

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EVALUACION DE LA ESCORRENTIA SUPERFICIAL Y LA  
EROSION EN UN PASTIZAL CON ARBOLES AISLADOS EN  
LA SUIZA, 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 Scientiarum*

por

WALTER AUGUSTO APOLO BERRU

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

1980

DEDICATORIA

A mis padres

A mis hermanos

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo se realizó con la colaboración de innumerables personas con las que el autor está en deuda y desea expresarles su sincero agradecimiento.

Especial reconocimiento quiere hacer el autor a las siguientes personas e instituciones:

Al Dr. Gonzálo De las Salas, Dr. Gerardo Budowski, Ing. Frank Zadroga e Ing. Roberto Díaz-Romeu, Consejero Principal y Miembros del Comité Consejero, respectivamente, por las valiosas orientaciones y sus palabras de aliento en los momentos más difíciles.

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

A la Universidad de las Naciones Unidas (UNU) por el financiamiento de la investigación dentro del Proyecto UNU/CATIE en La Suiza, sin la cual, no hubiera sido posible realizar este trabajo.

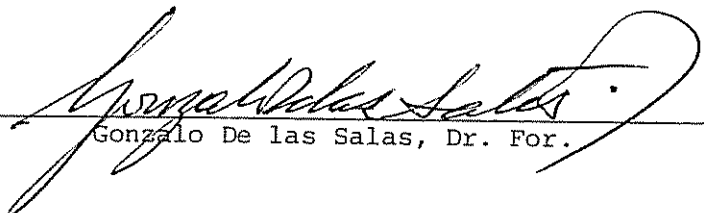
A todos los profesores del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales de la Universidad de Costa Rica y el CATIE por su colaboración.

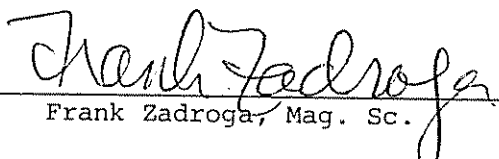
A los compañeros y amigos que de una u otra manera colaboraron en la ejecución de este trabajo y de una manera especialísima al compañero Mauricio Bermúdez y al Ing. John Beer.

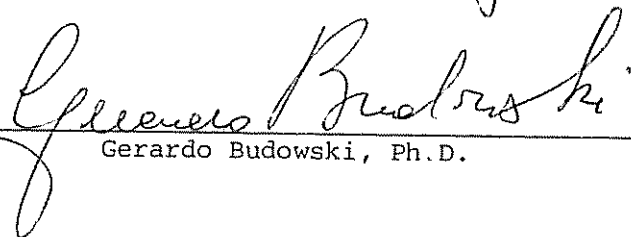
Esta tesis ha sido aceptada en su forma presente por la  
Comisión de Estudios de Posgrado del Programa Conjunto UCR/CATIE  
como requisito parcial para optar al grado de

*Magister Scientiae*

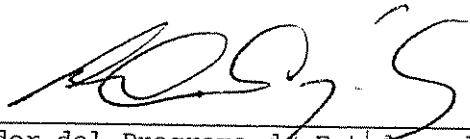
JURADO:

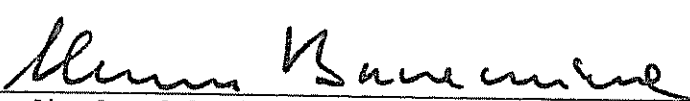
  
\_\_\_\_\_  
Gonzalo De las Salas, Dr. For. Profesor Consejero

  
\_\_\_\_\_  
Frank Zadroga, Mag. Sc. Miembro del Comité

  
\_\_\_\_\_  
Gerardo Budowski, Ph.D. Miembro del Comité

  
\_\_\_\_\_  
Roberto Díaz-Romeu, Mag. Agr. Miembro del Comité

  
\_\_\_\_\_  
Coordinador del Programa de Estudios de Posgrado  
en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales

  
\_\_\_\_\_  
Coordinador del Sistema de Estudios de Posgrado  
de la Universidad de Costa Rica

  
\_\_\_\_\_  
Walter Apolo Berrú  
Candidato

## BIOGRAFIA

El autor nació en Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe, Ecuador el 27 de julio de 1946; realizó sus estudios primarios en su ciudad natal y los secundarios en el Colegio "La Dolorosa" de la ciudad de Loja, graduándose de Bachiller en Humanidades Modernas en 1966.

