. Sin embargo, los altos valores de infiltración de estos suelos (4,27) hacen suponer una baja escorrentía y erosión.

Ives (39) instaló parcelas de escurrimiento en terrenos de 16-45% de pendiente, y encontró que la mayor parte de la erosión fue causada por una tormenta excepcional. En general, atribuye la poca escorrentía y erosión a la alta permeabilidad de los suelos, resultado de los agregados de las arcillas que aumentan la porosidad y la infiltración.

Rocha (59), utilizando parcelas de escurrimiento, determinó la magnitud de las pérdidas de suelo en terrenos de 40-60% de pendiente, y concluyó que la cobertura vegetal fue factor muy importante en la tasa de pérdidas de suelo.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Area de estudio:

La investigación se llevó a cabo en el sitio llamado Florencia Sur, ubicado dentro del área experimental del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) en Turrialba, Costa Rica (figura 1). La temperatura y la precipitación promedio anual es de 22,3°C y 2.260 mm respectivamente, según la estación meteorológica del CATIE (15). El lugar de estudio está a una altura de cerca de 630 msnm y dentro de la zona de vida Bosque premontano muy húmedo del sistema Holdridge (38).

El suelo se clasifica como un Typic Dystropepts (1) de la serie Colorado. Está cultivado con cafetos de las variedades Typica y Caturra, con espaciamientos de 2 X 2 m en cuadro y sombra manejada de poró (Erythrina poeppigiana) en cuadros de 6 X 6 m. Una parte del cafetal presenta un tercer estrato formado por árboles maderables de laurel (Cordia alliodora), con una densidad aproximada de 80 árboles/ha, área basal de 13,53 m<sup>2</sup>/ha, diámetro de fustes (DAP) promedio de 37,2 cm y una altura total promedio de 20 m (datos del autor, 1979).

#### 3.2. Prácticas agronómicas:

El cafetal es bastante antiguo, de más de 15 años, y fue manejado siguiendo las prácticas tradicionales de la zona de Turrialba.

En el mes de enero fue realizada la primera poda del poró y en junio la segunda, poco antes de iniciarse el estudio. Los productos de las podas se distribuyeron sobre el suelo de las parcelas.

El primer control de malezas se realizó a principios de junio y el segundo control a fines de octubre. Se utilizó una mezcla de Gramoxone y 2-4-D ( 4,45 l/ha).

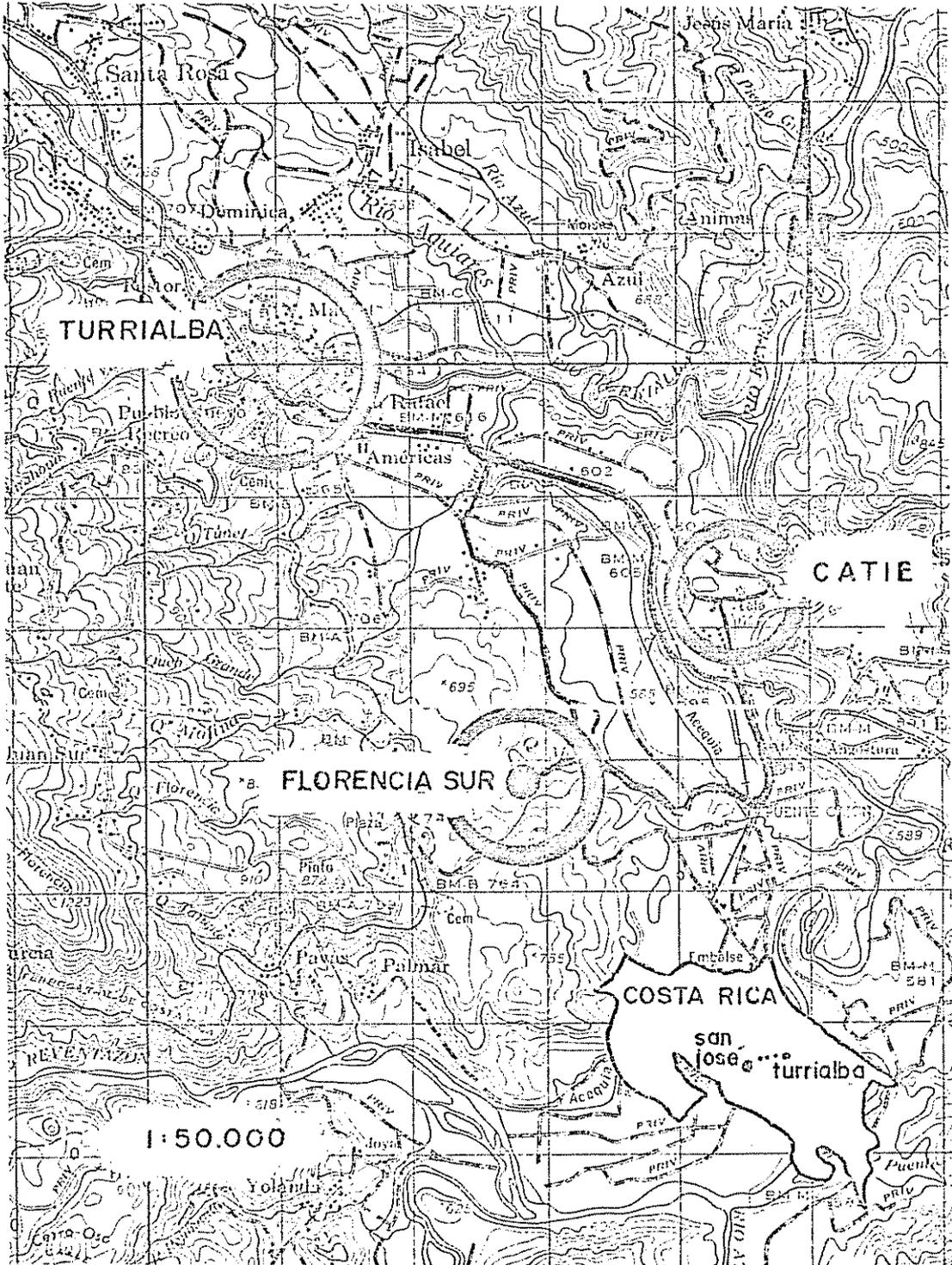


FIGURA 1. AREA DE ESTUDIO.

### 3.3. Tratamientos:

Dentro del cafetal se localizaron tres repeticiones de los siguientes tres tratamientos:

1. Cafetal con sombra manejada de poró (CP).
2. Cafetal con sombra manejada de poró y asocio de laureles (CPL).
3. Cafetal al cual se eliminó los poró (C).

Todas las parcelas tuvieron dos hileras de cafetos, para un promedio de 12 plantas, y dos árboles de poró en la calle central (figura A2). En marzo, en el tercer tratamiento se cortaron los árboles de poró a una altura de 1,5 m y se limpió la hojarasca del suelo, para sembrar una plantación sin sombra, si bien la densidad de 2.500 plantas/ha es menor que la recomendada para plantaciones a pleno sol (57).

### 3.4. Parcelas experimentales:

Por las condiciones del estudio, se decidió establecer parcelas de escurrimiento de 4 m de ancho por 10 m de largo. Las parcelas se construyeron dos meses antes de comenzar las mediciones, y estaban delimitadas por bordes de metal. Estas láminas de metal, de 25 cm de ancho, se enterraron 5-10 cm en el suelo, tratando de producir una mínima alteración al suelo. En la parte inferior de la parcela se instaló un sistema colector, confeccionado con cunetas de concreto de 15 cm de diámetro, unidas con cemento.

El agua de escorrentía superficial y el suelo erodado fueron conducidos a un tanque colocado en una calicata. Las cunetas permanecieron cubiertas con láminas de metal y los tanques con techos plásticos, para evitar la lluvia directa dentro del sistema colector (figura 2).

Las parcelas tuvieron una pendiente promedio del 30% y un microrelieve relativamente uniforme.

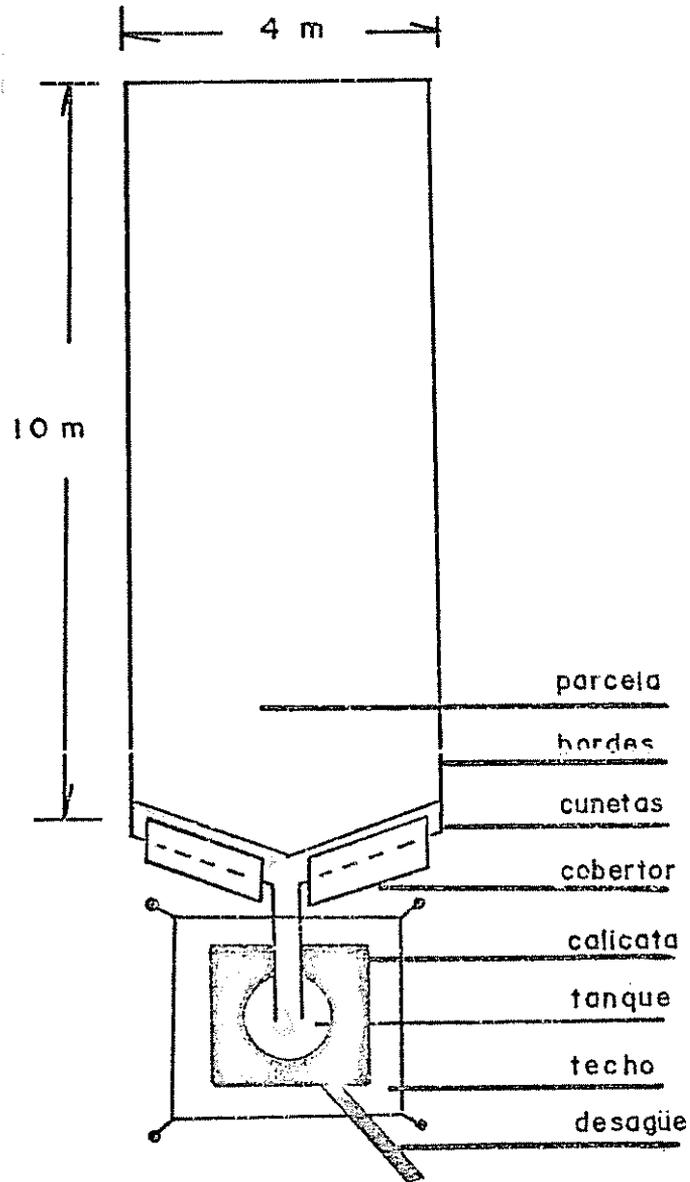


FIGURA 2. PARCELA DE ESCURRIMIENTO

### 3.5. Muestreo de suelos:

En marzo se realizó el muestreo completo del suelo, y en diciembre se hizo una comprobación de densidad aparente. Las muestras para el análisis completo se tomaron de la calicata localizada en la base de cada parcela, a 0, 20, 40 y 60 cm de profundidad.

Se determinaron las siguientes características: capacidad de campo (0,33 bar), punto de marchitez permanente (15 bares), densidad aparente, densidad de partículas, humedad gravimétrica, humedad volumétrica, espacio poroso total, espacio poroso capilar, espacio poroso no capilar, espacio aéreo, textura y contenido de materia orgánica. Los análisis de laboratorio se realizaron siguiendo las metodologías que se muestran en el cuadro A 1.

### 3.6. Cobertura del suelo:

Al iniciar el experimento todas las parcelas tenían la hojarasca producida por las podas anuales del poró, a excepción del tercer tratamiento cuyo suelo fue desprovisto de hojas y residuos vegetales. Las malezas habían sido eliminadas con anterioridad mediante una aplicación de herbicida en todas las parcelas.

A partir de marzo, se hizo una evaluación de la cantidad de malezas y hojarasca cada tres meses, en términos de peso fresco y seco, para cada tratamiento. Para esto se tomaron cuatro muestras al azar de 0,5 X 0,5 m de superficie en cada una de las parcelas. También se describió la composición florística de las malezas, haciendo la identificación taxonómica a nivel de especie.

### 3.7. Datos pluviográficos:

En el propio lugar del estudio se instaló un pluviógrafo de registro diario, con bandas de 10 mm de altura y lectura cada diez minutos. Del análisis de las cintas del

pluviógrafo se obtuvieron los datos sobre duración, cantidad e intensidad de la lluvia por evento, así como la intensidad máxima en treinta minutos. El índice de erosión EI-30 se calculó midiendo la energía cinética de la lluvia a intervalos de treinta minutos, multiplicada por la intensidad máxima en treinta minutos; siguiendo la metodología convencional (21). Se consideró como un evento individual la lluvia separada de la siguiente precipitación por al menos seis horas (21).

Además, durante los meses de noviembre y diciembre se midió la lluvia que caía directamente sobre el suelo de cada una de las parcelas, utilizando diez colectores de  $78 \text{ cm}^2$  de área. Estos colectores se distribuyeron al azar en veintisiete posibles posiciones dentro de cada parcela, según coordenadas cada metro ( figura A 3). El volumen de agua colectado en cada recipiente se expresó como un porcentaje de la lluvia total medida fuera del cafetal, cuyo complemento al total se denominó porcentaje de escorrentía.

### 3.8. Determinación de la escorrentía:

Desde julio hasta diciembre de 1.979, después de cada aguacero, se midió el volumen de agua de escorrentía superficial colectado en el tanque de cada parcela. Para medir el agua colectada se utilizó un recipiente de tres litros de capacidad, graduado cada medio litro. Cuando la cantidad de agua era mayor, se midió la altura del agua en el tanque y se multiplicó por el área del tanque. De tal manera se obtuvo el volumen de agua de escorrentía superficial, el cual se expresó en metros cúbicos por hectárea.

El volumen de agua de lluvia caída sobre la parcela se calculó multiplicando los mm de la precipitación por el área de la parcela en metros cuadrados. El agua colectada en el tanque se expresó en porcentaje respecto a este volumen total, obteniéndose así el porcentaje de escorrentía por evento individual.

### 3.9. Determinación de la erosión:

Para medir los sedimentos y pérdidas de suelo se recurrió a la metodología recomendada por el Colegio de Posgrado de Chapingo, México (16), que consta de los siguientes pasos:

1. Después de cada aguacero se miden los litros de agua de escorrentía colectada en el tanque.
2. Se revuelve bien el agua dentro del tanque y se toma una muestra de un litro, antes de que los sedimentos se asienten.
3. Se filtra al vacío la muestra ( se usó papel de filtro #4 ó equivalente) y se determina el peso de los sólidos secados al horno. Este valor se multiplica por el volumen colectado en el tanque para calcular la pérdida de suelo ocurrida.
4. Para expresar la erosión en términos de kilogramos por hectárea se multiplica el peso del suelo erodado por la fracción de hectárea que representa la parcela.

Las pérdidas de suelo se expresaron en kilogramos por hectárea y los sedimentos en suspensión se expresaron en gramos por litro, para cada evento individual.

### 3.10. Análisis de los datos:

Para cada tratamiento se determinó en índice de correlación y la fórmula matemática que mejor expresa las relaciones entre las características de la lluvia, la escorrentía superficial y la erosión.

Se determinó las diferencias entre medias mediante el criterio de la prueba de "F" y de Duncan, para el modelo estadístico:

$$Y_{ij} = u + T_i + E_{ij} \quad \text{donde:}$$

$Y_{ij}$  = observación individual

$u$  = media general

$T_i$  = efecto del tratamiento

$E_{ij}$  = error experimental

### 3.11. Utilización de la ecuación universal:

Se calculó el factor LS, para una pendiente  $s = 30\%$  y una longitud de  $l = 10$  metros, mediante la fórmula:

$$LS = 1(0,0138 + 0,00138 s^2) \quad (21)$$

Se asumió el valor de 0,103 para el factor suelos (5) y un valor de 1,0 para el factor prácticas de conservación en el tratamiento de café sin sombra. Los valores de A y R para cada evento se obtuvieron de los resultados del experimento. El factor cultivos y los factores de prácticas de conservación en los sistemas agroforestales se calcularon despejando de la ecuación. Se asume que la adición de árboles se considera como una práctica de conservación .

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Análisis de suelos:

Los suelos de la serie Colorado son bien desarrollados y profundos. Los resultados del análisis del perfil del suelo para cada tratamiento se muestra en el cuadro 1.

En la densidad aparente se aprecia un aumento progresivo con la profundidad, lo mismo que la densidad de partículas. La humedad, tanto gravimétrica como volumétrica, aumenta conforme se acerca a la tabla de agua, lo que hace presumir una capa impermeable a niveles mayores. En las calicatas del tratamiento café-poró-laurel se observó afloración de agua a 100-120 cm.

En cuanto a espacio poroso total, este disminuye con la profundidad, notándose la misma tendencia en el espacio no capilar y aéreo; mientras que el espacio capilar aumenta.