En 1967 ingresó a la Facultad de Agronomía y Veterinaria de la Universidad Nacional de Loja, egresó de la misma en el año 1972 y obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo en 1977.

Desde febrero de 1972 hasta julio de 1974 trabajó como profesor en el Normal "San Francisco". De octubre de 1974 a julio de 1975 fue profesor del Colegio Técnico Nacional Yanzatza.

Entre agosto de 1975 a diciembre de 1976 trabajó en el Inventario de Recursos Naturales del Sur del Ecuador, bajo la supervisión del Programa Regional para el Desarrollo del Sur del País (PREDESUR).

En marzo de 1978 ingresó al 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, de donde egresó en mayo de 1980.

## CONTENIDO

	<u>Página</u>
I. INTRODUCCION.....	1
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
1. Factores que intervienen en los fenómenos de escorrentía y erosión.....	3
1.1. La Precipitación.....	3
1.1.1. Cantidad total de precipitación.....	4
1.1.2. Intensidad.....	4
1.1.3. Duración.....	6
1.1.4. Frecuencia.....	6
1.2. Tipo de suelo y características del sitio.....	7
1.2.1. Tipo de suelo.....	7
1.2.1.1. Textura.....	7
1.2.1.2. Estructura y contenido de materia orgánica.....	8
1.2.1.3. Porosidad.....	8
1.2.1.4. Pedregosidad.....	9
1.2.1.5. Capacidad de infiltración.....	9
1.2.1.6. Compactación.....	10
1.2.2. Características topográficas del sitio..	11
1.3. Cobertura vegetal.....	11
2. Escorrentía y erosión.....	14
III. MATERIALES Y METODOS.....	16
1. Ubicación.....	16
2. Clima.....	16
3. Geología y suelos.....	19
4. Fisiografía.....	19

	<u>Página</u>
5. Historia y uso actual de la tierra.....	19
6. Parcelas experimentales.....	29
6.1. Dimensiones y límites.....	20
6.2. Sistema colector de agua y sedimentos.....	22
7. Labores.....	24
8. Tratamientos.....	24
9. Mediciones de escorrentía y erosión.....	24
10. Mediciones de precipitación.....	25
11. Duración del período de observaciones.....	25
12. Caracterización de perfiles de suelo.....	26
12.1. Características físicas.....	26
12.2. Características químicas.....	27
13. Compactación.....	27
14. Observaciones sobre el sistema radical de árboles....	28
15. Análisis de la información.....	28
IV. RESULTADOS.....	29
1. Precipitación.....	29
1.1. Precipitación mensual.....	29
1.2. Frecuencia e intensidad de las precipitaciones	29
2. Características del suelo.....	31
2.1. Características físicas.....	31
2.2. Características químicas.....	34
2.3. Compactación.....	36
3. Cobertura vegetal.....	36

	<u>Página</u>
4. Escorrentía.....	37
4.1. Escorrentía por tratamientos.....	37
4.2. Distribución de la escorrentía según las clases de precipitación.....	38
4.3. Relaciones entre la escorrentía y las caracte- rísticas de la precipitación.....	39
4.4. Relaciones entre la escorrentía y las propieda- des físicas del suelo.....	39
5. Sedimentos.....	41
V. DISCUSION.....	44
1. Precipitación.....	44
2. Suelos.....	45
3. Infiltración.....	47
4. Compactación.....	47
5. Pendiente.....	48
6. Cobertura vegetal.....	48
7. Escorrentía y erosión.....	49
VI.. CONCLUSIONES.....	51
VII. BIBLIOGRAFIA.....	52
APENDICE A.....	59
APENDICE B.....	66