En niveles inferiores se nota un incremento en la compactación y en el contenido de arcilla. Esto último hace esperar un movimiento de agua hacia abajo (29) en los niveles inferiores.

En el horizonte superficial la estructura es granular de media a gruesa. En cuanto a infiltración, los datos obtenidos por otros autores (5,27) muestran una velocidad alta, de 30-45 cm/hora.

El análisis estadístico mostró diferencias significativas en cuanto a densidad aparente y las características afectadas por ésta, principalmente en los niveles superiores (cuadro A 2). El promedio general fue de  $0,94 \text{ g/cm}^3$ .

Un segundo muestreo realizado en la época lluviosa no mostró diferencias entre las densidades aparentes del nivel superficial. En esta ocasión el promedio general fue  $0,86 \text{ g/cm}^3$ , menor que la medición realizada durante la época seca.

Otra característica que presentó diferencias signi-

CUADRO 1. Promedios de las características del perfil de los suelos de la serie Colorado en las parcelas de estudio, según los tratamientos. (ver simbología en cuadro A 1).

Tratam. Profund.	g/cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> — %													
	D.A.	D.P.	H.G.	H.V.	E.P.T.	E.F.C.	E.P.N.C.	E.A.	C.O.	P.M.P.	M.O.	Arc.	Lím.	Aren.
CAFE-PCRC														
0-5 cm	0,86	2,48	46,37	39,78	65,37	28,02	38,35	26,59	38,36	26,89	10,13	49,33	22,67	28,00
20 cm	0,98	2,62	44,33	42,93	64,36	33,00	31,35	23,15	38,74	26,10	2,21	64,67	18,67	16,67
40 cm	1,04	2,53	47,12	48,77	58,83	38,39	20,45	10,06	40,08	24,86	2,28	66,67	18,00	15,33
60 cm	1,08	2,66	48,32	52,01	59,47	42,34	17,14	7,47	42,23	30,42	1,18	61,33	24,00	14,67
CAFE-PCRC LAUREL														
0-5 cm	1,04	2,39	39,10	40,21	56,36	36,75	19,60	25,93	41,42	27,18	10,05	40,67	30,67	28,67
20 cm	1,05	2,58	38,72	40,58	59,48	33,97	25,32	18,91	36,33	26,41	2,95	53,33	27,33	19,33
40 cm	1,15	2,66	44,76	51,43	56,71	43,22	13,48	5,27	41,07	28,67	2,77	60,00	22,67	17,33
60 cm	1,15	2,61	47,11	54,14	55,88	47,69	8,12	1,73	44,33	25,05	2,08	59,33	24,00	16,67
CAFE														
0-5 cm	0,91	2,45	45,47	41,27	62,91	31,04	31,06	21,66	38,22	23,43	10,59	43,67	24,67	26,67
20 cm	1,03	2,58	44,27	45,57	60,26	36,00	24,12	14,54	38,55	25,46	4,56	62,00	20,00	18,00
40 cm	1,06	2,64	48,23	51,23	59,72	38,96	20,76	7,50	39,73	26,19	2,19	64,67	20,00	15,33
60 cm	1,12	2,66	48,59	53,57	58,27	42,90	15,28	4,70	41,64	27,85	1,03	59,33	24,67	16,00

ficativas entre los suelos es el contenido de limo, siendo la prueba de Duncan significativa solamente entre las comparaciones CP y CPL (cuadros 1 y A 2).

#### 4.2. Cobertura del suelo:

Durante los primeros meses de la investigación (marzo-junio), dentro de las parcelas café-poró (CP) se notó en las malezas una dominancia de Borreria y algunos ejemplares de Momordica. En las parcelas de café (C) aparecieron, además de Borreria y Momordica, elementos secundarios como gramíneas e Impatiens. En las parcelas café-poró-laurel (CPL) había Borreria, Momordica y mucha regeneración natural de laurel.

En cuanto a biomasa de malezas, en CP hubo poca cantidad debido principalmente a la sombra. En C la biomasa fue menor, debido a la mayor penetración de luz solar. En CPL la biomasa de plantas fue elevada, debido a una alta densidad de plántulas de laurel.

A mediados de la estación lluviosa (20-9-79) la regeneración de malezas, luego de un control con herbicida aplicado en julio, mostró la misma tendencia, con una biomasa muy alta en las parcelas del tratamiento C. La composición florística no varió mucho en CP y CPL, pero en C había una mayor diversidad de plantas. Entre las nuevas especies encontradas están Phyllanthus, Sida, Cyperus, Commelina, Ipomoea, Paspalum y Emilia. La gran abundancia de malezas en el tratamiento C obligó a realizar una segunda aplicación de herbicida.

Al final de la época lluviosa (20-12-79) la composición florística varió sustancialmente. En las parcelas CP solo se encontraron unas pocas plántulas de cafetos, producto de la germinación de los residuos de la cosecha. En las parcelas CPL se encontró Impatiens, Ipomoea, Phyllanthus, Cyperus, Drymaria, Desmodium, Borreria y una cucurbitácea. También se apreció una buena germinación de

plántulas de cafeto. En el tratamiento C dominaron las malezas de Impatiens, había muy pocas plántulas de cafetos y aparecen Digitaria, Drymaria y Borreria como elementos menores. En este caso es interesante que anteriormente Borreria cubría la mayor parte del suelo y fue sustituida por Impatiens.

El promedio general de biomasa de malezas fue mayor en el tratamiento C que en CP y CPL. Los coeficientes de variación fueron altos para CP y CPL, pero no para C donde la biomasa de malezas es más regular (cuadro A 6). Se encontró una diferencia altamente significativa entre tratamientos (cuadro A 7). La prueba de Duncan solamente evidenció diferencias significativas entre las biomasas de los tratamientos CP y CPL con respecto al tratamiento C, sin diferencias entre CP y CPL.

Al realizar el primer muestreo de hojarasca (20-6-79) el tratamiento C solamente tenía unas pocas hojas caídas del cafeto, mientras que en los tratamientos CP y CPL tenían un mantillo abundante cubriendo casi la totalidad de la parcela. En CPL la cantidad era mayor, ya que además de los productos de la poda había la acumulación de la defoliación estacional natural de los laureles, ocurrida en la época seca.

En el segundo muestreo, la cantidad de hojarasca en CP y CPL disminuyó notablemente debido a la descomposición de la materia orgánica, acelerada por la llegada de las lluvias. Durante esta época era frecuente encontrar el agua de escorrentía fuertemente coloreada por la materia orgánica en disolución. En las parcelas C la acumulación de hojas del cafeto aumenta, sobre todo por la defoliación producida por el ataque de Pellicularia koleroga, y en menor grado Cercospora coffeicola y Mycena citricolor.

Al final de la estación lluviosa la tendencia se mantuvo, disminuyendo la biomasa de mantillo en los sistemas

CUADRO 2. Biomasa de malezas y hojarasca en g /m<sup>2</sup> por tratamientos, cada tres meses.

FECHA MEDICION	MALEZAS			HOJARASCA		
	CP	CPL	C	CP	CPL	C
20-6-79						
peso fresco	80	168	300	1.340	1.981	28
peso seco	18	26	44	888	1.473	6
% agua	78	84	85	33	24	79
20-9-79						
peso fresco	32	67	522	854	510	147
peso seco	7	10	89	368	304	74
% agua	78	85	83	57	40	50
20-12-79						
peso fresco	27	135	323	569	697	164
peso seco	6	17	38	303	354	111
% agua	77	84	88	47	49	32

agroforestales y aumentando ligeramente en el tratamiento de café sin sombra, donde también se acumulan los restos de las malezas quemadas por el herbicida.

El promedio general de biomasa de hojarasca en el tratamiento CPL fue mayor que en el tratamiento CP. El tratamiento C presentó el valor promedio más bajo. El coeficiente de variación fue muy alto para CPL, lo cual puede estar afectado por el aporte de hojarasca muy alto en la época de la defoliación natural del laurel (cuadro A 6).

En el análisis de varianza (cuadro A 7) se encontró diferencia altamente significativa entre tratamientos. En la prueba de Duncan se encontró que no había diferencia significativa entre CP y CPL, siendo la diferencia entre éstos y C altamente significativa.

En cuanto a contenido de humedad de la hojarasca, expresado como porcentaje de agua, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos. Para el contenido de humedad de las malezas se encontró diferencia significativa (cuadro A 7). Según la prueba Duncan, los promedios de porcentaje de agua en CP son los que difieren de CPL y C, mientras que entre éstos dos últimos no hay diferencia. esto pudo estar relacionado con la composición florística.

#### 4.3. Características de las lluvias:

Debido a que el pluviógrafo de la estación Florencia sur se instaló a fines de junio, los registros de lluvia para el período enero-junio fueron estimados mediante la correlación matemática encontrada entre la precipitación medida en la estación CATIE y la de Florencia Sur durante el período julio-diciembre de 1979. Ambas estaciones están separadas por casi 2,5 Km y la precipitación mensual es muy similar en los dos sitios (cuadro 3).

Los promedios mensuales de 36 años de observaciones en la estación CATIE son más altos que los datos de 1979. Según Amézquita (4), la probabilidad de que ocurriera una lluvia como la de 1979 es de 0,07.

En el cuadro 4 se muestran los valores promedio de lluvia neta (la que cae directamente al suelo) para cada tratamiento. Se aprecia que la lluvia neta en el tratamiento CP es mucho menor que en los otros dos, casi un 25% de la precipitación total no llega al suelo; mientras que en CPL y C la intercepción no llega al 10%. Los coeficientes de variación son bajos y muy semejantes, lo cual indica que las parcelas se comportan en forma parecida, dentro de los tratamientos (cuadro A 6). El análisis estadístico mostró diferencias significativas entre tratamientos (cuadro A 7) y diferencias altamente significativas entre los promedios de CPL y C, con respecto al promedio de CP, utilizando la prueba de Duncan.

CUADRO 3. Precipitación mensual en mm para las estaciones Turrialba y Florencia Sur.

MES	CATIE, TURRIALBA		FLORENCIA SUR
	$\bar{x}$ 36 años	1979	
ENERO	172,7	42,7	32,18 *
FEBRERO	136,1	47,4	28,15 *
MARZO	84,1	51,0	31,96 *
ABRIL	130,8	273,5	267,51 *
MAYO	218,5	205,0	194,85 *
JUNIO	287,8	212,1	202,36 *
JULIO	278,7	124,6	106,20
AGOSTO	240,8	213,2	222,30
SEPTIEMBRE	252,1	223,1	218,10
OCTUBRE	244,7	140,8	146,70
NOVIEMBRE	277,5	154,3	136,70
DICIEMBRE	329,7	189,9	144,40
TOTAL	2.655,5	1.877,6	1.722,21

\* Estimado mediante  $Y = -21,99 + 1,06 X$ ; con  $r^2 = 0,91$   
 $X =$  mm en la estación CATIE,  $Y =$  mm en la estación Florencia Sur, durante 1979.

CUADRO 4. Valores promedio para la lluvia neta y la intercepción en % de la lluvia total, por tratamientos.

MEDICIÓN	CAFE PORO	CAFE PORO LAUREL	CAFE
LLUVIA NETA	76,43	92,57	93,27
INTERCEPCIÓN	23,52	7,43	6,73

Los 121 aguaceros medidos, se dividieron en dos grupos: lluvias no erosivas (las que no produjeron escorrentía) y lluvias erosivas (las que produjeron escorrentía). Los datos se muestran en los cuadros A 3 y A 4.

Las lluvias no erosivas son en su mayoría de poca cantidad total de mm, aunque hay casos en los que a pesar de caer más de 10 mm no se produjo escorrentía. En cuanto a duración, se encontraron lluvias desde unos pocos minutos hasta de más de 12 horas. El promedio para la cantidad total fue de 3,44 mm. Para la duración del evento el valor promedio fue de 3,17 horas.

La intensidad media generalmente fue baja, con un promedio de 1,93 mm/h, mientras que la intensidad máxima en 30 minutos mostró un promedio de 3,23 mm/h.

La característica que aparenta ser típica de lluvias no erosivas es el EI-30 inferior a 1,00; ya que en 76 casos de 77 se mantiene inferior a este valor, mostrando un promedio de 0,23.

Los coeficientes de variación para todas las características de las lluvias no erosivas son altos (cuadro A 7).

Por otro lado, las lluvias erosivas fueron, generalmente, eventos de más de 5 mm, con duraciones variables, intensidades medias de más de 1 mm/h e intensidades máximas altas. En la mayor parte de los casos el EI-30 es muy alto, condicionado por la intensidad máxima.

Los mayores aguaceros fueron de 30 a 50 mm, lloviendo en un caso hasta 43,5 horas. La intensidad media más alta no alcanzó los 20 mm/h y la intensidad máxima no superó los 40 mm/h. Varios EI-30 alcanzaron valores mayores a los 30,00.

El promedio para la cantidad total fue de 16,26 mm, para la duración fue de 5,6 horas, para la intensidad media fue de 4,71 mm/h, para la intensidad máxima fue de 13,86 mm/h y para el EI-30 fue de 7,27.

CUADRO 5. Características mensuales de las lluvias medidas en la estación Florencia Sur, en 1979.

MES	LLUVIAS NO EROSIVAS			LLUVIAS EROSIVAS		
	mm	eventos	EI-30	mm	eventos	EI-30
JULIO	16,8	8	1,04	87,4	9	19,67
AGOSTO	41,0	15	2,76	181,3	10	76,38
SETIEMBRE	47,4	12	3,68	170,7	7	93,49
OCTUBRE	62,3	15	4,54	84,4	5	25,51
NOVIEMBRE	52,2	14	3,27	84,5	7	43,59
DICIEMBRE	37,1	14	2,34	107,3	6	60,34
TOTALES	259,1	78	17,63	715,3	44	318,98

En el análisis estadístico de lluvias erosivas y no erosivas se encontró que los valores 5,9 mm, 3 h 48 min, 3,11 mm/h de intensidad media, 5,08 mm/h de intensidad máxima y 0,40 de EI-30; tienen la misma probabilidad de estar en ambas poblaciones. Esto quiere decir que las lluvias con características superiores a las anteriores tienen más probabilidad de ser erosivas. El análisis de varianza realizado para eventos individuales de lluvia evidenció diferencias altamente significativas entre los aguaceros no erosivos y los erosivos. Las mayores diferencias se aprecian en la cantidad total de mm, la intensidad máxima en 30 minutos y el EI-30 (cuadro A 7).