## RESUMEN

Con el objeto de cuantificar la escorrentía superficial y la erosión en pastizales con árboles aislados, determinar la relación entre las características de la lluvia con los fenómenos de escorrentía y erosión e identificar otras variables que tengan influencia sobre estos procesos, se realizaron mediciones de escorrentía después de cada lluvia, durante el período comprendido entre julio de 1979 y enero de 1980, en una cuenca experimental ubicada en La Suiza, Turrialba, Costa Rica. Se utilizaron nueve parcelas de escurrimiento (4 x 10 m) y un diseño experimental de bloques al azar con tres tratamientos y tres repeticiones.

Los tratamientnos consistieron en: parcela con pasto, parcela con pasto más un árbol de poró (Erythrina poeppigiana) y parcela con pasto más un árbol de laurel (Cordia alliodora), en un pastizal que permaneció bajo pastoreo extensivo durante cinco años. Durante el período experimental no hubo pastoreo, aunque se cortó la vegetación herbácea a 10 cm del suelo por dos veces. ✓

Los resultados no mostraron diferencias entre tratamientos en cuanto a la escorrentía, observándose una alta variabilidad de los datos (73%). Esta variabilidad se atribuye a una diferencia muy marcada entre suelos a cortas distancias, de acuerdo con los resultados de los análisis físicos de los perfiles de suelo correspondientes a cada parcela. Se vió la necesidad de utilizar un mayor número de parcelas en suelos más homogéneos para evaluar el efecto de los árboles individuales sobre

la escorrentía superficial.

El porcentaje promedio de escorrentía para todos los tratamientos fue alto (7% de la precipitación), comparado con los obtenidos en otros estudios para la zona de Turrialba. Para eventos mayores de 40 mm, que representaron el 4% del total, este porcentaje fue tres veces mayor (24% de la precipitación).

La erosión estimada para todos los tratamientos de acuerdo con el porcentaje promedio de escorrentía y la concentración de sedimentos, fue de 1900 kg/ha/año.

La escorrentía promedio por parcela mostró correlación con algunas propiedades físicas del primer horizonte del suelo, como porcentaje de arcilla ( $r = 0,58$ ), porcentaje de arena ( $r = -0,53$ ), porcentaje de humedad a 0,33 bares ( $r = -0,59$ ) y con la capacidad de infiltración ( $r = -0,64$ ). Se encontró una correlación múltiple significativa cuando se consideraron como variables independientes el porcentaje de humedad a 0,33 bares y la capacidad de infiltración en cm/h a los 120 minutos y como variable dependiente la escorrentía (mm).

De las características de la lluvia que se estudiaron (cantidad en mm, intensidad media en mm/h, tiempo en horas e intensidad máxima en 30 y 60 minutos), la que mejor se correlacionó con la escorrentía fue la cantidad ( $r = 0,90$ ), mediante un modelo logarítmico, mientras que la concentración de sedimento mostró una muy baja correlación solamente con las máximas intensidades en 30 y 60 minutos.

## SUMMARY

In order to quantify superficial runoff and erosion in pastures containing isolated trees, to determine the relationship between the characteristics of the rain, runoff and erosion phenomenae, and to identify other variables that influence these processes, runoff measurements were taken after each rainstorm during the period July 1979 to January 1980. The study was carried out in an experimental watershed in La Suiza, Turrialba, Costa Rica. Nine runoff plots (4 x 10 m) were used in a random block experimental design that contained 3 repetitions of 3 treatments. The treatments consisted of: grass; grass with one "poró" (Erythrina poeppigiana) tree; and grass with one "laurel" (Cordia alliodora) tree. They were established in a pasture that had been extensively grazed for the preceeding five years. During the experimental period the herbaceous vegetation in the plots was twice manually cut 10 cm above ground level as grazing cuold not be permitted.