En el resumen mensual de las características de las lluvias (cuadro 5), se aprecia que la mayoría de los aguaceros medidos no son erosivos, pero que los pocos eventos erosivos producen la mayor parte de la precipitación medida. La representación gráfica del cuadro 5 dió como resultado la figura 3, en la cual se aprecia que los meses de

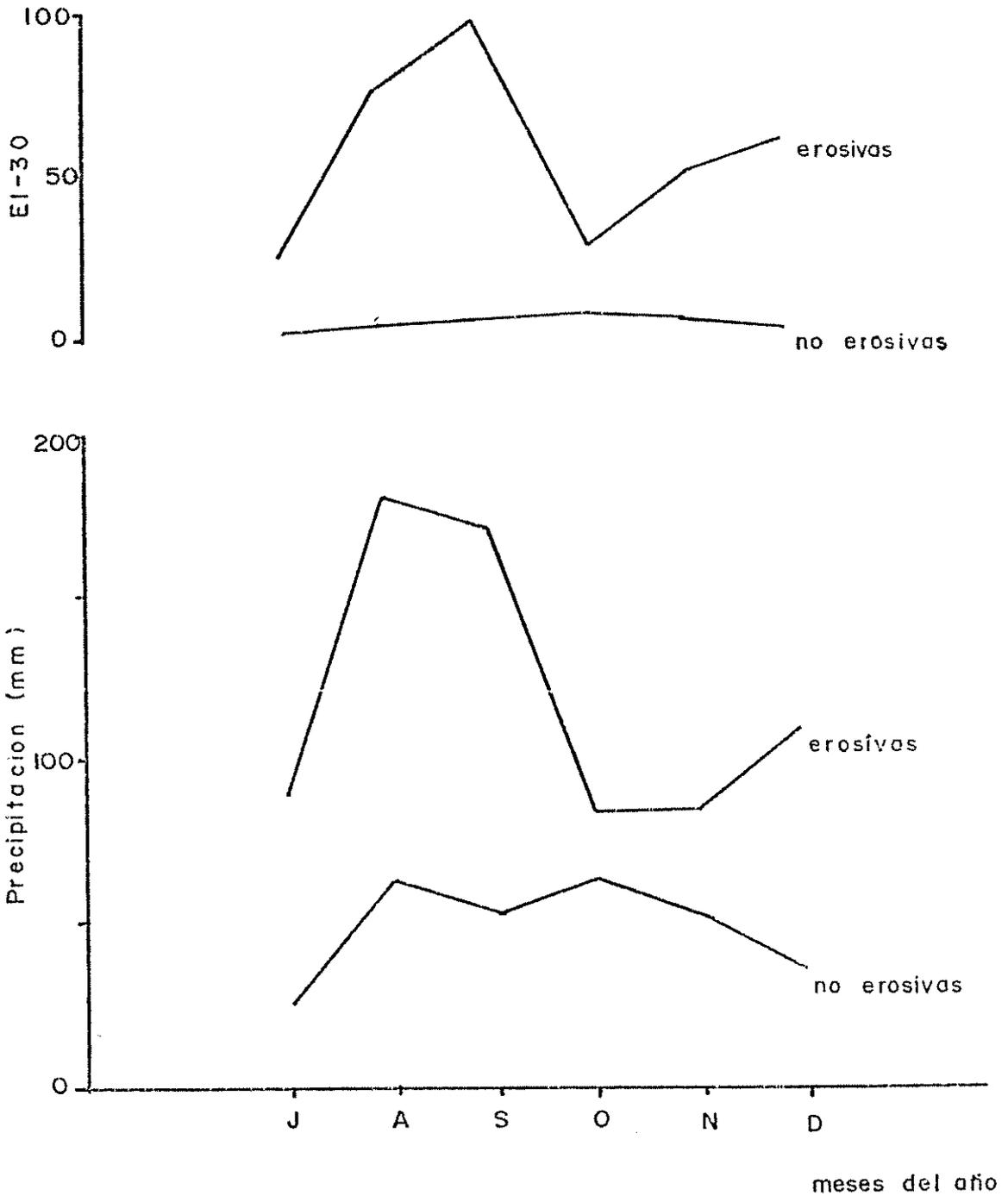


FIGURA 3. DISTRIBUCION MENSUAL DE LAS CARACTERISTICAS DE LAS LLUVIAS

agosto y setiembre presentaron un mayor riesgo de erosión. Se nota además que los valores de EI-30 para lluvias no erosivas se mantienen muy bajos a través de todo el período de estudio, mientras que para las lluvias erosivas los valores son muy altos y con grandes variaciones.

#### 4.4. Escurrimiento superficial:

Los promedios del porcentaje y volumen de escorrentía medidos en tres parcelas para cada tratamiento fueron anotados en el cuadro A 5.

Se apreció que la escorrentía, expresada como porcentaje de la lluvia total caída, es muy baja; siendo en CP y C muy similar y un poco más alta en CPL. El volumen de escorrentía por evento no alcanzó valores superiores a  $10 \text{ m}^3/\text{ha}$ , en tanto que el porcentaje de escorrentía no pasó muchas veces del 3,0%.

El promedio de porcentaje de escorrentía para CP fue de 1,36%, en tanto que el valor para CPL fue de 2,07% y para C fue de 1,44%. En cuanto a volumen de escurrimiento, el tratamiento CP produjo un promedio diario de  $2,23 \text{ m}^3/\text{ha}$ , en el tratamiento CPL el promedio fue de  $3,40 \text{ m}^3/\text{ha}$  y en C fue de  $2,31 \text{ m}^3/\text{ha}$  (cuadro A 6). La variación en el porcentaje de escorrentía no fue marcada, mientras que el volumen de escorrentía si varió de evento a evento (cuadro A 6). No se encontró correlación entre el porcentaje y el volumen de escorrentía. Los coeficientes de variación para ambas características son muy similares en los tres tratamientos (cuadro A 6).

El análisis de varianza, tanto para porcentaje como para volumen de escorrentía, mostró que hay diferencias altamente significativas entre tratamientos (cuadro A 7). La prueba de Duncan para promedios de tratamientos, evidenció diferencias significativas entre las comparaciones CPL-CP y CPL-C, para ambas características. Esto haría suponer que el sistema CPL producirá más erosión, ya que la escorrentía es mayor.

CUADRO 6. Resumen mensual de la escorrentía en % y m<sup>3</sup>/ha en el período de estudio según tratamientos.

MES	CAFE PORO		CAFE PORO LAUREL		CAFE	
	%	m <sup>3</sup> /ha	%	m <sup>3</sup> /ha	%	m <sup>3</sup> /ha
JULIO	1,01	7,07	1,47	10,08	1,15	7,44
AGOSTO	1,10	21,60	2,07	39,44	1,15	22,65
SETIEMBRE	1,36	21,69	2,03	33,19	1,59	25,80
OCTUBRE	1,79	9,30	2,17	12,36	1,03	7,78
NOVIEMBRE	1,57	13,99	2,05	17,64	1,65	14,66
DICIEMBRE	1,82	11,18	3,08	16,57	1,99	13,13
TOTAL		84,83		129,28		91,46
PROMEDIO	1,36		2,07		1,44	

En el cuadro 6, de resúmenes mensuales de promedios de porcentajes y totales de volumen de escorrentía, se evidencia que el porcentaje promedio no varió mucho. Se apreció un aumento en CPL y que CP fue el que produjo menores volúmenes de escorrentía. Agosto y setiembre fueron los meses que produjeron más volumen de escorrentía, a pesar de que el porcentaje no fue el más alto. Los valores mensuales en volumen no sobrepasaron los 40 m<sup>3</sup>/ha, siendo los menores de cerca de 7 m<sup>3</sup>/ha. El porcentaje varió entre el 1,00 y el 3,00%. El volumen total para el período de estudio mostró una mayor cantidad de escurrimiento superficial en CPL.

Para porcentaje de escorrentía mensual se encontró diferencia significativa entre meses y tratamientos. El análisis de varianza para volúmenes comprueba los resultados (cuadro A7). El comparador Duncan, tanto para volumen como para porcentaje de escorrentía, no mostró diferencias entre C y CP, pero sí entre estos dos y CPL.

#### 4.5. Relaciones lluvia-escorrentía:

Comparando los cuadros 5 y 6, se ve que los meses con mayor precipitación e índice de erosividad correspondieron a los meses de mayor volumen de escurrimiento superficial.

No se encontró correlación entre las características de las lluvias y el porcentaje de escorrentía.

Los datos de las características de los aguaceros individuales (cuadro A4) se correlacionaron con el volumen de escorrentía producido por tratamiento (cuadro A5) mediante tres modelos matemáticos. Sus coeficientes de determinación, desviación estandar y análisis de varianza se anotaron en el cuadro A8. Las mejores correlaciones se lograron con la cantidad total de mm y con el índice de erosividad EI-30. Por otro lado, los coeficientes de determinación para intensidad media e intensidad máxima en 30 minutos, expresadas en mm/hora, fueron bajos, aunque el análisis de varianza para la regresión fue altamente significativo (cuadro A8).

Los modelos que mejor ajuste presentaron, para precipitación en mm y para EI-30, se ilustraron en la figura 4.

Nótese que, según se aprecia en la figura 4, el comportamiento de la escorrentía en relación con la cantidad de mm del aguacero, los valores de CPL son más altos y que C y CP son muy similares. Al utilizar el EI-30 como punto de referencia, las curvas de los tratamientos son diferentes: CP presenta un valor más bajo que C.

#### 4.6. Sedimentos y pérdidas de suelo:

El promedio de sedimentos y pérdidas de suelo total para cada evento, tres repeticiones de cada uno de los tres tratamientos, se anotó en el cuadro A5.

En cuanto a sedimentos, se puede apreciar que las variaciones dentro de cada tratamiento fueron considerables. Los coeficientes de variación son muy altos y similares. Para las pérdidas de suelo, los coeficientes de variación

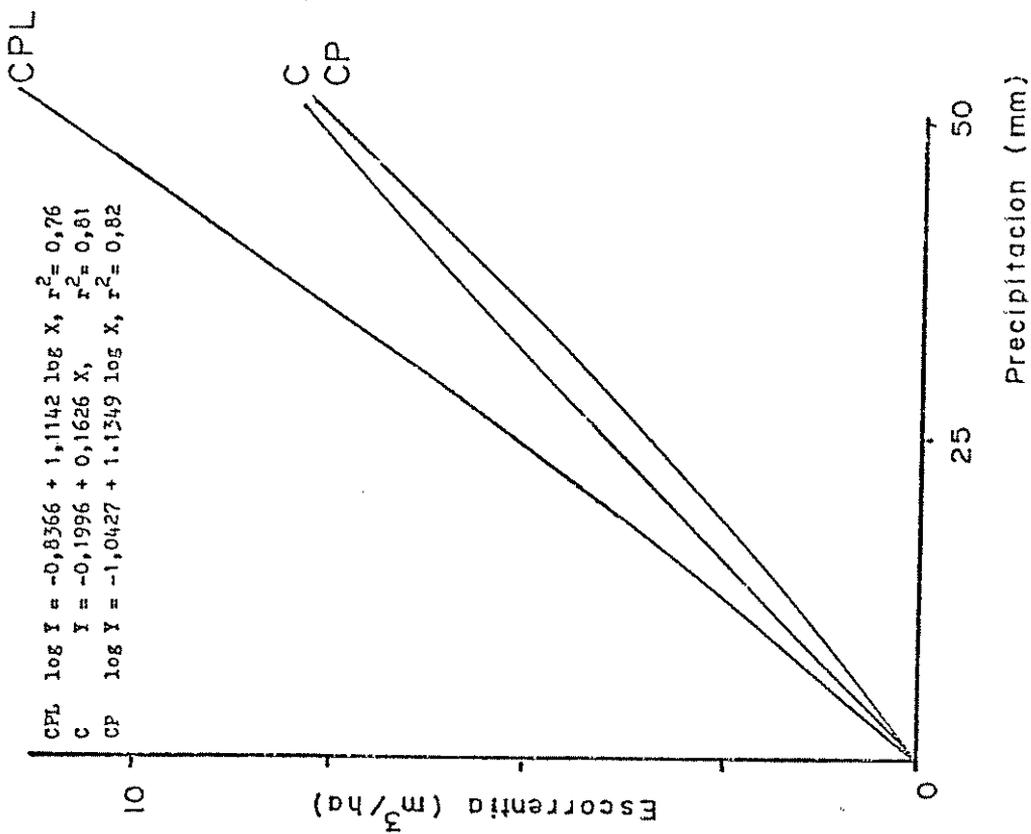
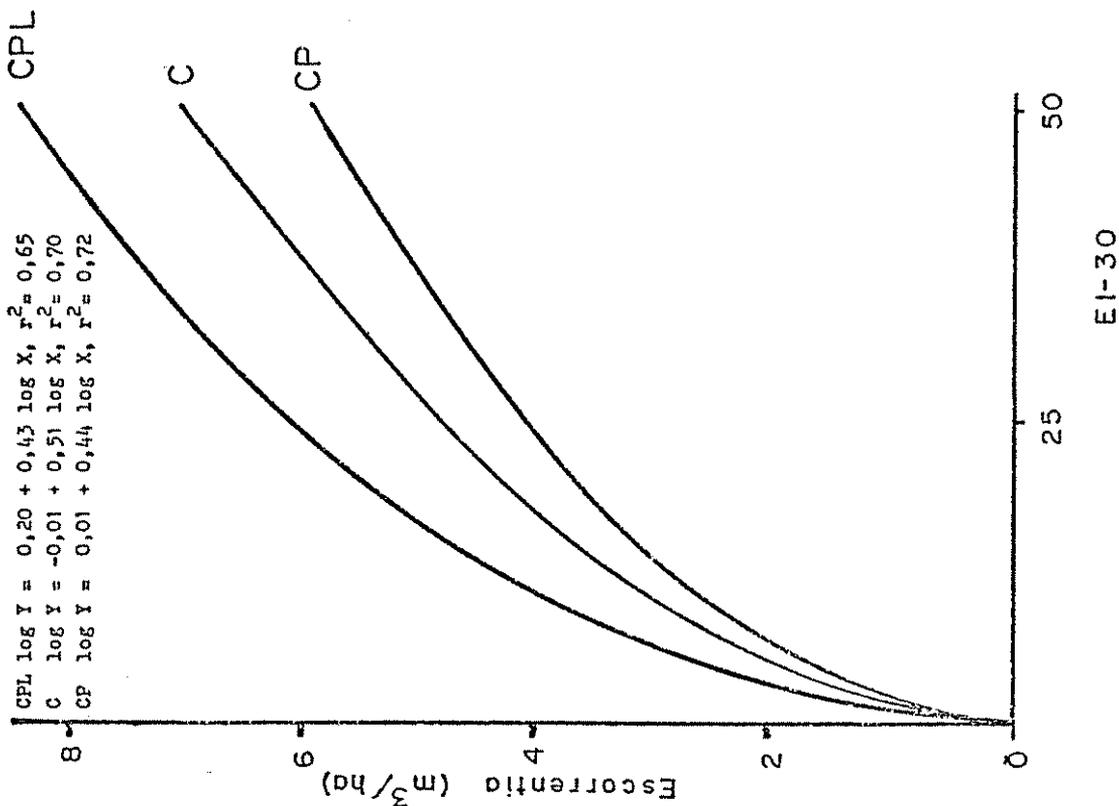


FIGURA 4. RELACIONES CARACTERISTICAS DE LA LLUVIA - ESCORRENTIA (POR AGUACERO)

también fueron altos (cuadro A6).

Para sedimentos, en CP el promedio por evento fue de 0,48 g/l, en CPL fue 0,71 g/l y en C fue 3,47 g/l, mientras que los valores máximos fueron, respectivamente 2,54 g/l, 3,55 g/l y 22,22 g/l.

Por su parte, la erosión promedio por evento para CP fue de 1,55 Kg/ha, en CPL fue de 2,73 Kg/ha y en C de 9,63 Kg/ha, en tanto que los valores máximos para cada tratamiento fueron de 15,45; 23,30 y 93,45 Kg/ha, respectivamente. Nótese que los valores de C son más altos que los de los sistemas agroforestales.

Las probabilidades de que valores como los promedios de C ocurran en CP y CPL para sedimentos y para pérdidas de suelo son muy bajas. Asimismo, las probabilidades de que en C ocurran sedimentos y pérdidas de suelo como los promedios de CP y CPL son bajas.

El análisis de varianza para las pérdidas de suelo en cada evento, expresadas en Kg/ha, mostró que hay diferencias altamente significativas entre los tratamientos (cuadro A7). La prueba de Duncan para los promedios evidenció diferencia significativa entre las comparaciones C-CP y C-CPL, pero no entre CP y CPL.

En cuanto a sedimentos en g/l para cada evento la diferencia entre tratamientos fue altamente significativa (cuadro A7). La prueba de Duncan mostró diferencias significativas para las comparaciones de C-CP y C-CPL, pero no la comparación CP-CPL.

Contrariamente a lo que se esperaba, de acuerdo con los datos de la escorrentía superficial, el sistema café-poró-laurel no fue el que produjo más erosión. En el sistema café, a pesar de que la escorrentía era poca, las pérdidas de suelo fueron mayores que en los otros tratamientos.

Los resúmenes mensuales de sedimentos y totales de pérdidas de suelo, para cada tratamiento, se anotan en el cuadro 7.

En los sistemas CP y CPL el promedio mensual de sedi-

mentos no varía mucho y se mantiene bajo, mientras que la pérdida de suelos es muy alta en setiembre. Por el contrario, en C los promedios de sedimentos varían entre 0,35 y 6,30 g/l para cada evento, y las pérdidas de suelo son muy grandes en agosto y setiembre. Las pérdidas totales en el período de estudio muestran un valor muy bajo para CP y muy alto para C.

Para los resúmenes mensuales, tanto para sedimentos como para pérdidas de suelo, se encontró diferencia estadística altamente significativa (cuadro A7). La prueba de Duncan, tanto para sedimentos como para pérdidas de suelo, no evidenció diferencias entre CP y CPL; pero sí entre las comparaciones C-CP y C-CPL.

CUADRO 7. Resumen mensual de la erosión en g/l y Kg/ha en el período de estudio según tratamientos.

MES	CAFE PORO		CAFE PORO LAUREL		CAFE	
	g/l	kg/ha	g/l	kg/ha	g/l	kg/ha
JULIO	0,63	4,64	1,36	13,20	6,30	37,01
AGOSTO	0,18	4,27	0,25	10,55	4,29	144,49
SETIEMBRE	1,33	33,31	1,42	45,59	4,40	131,36
OCTUBRE	0,13	1,16	0,22	2,23	1,23	7,31
NOVIEMBRE	0,11	1,67	0,14	2,86	0,35	5,22
DICIEMBRE	0,65	13,70	1,12	29,46	1,86	40,60
TOTAL		58,75		103,89		365,99
PROMEDIO	0,48		0,71		3,47	

#### 4.7. Relaciones lluvia-erosión:

En los cuadros 6 y 7 se aprecia que los meses que producen mayores pérdidas de suelo son los que tienen mayor precipitación y potencial erosivo.

No se encontró correlación entre las características de los aguaceros y los sedimentos en g/l.

Los valores del cuadro A 4 de características de las lluvias se correlacionaron con los valores de erosión en Kg/ha para cada tratamiento (cuadro A 5). Se utilizaron tres modelos matemáticos, cuyos coeficientes de determinación se anotaron en el cuadro A 8. Se encontró que hay mejor correlación de las pérdidas de suelo con la cantidad total de mm de cada aguacero y con el índice EI-30. Estas relaciones se ilustran en la figura 5. El mejor ajuste fue el del modelo exponencial que relaciona la erosión por evento con los mm de lluvia del aguacero (cuadro A 8). Esto mismo fue encontrado por Rocha (59).

#### 4.8. Correlación escorrentía-erosión:

Al graficar los valores mensuales promedio y acumulado de escorrentía y erosión para cada tratamiento, en base a los cuadros 6 y 7, se obtuvo la figura 6.

Se aprecia claramente que el porcentaje de escorrentía, y en cierto grado la producción de sedimentos, se mantiene más o menos constante en todos los tratamientos. El porcentaje de escurrimiento en CPL se mantiene más alto, lo cual también sucede con la producción de sedimentos en C. Durante julio se aprecia una cantidad muy elevada de sedimentos en el tratamiento C, debido probablemente a la poca cobertura del suelo en esa época.

También se evidencia la relación directa entre el volumen de escorrentía superficial y las pérdidas de suelo. Durante los meses de agosto y setiembre se observaron valores muy altos para ambos parámetros, sobre todo en la erosión del tratamiento C. Nótese la similitud con la fi-

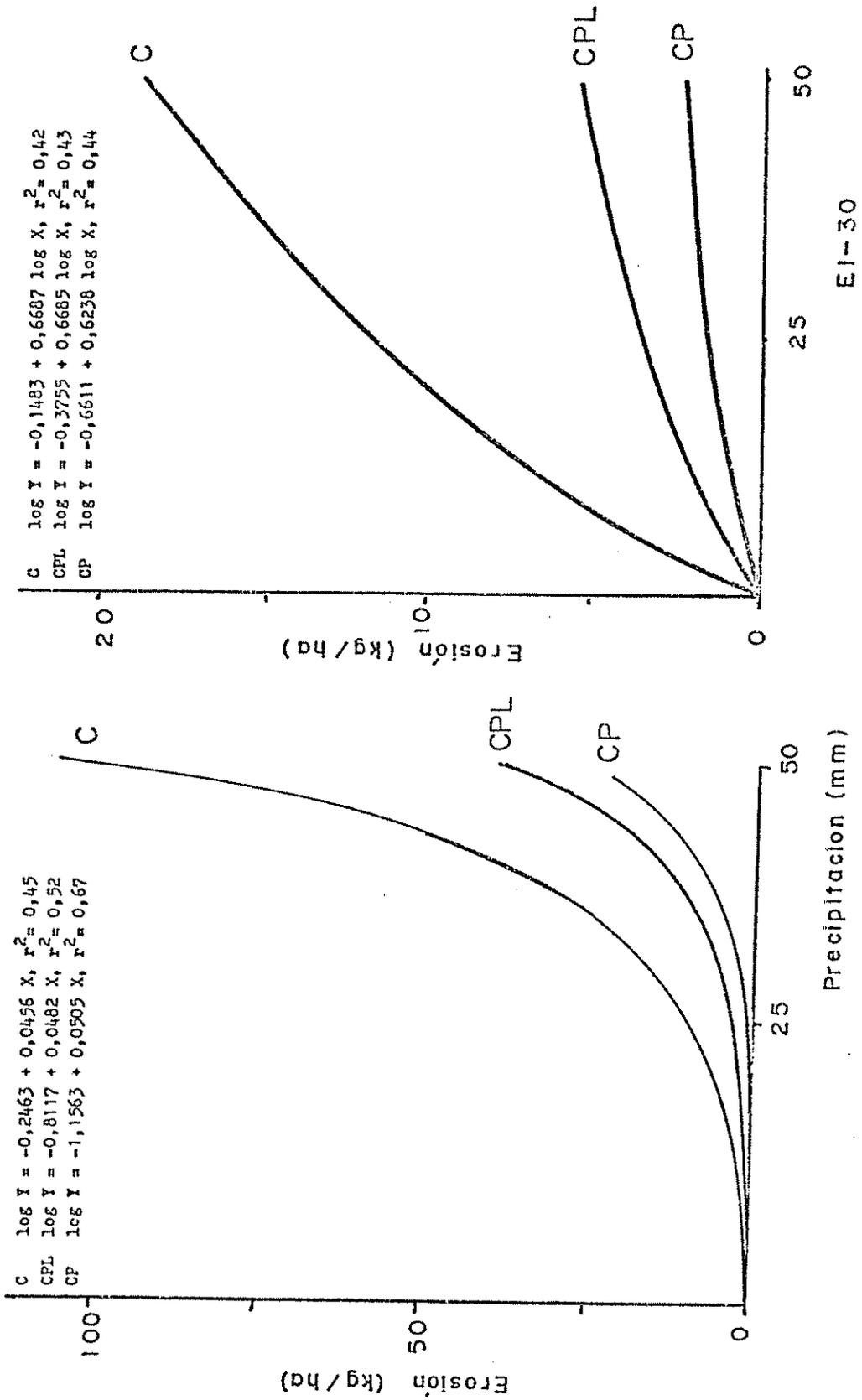


FIGURA 5. RELACIONES CARACTERISTICAS DE LA LLUVIA - EROSION (POR AGUACERO)

gura 3, en la cual se anotaron las características de las lluvias. En general, los valores de pérdidas de suelo en C son mucho más elevados que en los otros dos tratamientos. Algo semejante ocurre con el volumen de escorrentía superficial en CPL.

No se encontraron correlaciones entre las variables sedimentos y porcentaje de escorrentía.

Los volúmenes diarios de escorrentía para cada tratamiento se correlacionaron con las pérdidas de suelo ocurridas (cuadro A 5). Los coeficientes de determinación de los tres modelos aplicados, así como los valores de F y las desviaciones estandar, se anotaron en el cuadro A 8. La ecuación de tipo exponencial fue la que presentó mejor ajuste para expresar las relaciones escorrentía-erosión. Las ecuaciones del modelo son:

$$\text{CP} : \log Y = -1,0191 + 0,3009 X, \text{ con } r^2 = 0,59$$

$$\text{CPL} : \log Y = -0,6930 + 0,1922 X, \text{ con } r^2 = 0,45$$

$$\text{C} : \log Y = -0,0645 + 0,2282 X, \text{ con } r^2 = 0,37$$

donde X es el volumen de escorrentía superficial en  $\text{m}^3/\text{ha}$  y Y es la erosión en  $\text{Kg}/\text{ha}$ , para eventos individuales. El análisis de varianza para las regresiones resultó altamente significativo. Las desviaciones estandar para este modelo fueron las más bajas (cuadro A 8).

La figura 7 muestra la graficación del modelo que mejor expresa las relaciones escorrentía-erosión. Nótese que el tratamiento C presenta las pérdidas de suelo más elevadas. El tratamiento CPL (a pesar de ser el que produce más escorrentía) produce menor cantidad de erosión que los tratamientos CP y C, cuando el volumen de escurrimiento superficial es el mismo.

Aparentemente, la adición de elementos forestales reduce cada vez más las pérdidas de suelo, de acuerdo con lo observado en la figura 7.

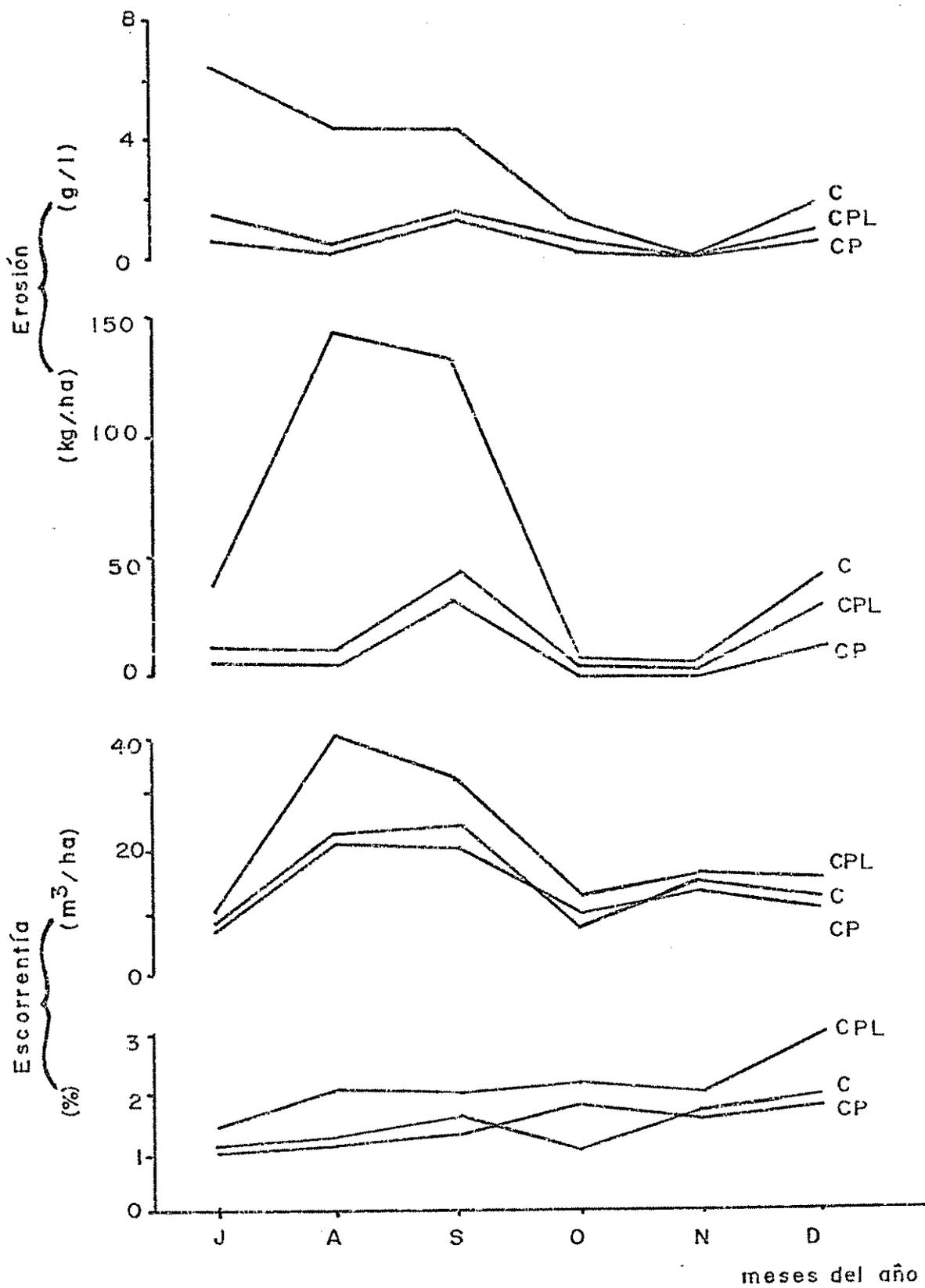


FIGURA 6. DISTRIBUCION MENSUAL DE LA ESCORRENTIA Y LA EROSION

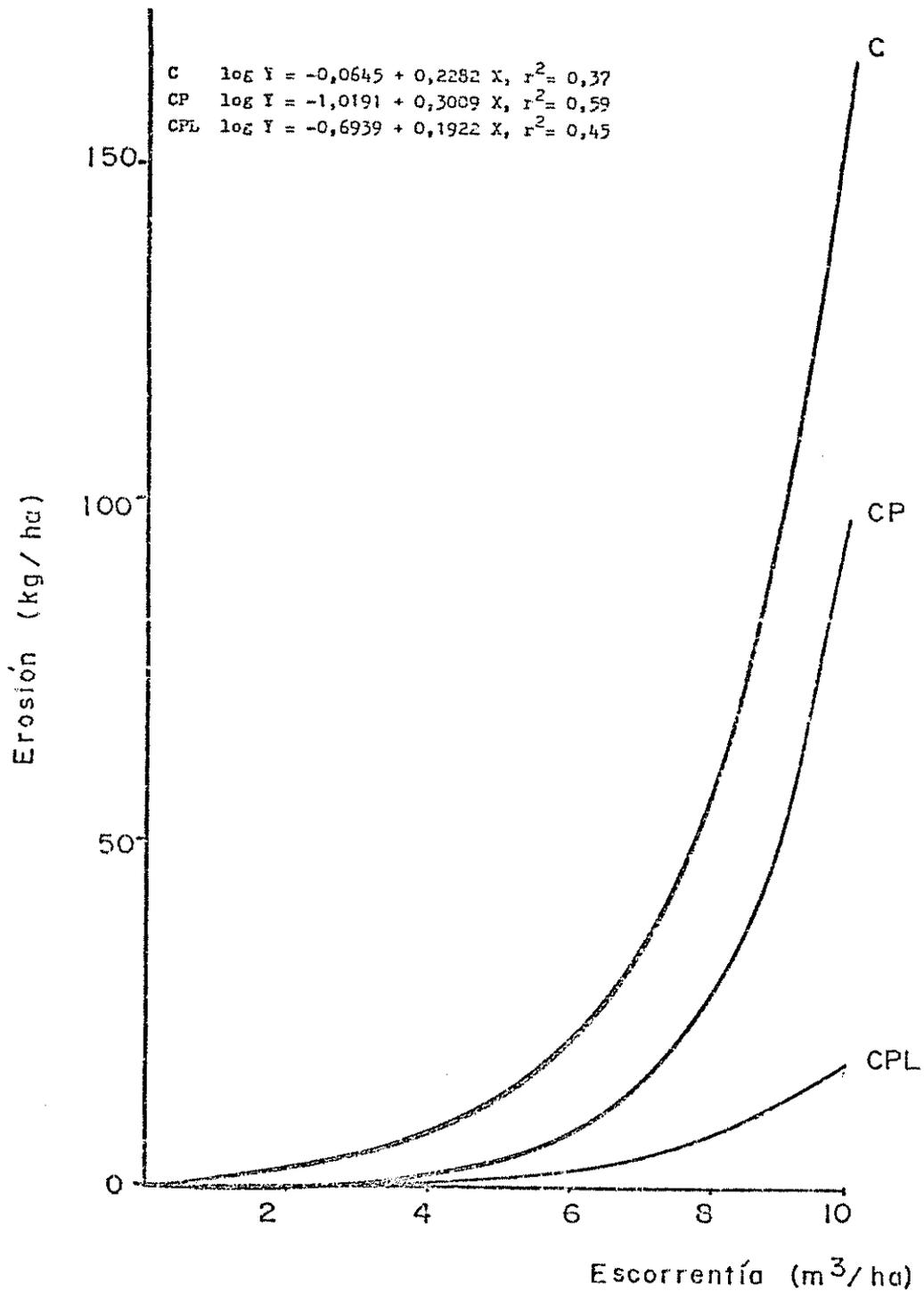


FIGURA 7. RELACIONES ESCORRENTIA-EROSION (POR AGUACERO)

#### 4.9. Factores de la ecuación universal:

Un primer intento de cuantificar los factores de la ecuación universal de pérdidas de suelo se muestra a continuación:

a- Conociendo  $K= 0,103$  (5)

b- Calculando  $LS= 4,88$

c- Para el tratamiento C se asume  $P=1,0$

por lo tanto si  $A= R K LS C P$

despejando  $C= A/ R K LS P$

sustituyendo  $C= A/ R (0,103) (4,88) (1,0)$

basándose en los datos de A y R para cada evento:

$$C= 3,4$$

d- Siguiendo el mismo razonamiento para el tratamiento CP, podemos despejar su valor P:

$$P= A/ R K LS C$$

$$P= A/ R (0,103) (4,88) (3,4)$$

$$P= 0,13$$

3- Igualmente, para el tratamiento CPL:

$$P= A/ R K LS C$$

$$P= A/ R (0,103) (4,88) (3,4)$$

$$P= 0,38$$

Conociendo los valores K, LS, C y P; y asumiendo un valor anual de  $R= 122$  (4) se pueden estimar las pérdidas para cada tratamiento. Los valores estimados para los meses julio-diciembre, basados en los cálculos de R realizados por Amézquita (4) serían:

$$CP= 24,5 \text{ Kg/ha}$$

$$CPL= 51,4 \text{ Kg/ha}$$

$$C= 135,3 \text{ Kg/ha}$$

Para el mismo período julio-diciembre, los valores medidos en las parcelas son:

$$CP= 58,8 \text{ Kg/ha}$$

$$CPL= 103,9 \text{ Kg/ha}$$

$$C= 366,0 \text{ Kg/ha}$$

Esta diferencia indica que la ecuación subestima las

pérdidas, por lo que para realizar la corrección se calcularon fórmulas matemáticas, de manera que se puedan utilizar los valores anuales de R.

Entonces, para calcular las pérdidas (Y) en cada tratamiento a partir de los valores teóricos de A (X) tenemos que:

$$\text{para CP } Y = -29,026 + 27,725 \ln.X, \text{ con } r^2=0,77$$

$$\text{para CPL } Y = -88,820 + 49,397 \ln.X, \text{ con } r^2=0,88$$

$$\text{para C } Y = -446,640 + 169,676 \ln.X, \text{ con } r^2=0,83$$

Mediante lo cual, las pérdidas anuales serían:

$$\text{CP} = 71,5 \text{ Kg/ha/año}$$

$$\text{CPL} = 127,2 \text{ Kg/ha/año}$$

$$\text{C} = 439,5 \text{ Kg/ha/año}$$

## 5. DISCUSION

### 5.1. Suelos:

Las diferencias observadas entre los suelos de los tratamientos no son grandes. La diferencia en textura, especialmente en el contenido de limo, sí puede afectar la resistencia a la erosión. Los suelos con mayor contenido de limo son más erodables (75), por lo que se puede esperar más erosión en el tratamiento café-poró-laurel. En cuanto a la variación en la densidad aparente, la diferencia se debe a la época de muestreo, ya que la mayor humedad del suelo disminuye su densidad aparente (2, 53). Esto explica también las diferencias en las características físicas afectadas por la densidad aparente, medida por este método del cilindro.

La estructura granular de estos suelos aumenta la capacidad de infiltración (71), reduciendo el volumen de escorrentía y la erosión. El alto contenido de materia orgánica, especialmente en los primeros 5 cm, hace que estos suelos sean resistentes a la erosión. La materia orgánica, a través de la formación de agregados, mejora la estructura y la capacidad de infiltración (31). En tanto más permeable sea un suelo, más resistente es a la erosión (56). El alto porcentaje de poros colabora a un mejor movimiento de agua dentro del suelo.

Algunos autores (1, 4) consideran que, en pendientes de más de 25%, los suelos de la serie Colorado son propensos a erosión. Al observar los resultados del análisis del perfil, se puede esperar que la erosión no sea muy elevada, más aún teniendo cultivos permanentes y desyerbe por medios químicos. Cafetales en pendientes más altas, con mal manejo y suelos más erodables, producirán cantidades considerables de pérdidas de suelos.

## 5.2. Cobertura del suelo:

Como era de esperar, las malezas invadieron las parcelas de café sin sombra. La menor incidencia de malezas en los dos sistemas agroforestales estudiados se debe principalmente a la reducción de la luminosidad. Aparentemente, la cantidad de hojarasca que cubre el suelo también ejerce influencia sobre la incidencia de malas hierbas. No se encontraron muchas malezas en suelos completamente cubiertos por el mantillo, lo cual concuerda con los resultados de Alferez y Espinoza (3). Lo más notable, observado durante el experimento, fue la gran cantidad de malezas presentes en el tratamiento sin árboles, manifestándose una dominancia de porreria e Impatiens, así como una gran diversidad de especies secundarias. En este tratamiento hubo necesidad de hacer una segunda aplicación de herbicidas, lo cual duplica los costos de combate de malezas.

Otro aspecto interesante es la buena germinación de las plántulas de laurel, que son eliminadas con el control químico de las malezas. Sin embargo, un desyerbe manual para evitar la eliminación de los arbolitos, elevaría los costos de control de malezas.

Posiblemente la hojarasca que cubre el suelo sea uno de los elementos más importantes en el proceso de erosión. Sus beneficios indirectos, formación de agregados a través de la incorporación de materia orgánica, y directos protegen el suelo del impacto de las lluvias. Es así como se reduce el desprendimiento de las partículas de suelo, obturación de los poros y separación de agregados. Estos son factores determinantes en la magnitud de la erosión (67).

Los beneficios de la hojarasca son menores en cafetales a pleno sol que en plantaciones con árboles de sombra.

Una buena distribución de los productos de las podas del poró y el mantenimiento de un mantillo protector es una buena práctica de conservación de suelos, a la vez que se mejoran las características físicas y químicas de los suelos.

### 5.3. Precipitación:

Las lluvias del año 1979 fueron menores que el promedio para la zona, casi un 30% menos (15). Según Rocha (59), una lluvia de 1.837 mm es una lluvia confiable al 75% de probabilidad, lo cual es muy cercano al valor medido en el año 1979: 1.877,6 mm.

En general, para las condiciones del experimento, las lluvias erosivas se pueden caracterizar como aquellos eventos de más de 6 mm ó más de 4 horas de duración ó de más de 3 mm/hora de intensidad media ó de más de 5 mm/hora de intensidad máxima en 30 minutos ó de más de 0,40 de EI-30.

Sin embargo, no hay un límite para diferenciar las lluvias erosivas de las no erosivas, ya que la producción de escorrentía no depende exclusivamente de las características de los aguaceros. También depende de otros factores, entre los cuales está la condición de humedad del suelo (7). Se observa que lluvias que tienen alto poder erosivo no producen escorrentía porque son absorbidas por un suelo seco. En cambio, si ha llovido con anterioridad y el suelo está saturado, una lluvia leve puede producir escorrentía. Es por esto que hay lluvias erosivas con bajo EI-30 y lluvias no erosivas con EI-30 alto.

La mayoría de los eventos registrados son de menos de 10 mm, con intensidades medias menores de 5 mm/hora y con intensidades máximas en 30 minutos inferiores a los 5 mm/hora. Casi un 75% de los aguaceros presenta un índice de erosividad EI-30 menor de 1,0.

Los valores de EI-30 calculados para el período de estudio en Florencia Sur, son más altos que los valores promedio obtenidos por Amézquita (4) y Rocha (59) para la estación CATIE, aunque la precipitación en 1979 fue baja. Sin embargo, los resultados individuales de EI-30 para cada evento coinciden con los obtenidos en Perú por Doureojeani y Paulet (21). Según los índices de erosividad mensual, debe esperarse más erosión en agosto, setiembre y diciembre.

Aunque Amézquita (4) opina que los valores de intensidad de lluvia en Turrialba son "lo suficientemente altos como para poder causar problemas de erosión e inundaciones si no se toman en cuenta prácticas para un adecuado manejo de aguas y suelos", se observó que, en Florencia Sur durante 1979, las lluvias no fueron torrenciales.

Sin embargo, hay que considerar que las pérdidas de suelo que pueden ocurrir dependen en gran parte del tipo de suelo, la topografía, el tipo de cultivo y el manejo que recibe.

La intercepción medida en el tratamiento C concuerda con lo esperado, no así el valor de CP. El valor de intercepción en CP es muy elevado, ya que Zambrana (78) encontró un 15% de intercepción en un bosque secundario aledaño a la plantación.

El valor de CPL es aún más controversial, ya que por tener tres estratos de vegetación era de esperar un valor más alto que CP y cercano a los datos de bosques secundarios. Esto puede deberse a que los árboles de poró en CPL son más pequeños de copa, mientras que los poró en CP están a pleno sol y desarrollan una copa más vigorosa y densa que intercepta una gran parte de la lluvia. Entonces, en el proceso de intercepción es más importante la calidad del estrato que el número en sí de estratos. Es por esto que un sistema de dos estratos puede interceptar más lluvia que uno de tres estratos. Por otra parte, la colocación de los colectores afectó las lecturas. En CPL el mayor número de colectores en la calle redujo la intercepción.

En cuanto a C y CPL, la cantidad de lluvia que interceptan es similar. Sin embargo, el potencial erosivo de la lluvia en ambos tratamientos puede variar, ya que Suárez de Castro (66) encontró que bajo los árboles de sombra la erosividad de la lluvia era mayor que en campo abierto.

Sin embargo, no se recomendó obtener conclusiones de los datos medidos, en tanto que experimentos posteriores, durante períodos de tiempo mayores y con diferentes metodologías, den más elementos de juicio.

#### 5.4. Escorrentía superficial:

Como era de esperar, la escorrentía superficial fue relativamente baja, oscilando entre el 1,0 y el 3,0%. Las variaciones ocurridas en aguaceros fuertes no fueron de mayor importancia. En estos suelos, la alta capacidad de infiltración, la buena estructura y el alto contenido de materia orgánica, hacen que la escorrentía sea baja.

En el caso analizado, la influencia de la cubierta vegetal sobre el volumen de escorrentía superficial es minimizada por las magníficas características de los suelos.

El índice EI-30 presenta una correlación aceptable con la escorrentía, lo cual concuerda con la opinión de otros autores (43,59).

No se encontró diferencia entre la escorrentía de los tratamientos CP y C. Ambos están en el mismo tipo de suelo y la eliminación del poró en el tratamiento C es muy reciente como para afectar las características de los suelos.

El volumen de escorrentía superficial en el tratamiento CPL es mayor que el de los otros dos tratamientos. Esto puede deberse a tres posibles razones:

- 1- Existen diferencias en el tipo de suelo de las parcelas del tratamiento CPL, con respecto a las de los tratamientos CP y C; especialmente en la textura (cuadros 1 y A2).
- 2- El suelo se mantiene más saturado en las parcelas del tratamiento CPL que en las otras.
- 3- La mayor cantidad de hojarasca actúa como una capa impermeable sobre la cual corre el agua de lluvia, de tal manera que no entra al suelo.

Probablemente, la mayor escorrentía medida en el tra-

tamiento CPL sea debida a la interacción de varios factores y no consecuencia directa de uno de ellos.

### 5.5. Erosión:

En estos suelo, era de esperar que las pérdidas de suelo fueran bajas, ya que son poco erodables ( $K=0,103$ ) y que la escorrentía medida es muy baja.

A pesar de esto, los valores obtenidos son comparables con los datos de Ives (39) y Rocha (59) en cultivos anuales para otros tipos de suelos y con pendientes mayores.

Sin embargo, es de suponer que los valores obtenidos sean el mínimo de erosión que deban producir los cafetales. Estos valores pueden servir como punto de comparación para otros cafetales o cultivos. En otro tipo de suelos más erodables, bajo lluvias más erosivas, con mayor pendiente, con mayor escorrentía y con mal manejo, la erosión será mucho mayor. El uso de prácticas de conservación podrían reducir las pérdidas de suelo.

A pesar de que las condiciones físicas de los suelos ejercen gran influencia, sobre todo produciendo una escorrentía tan baja, se nota el efecto directo de la incorporación de árboles al sistema. La diferencia entre el monocultivo y los sistemas agroforestales es evidente. En los sistemas agroforestales la estratificación de la vegetación y la hojarasca producida por los árboles, son una práctica efectiva de conservación de suelos.

En el caso analizado, la ecuación universal subestimó la magnitud de la erosión. Por su parte Rocha (59), encontró que la ecuación sobreestimó los valores medidos en sus parcelas. Hay que recordar que es un método empírico y que el factor R (índice EI-30) demostró no tener muy buena correlación con las pérdidas de suelo. Además, el factor cultivos obtenido en esta investigación debe ser sometido a mayor comprobación. Es por esto que no parece aconsejable utilizar la ecuación, en tanto no se llevan a cabo un ma-

por número de investigaciones.

### 5.6. Sistema café:

En el cafetal sin sombra la invasión de malezas fue elevada, lo cual concuerda con la opinión de Pérez (57); quien asevera que las dos principales desventajas de un cafetal sin sombra son la mayor incidencia de Cercospora y el aumento de costos por control de malas hierbas.

Además, la cantidad de sedimentos promedio por volumen de agua de escorrentía superficial para un evento individual (3,47 g/l) es un valor que hace que las aguas no sean utilizables para el uso humano o comercial, ya que los niveles permisibles están entre 0,5 y 1,5 g/l (51). Estas aguas de escorrentía, para ser utilizables, requerirán de procesos de tratamiento para eliminar la excesiva cantidad de sedimentos.

Por otro lado, las pérdidas de suelo son del orden de 350-620% mayores que en los sistemas agroforestales estudiados. Esto significa que las pérdidas de nutrimentos del suelo obligarán a una mayor fertilización química. En aguaceros fuertes, a pesar de que el volumen de escorrentía no sea muy elevado, las pérdidas de suelo serán muy considerables. Tal como lo predice la figura 5, los valores de erosión serán similares a los observados por Ives (39) para tormentas individuales.

Según McHarg (48), las mejores técnicas son aquellas que brindan el máximo beneficio social con un mínimo costo social. El monocultivo, aunque brinda mayores beneficios económicos, tiene costos o efectos negativos para la sociedad que son muy altos. La mayor producción de una plantación a pleno sol se debe principalmente a la alta densidad (6-7.000 plantas/ha), y al uso de pesticidas, herbicidas y fertilizantes químicos. A pesar de que económicamente el café cultivado sin sombra produce más, los beneficios ecológicos son bajos.

### 5.7. Sistema café-poró:

Este sistema presenta la ventaja de que reduce los costos de control de malezas. Además, tanto el follaje como el mantillo del poró protegen el suelo del efecto directo de las gotas de lluvia.

A pesar de que en el sistema café-poró hay más intercepción de lluvia que en la plantación sin sombra, la reducción de la escorrentía superficial fue de solamente un 6%.

La reducción tan notoria de la erosión, casi un 85% de la medida en el monocultivo, trae consigo una reducción en las pérdidas de nutrimentos del suelo y de los fertilizantes aplicados, tanto orgánicos como químicos (67).

Los sedimentos no presentaron valores superiores a los límites de contaminación de aguas (51) y fueron 7 veces inferiores a los valores del sistema café.

El efecto beneficioso de los árboles, además de la incorporación de nitrógeno a través de los nódulos de las raíces y el control de la luz, se realiza a través de la producción de un follaje y un mantillo abundantes que aumentan el contenido de materia orgánica del suelo y mejora sus características físicas, a la par de que ofrece una magnífica cobertura protectora al suelo.

Todo esto repercutirá favorablemente, tanto en forma directa como indirecta, en la producción del cultivo y en los beneficios económicos y ecológicos obtenidos.

### 5.8. Sistema café-poró-laurel:

La adición del laurel al sistema de cultivos, presenta ventajas y desventajas.

Una de las desventajas es que la sombra no es manejable y que es permanente durante una época del año, reduciendo la luminosidad, tanto para el cafeto como para el poró. Además, puede haber una competencia por agua y nutrimentos entre los elementos del sistema.

El efecto negativo del goteo de agua desde las copas altas es minimizado por la presencia de un segundo estrato vegetal de árboles de poró y por el abundante mantillo que cubre casi completamente el suelo.

Por otra parte, se logra una mejor utilización del terreno al combinar un monocultivo, que presenta fluctuaciones en el mercado, con la silvicultura, que representa una inversión a mediano y largo plazo. El aprovechamiento del elemento forestal, además de producir ingresos adicionales, puede ser la fuente principal de madera e ingresos en determinada época. El laurel es una madera que tiene buena aceptación en el mercado.

Otra de las ventajas es la reducción de la incidencia de malezas y sus costos de control para impedir la competencia con el cultivo.

Además, la defoliación natural del laurel mantiene un mantillo más voluminoso en la época de inicio de las lluvias, protegiendo el suelo más eficazmente, a la par de que sirve como abono natural, reciclando nutrimentos. Esta defoliación natural corresponde a una de las épocas en las que el manejo de la sombra tiene como objetivo la exposición completa del cultivo, para evitar la competencia y estimular el crecimiento del cafeto.

La ventaja más sobresaliente es la reducción de la erosión, que fue de casi un 70% con respecto al monocultivo, y la reducción en el contenido de sedimentos de las aguas de escorrentía, en casi un 80%.

Es interesante que, a pesar de que el volumen de escorrentía y el contenido de limo fueron más altos, la erosión producida fue relativamente baja, similar a la del sistema CP. Además, con un mismo volumen de escorrentía superficial las pérdidas de suelo fueron menores que en el sistema de monocultivo (figuras 4, 5 y 7).

### 5.9. Parcelas experimentales:

La metodología empleada para medir la erosión se consideró apropiada para las necesidades del estudio, a pesar de los problemas que conlleva el tratar de analizar los fenómenos naturales bajo condiciones de campo.

El diseño de la parcela de escurrimiento es relativamente superior al utilizado por otros autores (39,59). Las ventajas están en que son más fáciles de instalar, requieren menor mantenimiento y son más permanentes. Además, la alteración que se hace al suelo es menor.

En cuanto al tamaño de la parcela, se encontró que es factible utilizar parcelas mucho mayores, siempre y cuando se cuente con los recursos económicos y las condiciones del terreno lo permitan. Esto último es sumamente importante cuando se trata de controlar un alto número de variables como tipo de suelo, pendiente, pedregosidad y microrelieve.

En futuras investigaciones deberían estudiarse un mayor número de variables, tales como calidad del agua, macronutrientes, época del año, humedad del suelo, incidencia de enfermedades, cambios físico-químicos del suelo y producción económica de los sistemas.

## 6. CONCLUSIONES

1. La cantidad de malezas fue mayor en plantaciones de café sin sombra y con baja densidad (2.500 plantas/ha) que en cafetales asociados con especies forestales.
2. La cantidad de hojarasca en los sistemas agroforestales fue mucho mayor, debido a los productos de las podas del poró y a la defoliación natural del laurel.
3. Unas pocas lluvias fuertes (16%) fueron las causantes de la mayor parte del volumen de escorrentía superficial y de las pérdidas de suelo.
4. El contenido de sedimentos en el agua de escorrentía en los sistemas agroforestales estudiados está dentro de los límites aceptables.
5. Los sistemas agroforestales analizados redujeron las pérdidas de suelo en 70-85% con respecto al cafetal sin sombra y con baja densidad de siembra (2.500 plantas/ha), por lo cual se consideraron como una efectiva práctica de conservación de suelos.
6. El volumen de escorrentía superficial y la erosión se correlacionaron mejor con la cantidad de mm por aguacero.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. AGUIRRE, V. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, IICA-Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 1971. 144 p.
2. ALBERTY, R.A. Evaluación de rendimientos y cambios físicos y químicos en suelos de ladera cultivados con maíz y frijol, con diferente cobertura viva dentro de una plantación forestal. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1977. 211 p.
3. ALFEREZ, A. y ESPINOSA, F. Influencia de la aplicación de mantillo derivado de varias fuentes, en el cultivo del café. Agricultura en El Salvador 7(1-3):75-87. 1966.
4. AMEZQUITA, E. Estudios hidrológicos y edafológicos para conservación de agua y suelos en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag.Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 212 p.
5. \_\_\_\_\_ y FORSYTHE, W. Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo en Turrialba, Costa Rica. In Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 5a, Medellín, Colombia, 1975. Trabajos. s.n.t. p.irr. 30 p.
6. ARCHILA, P. La conservación del suelo en el cultivo del café. Revista Cafetalera (Guatemala) no.107:19-24. 1971.
7. BARNETT, A. How intense rainfall affects runoff and soil erosion. Agricultural Engineering 39(11): 703-707. 1958.
8. BERMUDEZ, M. Descripción de un sistema agroforestal de recuperación de suelos en la zona tropical húmeda de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. 13 p.
9. \_\_\_\_\_. Erosión hídrica en la cuenca piloto La Suiza, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, UNU/CATIE, 1980. 34 p.
10. BRENES, L.G. Deterioro de los bosques y suelos en Costa Rica. In Costa Rica. Instituto Geográfico Nacional. Informe senestral enero-junio 1977. San José, Costa Rica, 1977. pp 19-36.

11. BUDOWSKI, G. Prácticas forestales de interés para el cultivo del café. *Café (Costa Rica)* 1(3):49-52. 1959.
12. \_\_\_\_\_. La conservación de la naturaleza como alternativa válida para promover el desarrollo económico y social. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1976. 6 p.
13. \_\_\_\_\_. Sistemas agro-pastoriles en los trópicos húmedos. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. 29 p.
14. BURYKIN, A.M. Influence of vegetation on the water permeability of soils in relation to erosion processes. *Soviet Soil Science* 4:509-518. 1968.
15. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA. Resumen de los datos meteorológicos desde la iniciación de observaciones hasta diciembre 1978. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. 2 p.
16. COLEGIO DE POSGRADUADOS, CHAPINGO MEXICO. Manual de conservación del suelo y del agua. Chapingo, México, 1977. 614 p.
17. CONGRESO NACIONAL SOBRE CONSERVACION DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES, 1o, SAN JOSE, COSTA RICA, 1974. Acta final. San José, 1974. 291 p.
18. COSTA RICA, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA, OFICINA DEL CAFE. Manual de recomendaciones para cultivar café. 3ed. San José, 1978. 68 p.
19. CHAVES, M. Conservación del suelo en relación con el cultivo del café. *Revista Cafetera (Guatemala)* No. 35:30. 1964.
20. DANGLER, E.W. y EL-SWAIFY, S.A. Erosion of selected Hawaii soils by simulated rainfall. *Soil Science Society of America Journal* 40(5):769-773. 1976.
21. DOUROJEANNI, A. y PAULET, M. La ecuación universal de pérdida de suelo y su aplicación al planeamiento del uso de las tierras agrícolas, estudio del factor de las lluvias en el Perú. Lima, Universidad Agraria, Facultad de Ingeniería Agrícola, Programa de Conservación de Suelos. Publicación no. 2. 1967. 78 p.
22. DZHADAN, G.I., DEMIDENKO, M.K. y CHABANOV, G.N. Effect of the degree of erodibility of soils on their agrochemical properties and grain crop yield. *Soviet Soil Science* 7(5):579-582. 1975.

23. EL SALVADOR, INSTITUTO SALVADOREÑO DE INVESTIGACIONES DEL CAFE. Manual técnico del cultivo del café en El Salvador. Santa Tecla, Ministerio de Agricultura y Ganadería, Departamento de Información Agropecuaria. 1976. 223 p.
24. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA, BOGOTA. Manual de conservación de suelos de ladera. Chin-chiná, Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café. 1975, 267 p.
25. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. La erosión del suelo por el agua. Roma, 1978. 207 p.
26. \_\_\_\_\_. La influencia de los montes. Roma, 1962. 335 p.
27. FORSYTHE, W. Relaciones suelo-agua en suelos derivados de ceniza volcánica de Centroamérica. In BORNEHIZSA, E. y ALVARADO, A., eds. Manejo de suelos en la América Tropical. Raleigh, North Carolina University. 1975. pp 158-171.
28. \_\_\_\_\_. Parcela demostrativa del control de la erosión en un cultivo de maíz. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. 4 p.
29. GAVANDE, S. Física de suelos, principios y aplicaciones. México, Limusa, 1976. 351 p.
30. GETHIN-JONES, G.H. Conservation of soil fertility on coffee states, with special reference to anti-erosion methods. The East African Agricultural Journal 1:456-462. 1936.
31. GRIN, A.M. Infiltration capacity as a function of physical and chemical soil properties. Soviet Soil Science 4(4):453-460. 1972.
32. GOUJON, P. et al. Conservación de suelos en regiones tropicales (Africa y Madagascar). Trad. del francés por J.A.Castillo. Mérida, Colombia, CIDIAT, 1977. 118 p.
33. GROS, A. El humus, base de la fertilidad de los suelos y sostén de la vida microbiana. Boletín de la Corporación Nacional de Fertilizantes (Perú) 4(11-12): 36-46. 1966.
34. GRYZLOV, YE.V., MIRONCHENKO, F.A. y POLUEKTOV, YE.V. Composition of the humic part of eroded southern chernozems. Soviet Soil Science 7(4):468-475. 1975.

35. HARDY, F. Edafología tropical. México, Herrero. 1970. 416 p.
36. HART, R.D. Agroecosistemas, conceptos básicos. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. 211 p.
37. HEWLETT, J.D. y NUTTER, W.L. An outline of forest hydrology. Athens, University of Georgia, 1969. 137 p.
38. HOLDRIDGE, L. Ecología basada en zonas de vida. San José, Costa Rica, IICA, 1978. 216 p.
39. IVES, N. Soil and water runoff studies in a tropical region. Turrialba (Costa Rica) 1(5):240-244. 1951.
40. KUNKLE, S. Agua: su calidad suele depender del forestal. Unasyuva 26(105):10-16. 1974.
41. \_\_\_\_\_. Manejo de cuencas hidrográficas, problemas y oportunidades. In ZADROGA, F. y MORALES, R., eds. Taller regional sobre manejo de cuencas hidrográficas y áreas silvestres. Conclusiones y estrategias. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. pp 79-93.
42. LA EROSION y sus secuelas. Orientación Agroindustrial (Colombia) 2(4):38. 1961.
43. LAL, R. Analysis of factors affecting rainfall erosivity and soil erodibility. In GREENLAND, D.J. y LAL, R., eds. Soil conservation and management in the humid tropics. London, Wiley, 1977. pp49-56.
44. \_\_\_\_\_. Soil-conservation versus soil-degrading crops and soil management for erosion control. In GREENLAND, D.J. y LAL, R., eds. Soil conservation and management in the humid tropics. London, Wiley, 1977. pp81-86.
45. LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. y PAULUS, J.H.L. Hidrología para ingenieros. 2 ed. Bogotá, MacGraw-Hill Latinoamericana, 1977. 386 p.
46. LOZANO, M.J. Proyección y trazado de los cafetales. II Conservación del suelo. Agricultura de las Américas 9(8):26-27, 46, 50. 1960.
47. McCAFFREY, D. Volume tables for laurel, Cordia alliodora, in northern Costa Rica. Turrialba (Costa Rica) 22(4):449-453. 1972.
48. McHARG, I. Design with nature. New York, American Museum of Natural History, 1971. 198 p.

49. MANNERING, J.V. y MEYER, L.D. The effects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion. Soil Science Society Proceedings 27(1): 84-85. 1963.
50. MARRERO, J.F. Conservation helps brings back Puerto Rico's coffee production. Soil Conservation 29 (2):42-43. 1965.
51. MATUTE, M. Criterios para la clasificación legal y control de calidad de las aguas. El agua (Venezuela) 6(25):37-46. 1976.
52. MICHAELSEN, T. y SANCHEZ, J.R. Establecimiento y calibración de 12 parcelas elementales para la investigación del control de la erosión y escorrentía superficial en el distrito forestal de Metapan, 1974. San Salvador, El Salvador, Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1974. 18 p. (Documento de trabajo no.3. PNUD/FAO/ELS/75/OC4.).
53. MOLERO, A. La dinámica del agua y del espacio aéreo en las capas superficiales de dos suelos de Costa Rica. Tesis Mg.Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA. 1972. 188 p.
54. MOZO, T. Conservación del suelo a través del bosque. Revista Nacional de Agricultura (Colombia) 748:46-47. 1967.
55. NATARAJ, T. y SUBRAMANIAN, S. Effect of shade and exposure on the incidence of brown-eye-spot' of coffee. Indian Coffee 39(6):179-180. 1975.
56. NASAROV, G.V. Permeability of the soil as indicator of its resistance to erosion. Soviet Soil Science 6(3):336-339. 1974.
57. PEREZ, V.M. Veinticinco años de investigación sistemática del cultivo del café en Costa Rica, 1950-1975. Agronomía Costarricense 1(2):169-185. 1977.
58. QUIROGA, V. Manual práctico para el análisis de experimentos de campo. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Publicación Miscelánea no. 142. 1976. 113 p.
59. ROCHA, J.A. Erosión de suelos de pendientes cultivados con maíz y frijol con diferentes grados de cobertura viva dentro de una plantación forestal. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 1977. 182 p.

60. RODRIGUEZ, A. Efecto de la variación del coeficiente de escorrentía en la frecuencia de las avenidas. San José, Costa Rica, Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, 1976. 28 p. (Publicación no. 122).
61. RODRIGUEZ, G. Sistemas de conservación de suelos en plantaciones de café al sol. CENICAFE (Colombia) 9(11-12):277-290. 1958.
62. SUAREZ DE CASTRO, F. Características de las lluvias en una zona cafetera de Colombia y uso de los datos pluviográficos en el cálculo de obras de defensa de suelos. Chinchiná, Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, 1947. 15 p.
63. \_\_\_\_\_. Conservación de suelos. San José, IICA, 1979. 315 p.
64. \_\_\_\_\_. Conservación de suelos en plantaciones de café, Turrialba, Costa Rica, IICA, 1958? 7 p.
65. \_\_\_\_\_. Experimentos sobre la erosión de los suelos. Chinchiná. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Boletín Técnico no.6. 1951. 79 p.
66. \_\_\_\_\_. Potencialidad erosiva de las lluvias dentro de un cafetal y al aire libre. Boletín Informativo. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Colombia) 3(32):21-31. 1952.
67. \_\_\_\_\_. Pérdidas por erosión de elementos nutritivos bajo diferentes cubiertas vegetales. Agricultura Tropical (Colombia) 8(8):31-36. 1952.
68. \_\_\_\_\_. y RODRIGUEZ, G.A. Pérdidas por erosión de elementos nutritivos bajo diferentes cubiertas vegetales y con varias prácticas de conservación de suelos. Boletín Técnico. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Colombia) 2(14):1-13. 1955.
69. TORRES, J.A. Algunos tópicos sobre erosión y conservación de suelos para Costa Rica. Suelo Tico (Costa Rica) 4:55-61. 1950.
70. U.S. SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS. Manual de conservación de suelos. México, Limusa, 1977. 332 p.
71. \_\_\_\_\_. Relación entre suelo-planta-agua. Trad. del inglés por E. Avila. México, Diana, 1978. 99 p.

72. URIBE, A. Conservación de suelos en plantaciones de café sin sombra. CENICAFE (Colombia) 17(1):17-29. 1966.
73. \_\_\_\_\_. Erosión y conservación de suelos en café y otros cultivos. CENICAFE (Colombia) 22(1):11-17. 1971.
74. WEISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil Science Society Proceedings 23(3):246-249. 1959.
75. \_\_\_\_\_. y MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. Soil Science Society of American Proceedings 33(1):131-137. 1971.
76. \_\_\_\_\_., JOHNSON, C.B. y CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation 26(5):189-193. 1971.
77. WOOD, H.E. Hydrologic differences between selected forested and agricultural soils in Hawaii. Soil Science Society of American Proceedings 41 (1): 132-135. 1977.
78. ZAMBRANA, H. Comparación y evaluación de la intercepción de lluvias en dos tipos de bosques tropicales. Tesis Mg. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1975. 61 p.

## 7. APENDICE

CUADRO A 1. Metodología para el análisis del perfil del suelo.

Abreviatura	Determinación	Metodología	Fuente
D.A.	Densidad aparente	Método del cilindro metálico de 5cm de diámetro y 5cm de largo.	Bazán (**) y Hardy (36)
D.P.	Densidad de partículas.	Método del kerosene.	Bazán (**)
H.G.	Humedad gravimétrica.	(Masa suelo fresco menos masa suelo seco) dividido por masa suelo seco.	Bazán (**)
H.V.	Humedad volumétrica.	Humedad gravimétrica multiplicada por densidad aparente.	Bazán (**)
E.P.T.	Espacio poroso total.	(Densidad partículas menos densidad aparente) dividido por densidad partículas X 100.	Bazán (**)
E.P.C.	Espacio poroso capilar	(Contenido humedad capacidad de campo menos 1/5 % arena) multiplicado por densidad aparente.	Bazán (**)
E.P.N.C.	Espacio poroso no capilar	Espacio poroso total menos espacio poroso capilar.	Bazán (**)
E.A.	Espacio aéreo	Espacio poroso total menos humedad volumétrica.	Bazán (**)
C.C.	Capacidad de campo	Retención de agua a 0.33 bar.	Bazán (***)
P.M.P.	Punto de marchitez permanente.	Retención de agua a 15 bares.	Bazán (***)
M.O.	Materia orgánica.	Método Walkley y Blake	Rocha (61)
Arc. Lim. Aren.	Textura	Método Bouyoucos modificado por Hardy y Bazán.	Bazán (*)

- (\*)= BAZÁN, R. Análisis de textura. Turrialba, CATIE. 1975. 4p.  
 (\*\*)= BAZÁN, R. Determinación de la densidad de partículas, densidad aparente, porosidad total y espacio aéreo del suelo. Turrialba, IICA. s.f. 6p.  
 (\*\*\*)= BAZÁN, R. Determinación de la capacidad de campo y punto de marchitez permanente en términos de la succión del agua del suelo. Turrialba, IICA. 1972. 3p.

CUADRO A 2. Análisis de varianza para perfiles de suelo, según parcelas y tratamientos. Valores de F calculada.

Variable	Tratamiento	Parcela
D.A.		
0 cm.	12,80 *	2,28
20 cm.	7,33 *	2,35
40 cm.	31,60 **	12,90 *
60 cm.	2,56	0,64
D.P.		
0 cm.	4,58	2,61
20 cm.	0,38	0,26
40 cm.	1,35	1,25
60 cm.	1,56	1,72
H.G.		
0 cm.	35,01 **	0,58
20 cm.	12,43	8,39 *
40 cm.	1,57	1,52
60 cm.	0,92	0,29
H.V.		
0 cm.	20,24 **	1,44
20 cm.	21,74 **	3,84
40 cm.	0,94	1,10
60 cm.	5,70	0,80
E.P.T.		
0 cm.	44,49 **	5,90
20 cm.	6,01	1,93
40 cm.	1,84	3,81
60 cm.	3,97	0,24
E. .C.		
0 cm.	25,54 **	0,76
20 cm.	1,25	0,29
40 cm.	3,02	1,05
60 cm.	1,42	0,13
E.P.N.C.		
0 cm.	106,34 **	7,31 *
20 cm.	3,12	0,86
40 cm.	6,16	5,24
60 cm.	2,01	5,24
E.A.		
0 cm.	2,93	4,18
20 cm.	8,70 *	0,32
40 cm.	2,73	5,71
60 cm.	4,84	0,42
C.C.		
0 cm.	3,06	0,28
20 cm.	1,67	0,94
40 cm.	0,25	0,04
60 cm.	1,03	0,49
P.H.P.		
0 cm.	3,39	2,30
20 cm.	0,17	0,42
40 cm.	1,80	0,17
60 cm.	2,26	0,32
M.O.		
0 cm.	0,35	1,97
20 cm.	3,52	0,16
40 cm.	1,44	1,10
60 cm.	4,92	0,09
Arcilla		
0 cm.	2,71	9,00 *
20 cm.	31,60 **	3,60
60 cm.	4,16	0,21
Limo		
0 cm.	26,00 **	2,00
20 cm.	14,00	2,00
40 cm.	2,11	0,23
60 cm.	0,18	0,18
Arena		
0 cm.	2,80	79,60 **
20 cm.	2,00	0,50
40 cm.	3,00	4,00
60 cm.	7,00	4,00

CUADRO A 3. Características de las lluvias no erosivas durante el período de estudio, de la estación Florencia Sur.

Fecha	Cantidad mm	Duración horas	Intensidad mm/h.	Int. Max. 30' mm/h	EI-30
5-7	3,8	2h 20'	1,55	3,2	0,19
7-7	1,0	2h 20'	0,43	0,8	0,01
13-7	5,5	2h 50'	1,94	6,0	0,54
16-7	1,0	1h 30'	0,66	1,0	0,01
17-7	1,5	5h 50'	0,26	1,0	0,02
22-7	2,0	0h 05'	24,00	4,0	0,14
23-7	2,1	1h 20'	1,58	2,0	0,06
29-7	1,9	1h 10'	1,63	2,8	0,07
1-8	3,0	0h 20'	9,00	6,0	0,34
4-8	3,4	8h 40'	0,39	1,8	0,07
7-8	1,3	2h 40'	1,25	5,6	0,82
11-8	3,6	5h 20'	0,68	4,9	0,12
12-8	1,6	2h 50'	0,56	1,4	0,03
12-8	2,0	1h 10'	1,72	3,6	0,11
13-8	4,4	3h 30'	1,29	3,4	0,23
14-8	4,2	2h 40'	1,58	4,0	0,25
15-8	2,4	2h 30'	0,96	1,2	0,03
15-8	1,1	0h 30'	2,20	2,2	0,04
19-8	2,4	2h 50'	0,85	2,4	0,08
21-8	1,4	1h 00'	1,40	2,0	0,04
24-8	5,3	3h 30'	1,51	4,0	0,32
23-8	3,1	1h 20'	2,33	4,4	0,22
30-8	1,8	1h 30'	1,20	2,6	0,06
2-9	2,9	7h 00'	0,41	1,4	0,05
3-9	4,1	1h 25'	2,89	4,4	0,29
4-9	5,1	1h 10'	4,57	8,0	0,74
7-9	3,3	0h 20'	9,90	6,6	0,42
9-9	2,5	2h 20'	1,07	2,0	0,06
10-9	5,8	4h 30'	1,29	4,8	0,42
11-9	4,3	6h 10'	0,55	2,0	0,11
14-9	3,8	1h 00'	3,80	6,6	0,45
14-9	1,5	4h 20'	0,35	0,8	0,01
17-9	8,8	4h 00'	2,20	4,0	0,55
25-9	1,0	1h 40'	0,60	1,6	0,02
29-9	4,3	2h 20'	1,87	7,0	0,55
3-10	1,3	1h 40'	0,87	1,2	0,02
6-10	1,4	0h 15'	5,60	2,8	0,06
7-10	0,9	2h 30'	0,36	1,3	0,01
8-10	6,8	2h 30'	2,72	8,4	0,99
9-10	8,7	6h 15'	1,39	4,0	0,51
10-10	8,1	3h 10'	2,56	3,8	0,49
11-10	0,9	2h 20'	0,68	0,8	0,01
13-10	0,6	0h 30'	1,20	1,2	0,01
14-10	2,4	1h 30'	1,60	2,2	0,07
16-10	5,1	3h 00'	1,70	4,0	0,32
17-10	3,9	1h 10'	3,34	7,4	0,56
21-10	11,3	6h 40'	1,70	3,6	0,97
24-10	4,5	6h 00'	0,75	3,2	0,21
25-10	3,6	2h 20'	1,54	3,0	0,15
26-10	2,8	3h 50'	0,73	3,8	0,16
1-11	6,8	2h 30'	2,72	5,0	0,56
2-11	3,7	3h 30'	1,06	2,8	0,15
10-11	2,2	1h 00'	2,20	3,6	0,12
11-11	1,9	0h 30'	3,90	3,8	0,12
12-11	3,5	4h 50'	0,72	1,4	0,12
13-11	1,9	1h 30'	1,27	2,8	0,08
14-11	0,7	1h 20'	0,53	0,6	0,01
14-11	2,8	2h 50'	0,99	1,8	0,07
16-11	13,4	7h 40'	1,75	4,2	0,63
17-11	3,3	5h 20'	0,62	2,6	0,11
21-11	2,5	8h 00'	0,29	2,2	0,06
23-11	6,0	2h 50'	2,21	3,8	0,34
29-11	3,0	1h 45'	1,72	2,4	0,10
30-11	6,1	6h 20'	0,96	6,2	0,60
1-12	2,1	2h 10'	0,97	2,0	0,63
2-12	2,5	2h 10'	1,29	1,8	0,08
3-12	4,5	8h 30'	0,53	2,8	0,16
5-12	2,0	2h 00'	1,00	1,2	0,03
14-12	8,1	6h 20'	1,28	8,6	1,18
16-12	2,9	7h 00'	0,41	2,2	0,03
20-12	2,1	12h 50'	0,16	0,8	0,21
21-12	0,6	3h 20'	0,18	0,4	0,01
23-12	1,3	1h 30'	0,87	1,6	0,03
25-12	5,0	1h 30'	3,33	6,2	0,55
26-12	1,8	4h 00'	0,45	2,2	0,04
27-12	1,4	1h 25'	0,93	1,4	0,02
28-12	2,8	2h 10'	0,93	2,0	0,07
30-12	5,8	1h 45'	3,31	3,8	0,36

CUADRO A 4. Características de las lluvias erosivas durante el período de estudio, de la estación Florencia Sur.

Fecha	Cantidad mm	Duración horas	Intensidad mm/h	Int. Max. 30' mm/h	EI-30
11-7	6,9	0h 55'	7,95	8,0	0,81
15-7	12,5	3h 40'	3,41	5,6	1,21*
16-7	9,3	2h 50'	3,28	9,0	1,52*
18-7	9,4	2h 50'	3,32	5,0	1,52
21-7	21,5	3h 50'	5,61	20,0	8,73
23-7	10,6	1h 30'	7,07	20,0	4,83
26-7	6,2	3h 10'	1,96	5,0	0,51
27-7	3,6	4h 50'	0,74	5,4	0,25
30-7	7,4	4h 10'	1,80	4,4	0,46
2-8	15,4	5h 00'	3,08	8,8	2,54
5-8	22,0	13h 15'	1,66	8,4	3,17
7-8	14,9	1h 00'	14,90	25,6	8,63
8-8	9,6	6h 20'	1,52	5,6	0,82
9-8	5,2	4h 10'	1,25	4,4	0,53
16-8	10,2	4h 35'	2,25	6,0	0,99
17-8	31,8	7h 30'	4,24	20,2	12,60
18-8	34,6	8h 20'	4,15	38,8	29,98
22-8	20,7	2h 20'	8,87	25,6	12,94
29-8	16,9	10h 40'	1,55	16,4	5,03
1-9	23,4	7h 00'	4,06	14,8	8,25
13-9	21,9	3h 50'	5,71	35,6	17,12
19-9	19,7	4h 50'	4,08	14,0	5,23
20-9	44,9	2h 40'	16,84	35,6	45,39
22-9	23,2	2h 20'	9,94	19,0	9,67
27-9	23,7	7h 20'	3,23	21,0	9,07
30-9	8,9	2h 00'	4,45	5,0	0,78*
1-10	35,1	3h 00'	11,70	21,2	9,25*
20-10	14,8	2h 10'	6,93	20,6	6,74
27-10	14,6	2h 50'	5,15	21,8	6,58
23-10	8,8	5h 30'	1,60	13,4	2,19
30-10	11,1	6h 20'	1,75	4,2	0,74
3-11	12,4	4h 10'	2,97	7,2	1,53
8-11	8,7	3h 10'	2,75	5,8	0,83
13-11	11,9	6h 10'	1,93	7,0	1,39
20-11	17,7	7h 30'	2,36	13,2	4,30
22-11	7,3	2h 00'	3,65	9,2	1,21
25-11	13,0	3h 00'	4,33	15,0	3,75
28-11	13,5	0h 45'	13,00	24,0	31,58
2-12	4,3	0h 40'	6,45	8,2	0,73
8/10-12	38,7	43h 30'	0,89	10,4	7,45
15-12	17,6	3h 30'	5,03	23,6	46,59
17-12	5,9	5h 10'	0,58	2,4	0,18
30-12	5,8	1h 45'	3,31	3,8	0,36*
30/31-12	35,0	24h 30'	1,45	6,4	5,03*

\* No se midió erosión y escorrentía.



CUADRO A 6. Análisis estadístico de las variables estudiadas.

VARIABLE	PROMEDIO	DES/ESTAND.	COEF.VAR.
Malezas g/m <sup>2</sup> :			
peso fresco.CP	46,44	30,09	0,65
CPL	122,00	85,01	0,70
C	381,22	153,22	0,35
Malezas g/m <sup>2</sup>			
peso.seco. CP	10,36	6,56	0,63
CPL	21,62	15,82	0,73
C	64,11	24,11	0,38
Hojarasca g/m <sup>2</sup>			
peso fresco.CP	921,00	368,06	0,40
CPL	1.089,89	853,77	0,78
C	112,89	65,44	0,58
Hojarasca g/m <sup>2</sup>			
peso seco. CP	556,50	294,50	0,53
CPL	786,70	641,40	0,82
C	65,32	43,78	0,67
Escorrentía %:			
CP	1,36	0,51	0,38
CPL	2,07	0,91	0,44
C	1,44	0,62	0,43
Escorrentía m <sup>3</sup> /ha:			
CP	2,23	1,53	0,69
CPL	3,40	2,27	0,67
C	2,31	1,68	0,73
Erosión g/l.:			
CP	0,48	0,64	1,34
CPL	0,71	0,93	1,31
C	3,47	4,61	1,33
Erosión Kg/ha.:			
CP	1,55	3,33	2,15
CPL	2,73	5,02	1,84
C	9,63	17,81	1,85
Lluvias no erosivas:			
mm.	3,44	2,45	0,71
duración	3,17	2,46	0,78
intens.	1,93	3,03	1,53
int. máx.	3,93	2,00	0,62
EI-30	0,23	0,27	1,18
Lluvias erosivas:			
mm.	16,26	10,18	0,63
duración	5,60	7,09	1,26
intens.	4,71	4,09	0,87
int. máx.	13,86	9,52	0,69
EI-30	7,27	10,81	1,49

GUADRO A 7. Análisis de varianza de las características estudiadas.

Variable analizada	Cuad.Medio Tratamiento	Cuad.Medio Error	F. calculada
Biomasa de malezas	277.471,50	9.820,69	28,25 **
Biomasa de hojarasca	2482.848,50	259.583,00	9,56 **
Erosividad de lalluvia			
cantidad de mm.	4.608,88	40,94	112,57 **
duración	167,27	21,84	7,65 **
Intensidad media	215,39	11,84	18,20 **
Intensidad máxima	3.174,28	35,05	90,57 **
Indice EI-30	1.394,92	41,89	33,30 **
Escorrentía diaria			
volumen m <sup>3</sup> /ha	15,13	3,53	4,29 *
porcentaje	5,74	0,46	11,85 **
Escorrentía mensual			
volumen m <sup>3</sup> /ha	95,84	11,54	8,31 **
porcentaje	1,02	0,07	15,59 **
Erosión diaria			
sedimentos g/l	93,15	7,86	11,85 **
pérdidas Kg/ha	741,30	117,46	6,31 **
Erosión mensual			
sedimentos g/l	12,03	1,37	8,80 **
pérdidas Kg/ha	4.586,00	1.003,64	4,57 **

CUADRO A 9. Análisis matemático de las regresiones entre las características de las lluvias, el volumen de escorrentía y la erosión en eventos individuales, por tratamiento.

Variables Analizadas.	Modelo logarítmico Coef. det. Desv. est. F.	Modelo exponencial Coef. det. Desv. est. F.	Modelo lineal Coef. det. Desv. est. F.
<b>Lluvia/escorrentía</b>			
cantidad -CP	0,82	0,19	0,79
cantidad -CFL	0,75	0,21	0,72
cantidad -C.	0,79	0,23	0,81
Int.med. -CP	0,21	0,31	0,10
Int.med. -CFL	0,24	0,32	0,14
Int.med. -C.	0,25	0,26	0,14
Int.máx. -CP	0,57	0,24	0,48
Int.máx. -CFL	0,48	0,26	0,49
Int.máx. -C.	0,52	0,29	0,51
EI-30 -CP	0,72	0,27	0,41
EI-30 -CFL	0,65	0,28	0,50
EI-30 -C.	0,70	0,31	0,57
<b>Lluvia/erosión</b>			
cantidad -CP	0,61	0,35	0,56
cantidad -CFL	0,48	0,45	0,52
cantidad -C.	0,46	0,49	0,25
Int.med. -CP	0,16	0,57	0,09
Int.med. -CFL	0,18	0,63	0,04
Int.med. -C.	0,12	0,64	0,09
Int.máx. -CP	0,32	0,51	0,13
Int.máx. -CFL	0,37	0,53	0,15
Int.máx. -C.	0,43	0,50	0,28
EI-30 -CP	0,44	0,45	0,20
EI-30 -CFL	0,45	0,57	0,21
EI-30 -C.	0,42	0,60	0,12
<b>Escorrentía/erosión</b>			
CP - CP	0,53	0,39	0,42
CFL - CFL	0,40	0,49	0,32
C. - C.	0,29	0,53	0,20

CUADRO A 9. Lista de especies vegetales encontradas en los muestreos de malezas.

FECHA	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA BOTAN.	NOMBRE COMUN
20-6-79:			
	<i>Borreria latifolia</i>	Rubiaceae	chiquizá
	<i>Paspalum virgatum</i>	Graminae	gamalote
	<i>Impatiens cf. wallerana</i>	Balsaminaceae	china
	<i>Momordica charantia</i>	Cucurbitaceae	sorosí
	<i>Cordia alliodora</i> (plántulas)	Borraginaceae	laurel
	<i>Coffea arabica</i> (plántulas)	Rubiaceae	café
20-9-79:			
	<i>Borreria latifolia</i>	Rubiaceae	chiquizá
	<i>Impatiens cf. wallerana</i>	Balsaminaceae	china
	<i>Momordica charantia</i>	Cucurbitaceae	sorosí
	<i>Emilia fosbergii</i>	Compositae	clavelillo
	<i>Phyllanthus cf. urinaria</i>	Euphorbiaceae	
	<i>Sida rhombifolia</i>	Malvaceae	escobilla
	<i>Torulinium odoratum</i>	Cyperaceae	coyolillo
	<i>Ipomoea cf. cathartica</i>	Convolvulaceae	churristate
	<i>Panicum maximum</i>	Graminae	guinea
20-12-79:			
	<i>Coffea arabica</i> (plántulas)	Rubiaceae	café
	<i>Impatiens cf. wallerana</i>	Balsaminaceae	china
	<i>Borreria latifolia</i>	Rubiaceae	chiquizá
	<i>Cyperus sp.</i>	Cyperaceae	coyolillo
	<i>Paspalum paniculatum</i>	Graminae	gamalote
	<i>Desmodium sp.</i>	Leguminosae	pega-pega
	<i>Drymaria cordata</i>	Caryophyllaceae	
	<i>Phyllanthus cf. urinaria</i>	Euphorbiaceae	
	<i>Ipomoea sp.</i>	Convolvulaceae	churristate
	<i>Digitaria cf. decumbens</i>	Graminae	

CUADRO A 10. Costos aproximados de la instalación de las parcelas. (Marzo de 1.979).

MATERIALES	CANTIDADES	COSTO/PARCELA ¢.
láminas de aluminio	(5)	150
cunetas de concreto	7	49
cemento	1/5 saco	6
arena	1 saco	10
pintura anticorrosiva	1/10 galón	10
estañones	1	30
plásticos	1	8
MANO DE OBRA		
señalamiento	1 d/h.	35
construcción calicata	1,5 d/h.	52,5
instalación láminas	1,5 d/h.	52,5
preparación materiales	2 d/h.	70
TRANSPORTE		
Acarreo de materiales	30 Km.	120
	Sub-total.....	593
	10%.....	<u>59</u>
	Total/parcela.....	652
	(Total/parcela.....\$	76,35)

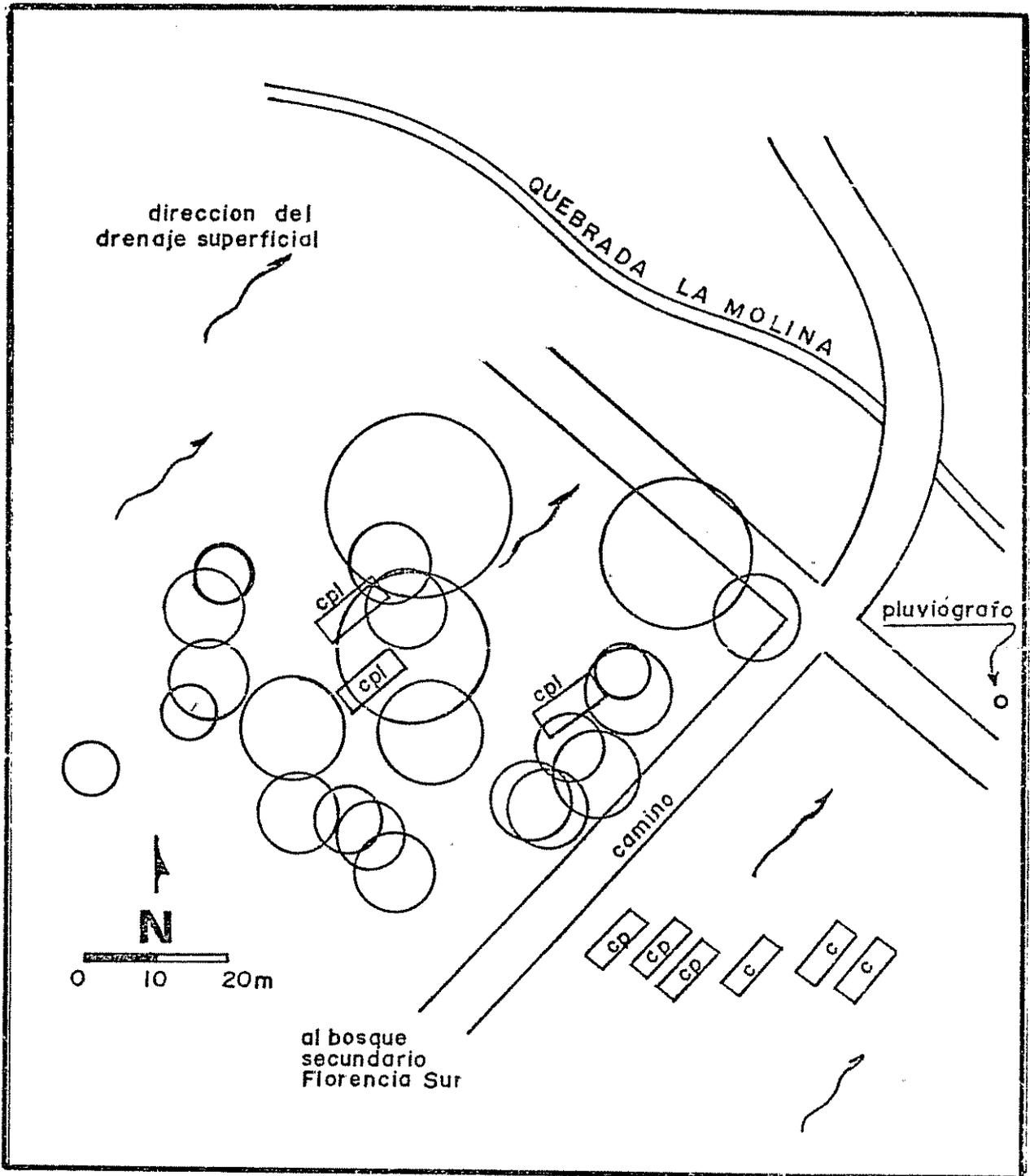


FIGURA A1. LOCALIZACION DE LAS PARCELAS  
Y LOS ARBOLES DE LAUREL

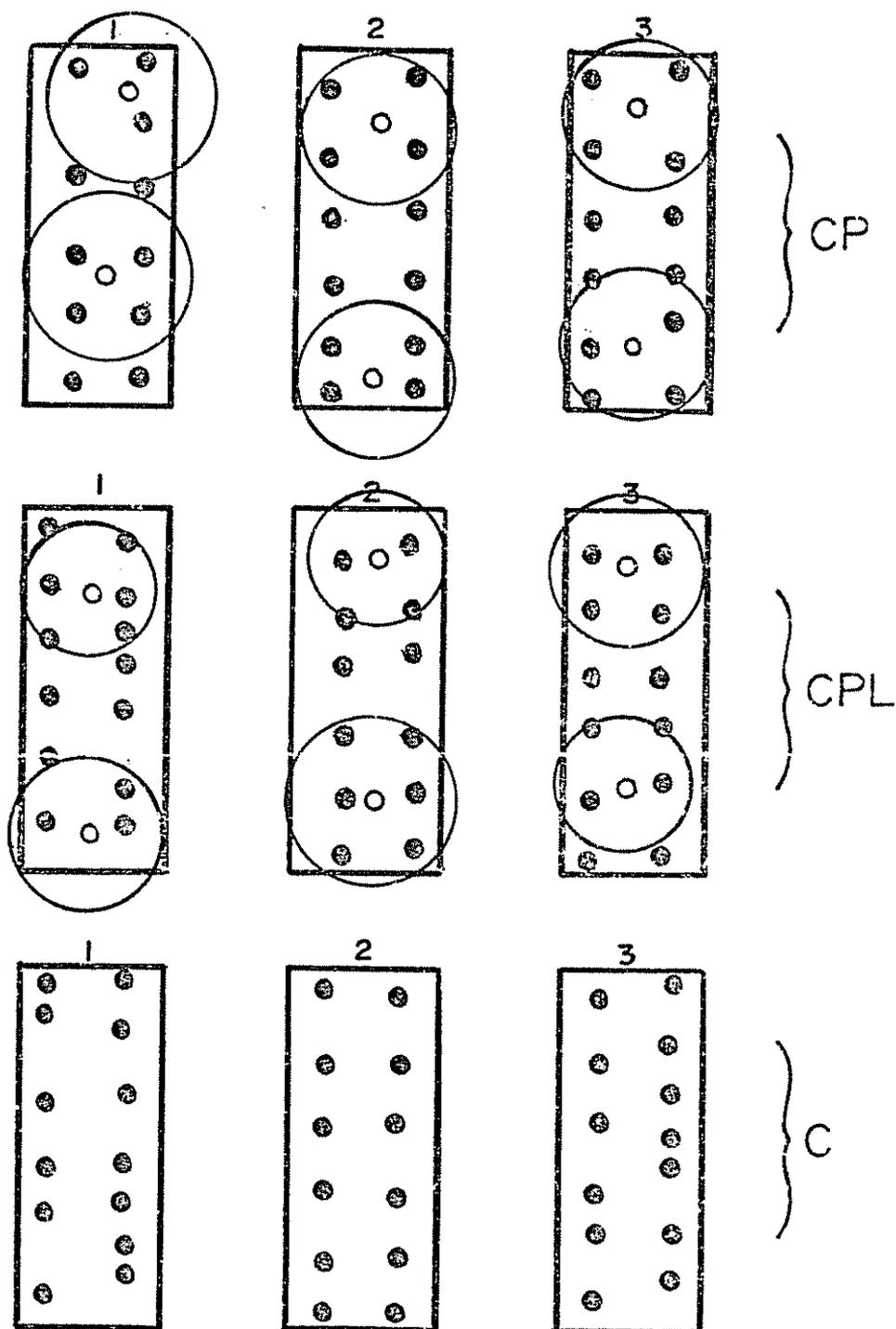


FIGURA A2. LOCALIZACION DE LOS CAFETOS ●  
Y LOS ARBOLES DE PORO ○

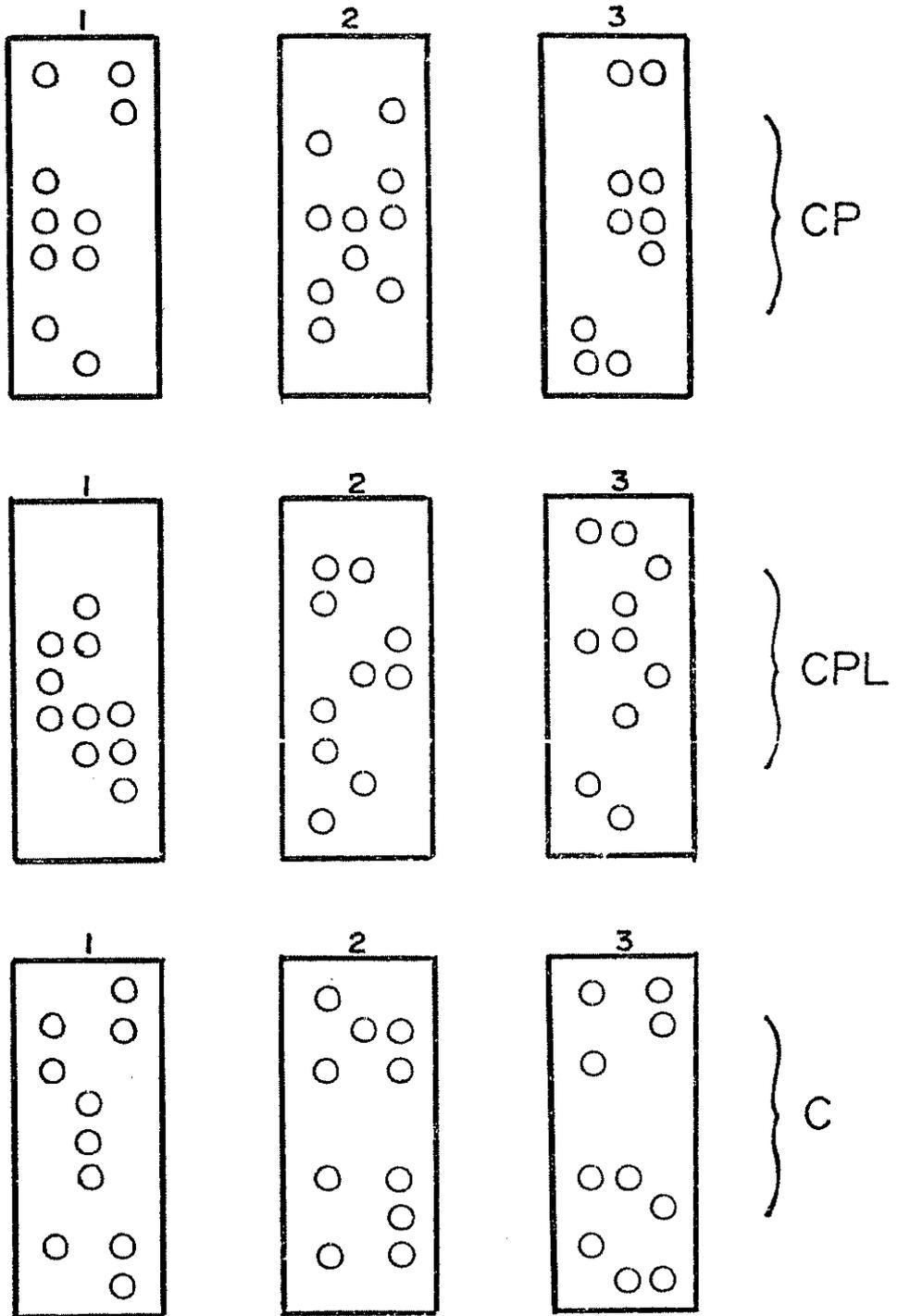
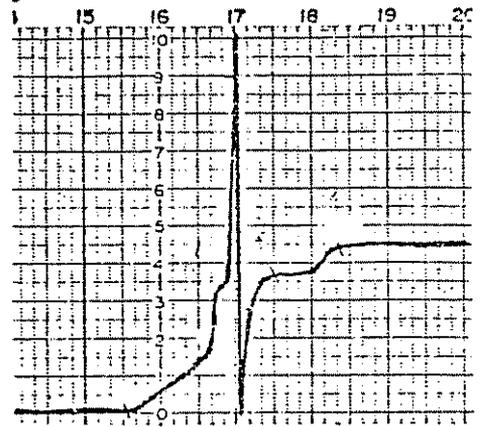
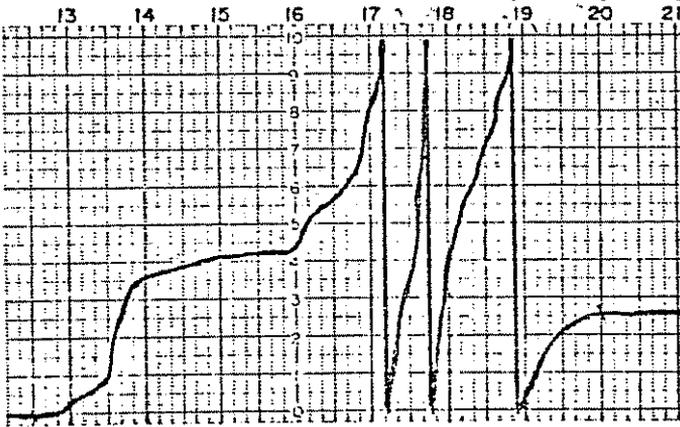


FIGURA A 3. LOCALIZACION DE LOS  
COLECTORES DE LLUVIA O

### EROSIVAS



### NO EROSIVAS

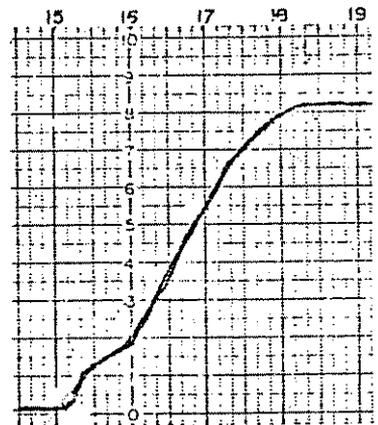
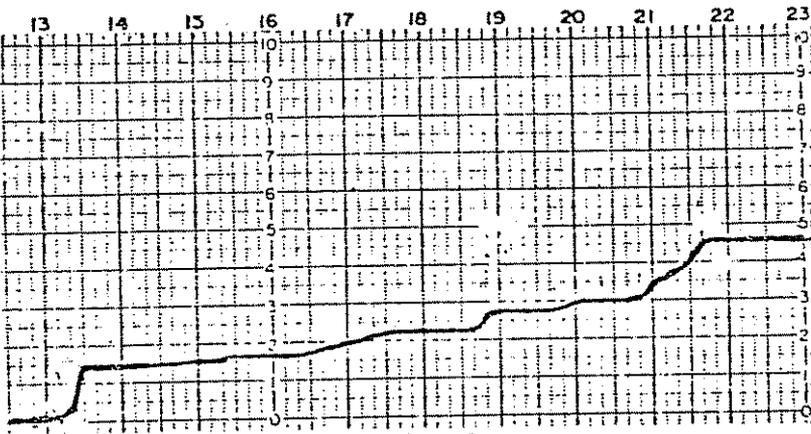


FIGURA A4. PLUVIOGRAMAS DE LLUVIAS EROSIVAS Y NO EROSIVAS