The results showed a high variability (73%) in runoff and no differences between treatments were found. This variability could be due to the very marked differences in the soils over short distances, as was illustrated by the results of the physical analyses of the soil profiles in each plot. A larger number of plots in an area with more homogeneous soils, are needed to evaluate the effect of isolated trees on superficial runoff in pastures.

The average percentage runoff for all treatments was high (7% of rainfall) when compared with the results from others studies in the Turrialba area. Storms which produced precipitations over 40 mm (4% of the rainfall events during the study period) resulted in a runoff which was three times greater (24% of rainfall).

Erosion estimates based on average runoff and sediment concentrations indicated a loss of 1900 kg/ha/year for all treatments.

The average plot runoff showed correlations with some of the physical properties of the first horizon: percentage of clay ( $r = 0,58$ ); percentage of sand ( $r = -0,53$ ); moisture retention at 0,33 bars ( $r = -0,59$ ); infiltration capacity ( $r = -0,64$ ). A significant correlation coefficient (5% level) was found for the multiple regression when moisture retention in percentage at 0,33 bars, and infiltration capacity, in cm/h at 120 minutes, were considered as the independent variables and the runoff (mm) as the dependent variable.

Out of the rainfall characteristics which were studied (quantity en mm, mean intensity in mm/h, duration in hours and maximum intensity in 30 and 60 minutes) the best correlation with runoff was shown by the quantity ( $r = 0,90$ ) through a logarithmic model. Sediment concentrations showed very low correlations with the maximum intensities in 30 and 60 minutes.

LISTA DE CUADROS

<u>Cuadro N<sup>o</sup></u>	<u>Página</u>
1 Intensidades máximas de lluvia en mm/h, para dos duraciones, dos intervalos de retorno y dos localidades.....	6
2 Precipitación mensual para el período de estudio y promedio de 12 años en La Suiza.....	29
3 Frecuencia, precipitación (mm) y escorrentía promedio (mm) para seis clases de lluvias, con sus respectivos porcentajes.....	30
4 Características físicas de los 9 perfiles de las parcelas de escorrentía en La Suiza, Turrialba, Costa Rica.....	33
5 Promedios de escorrentía en mm para tratamientos y repeticiones, correspondientes a 61 eventos.....	38
6 Promedio de sedimento en g/l para tratamientos y repeticiones, correspondiente a 11 eventos.....	42

APENDICE A

1A Características químicas de los 9 perfiles de las parcelas de escorrentía en La Suiza, Turrialba, Costa Rica.....	60
2A Matriz de correlaciones entre las características de la lluvia, la escorrentía y sus transformaciones logarítmicas.....	61
3A Matriz de correlaciones entre algunas características del primer horizonte del suelo, escorrentía mm y sedimentos (g/litro) para el período de observaciones.....	62
4A Cuadrados medios del análisis de varianza para escurrimiento (mm), promedios de 61 eventos, y sedimento en g/l, promedio de 11 eventos.....	63

5A	Cuadrados medios del análisis de varianza para las características del suelo.....	64
----	---	----

## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura N<sup>o</sup></u>		<u>Página</u>
1	Parcelas de escorrentía en La Suiza. Ubicación del área experimental.....	17
2	Distribución de la precipitación promedio mensual en La Suiza, en el período 1968-1979 (---) y de enero de 1979 a enero de 1980 (———).....	18
3	Parcelas de escorrentía en La Suiza. Ubicación en los lotes experimentales.....	21
4	Parcelas de escorrentía en La Suiza. Sistema colector de agua y sedimentos.....	23
5	Parcelas de escorrentía en La Suiza. Sistema divisor del aparato colector.....	23
6	Parcelas de escorrentía en La Suiza, curva de regresión para la relación del número de lluvias en función de la precipitación.....	32
7	Parcelas de escorrentía en La Suiza, curvas de regresión para la relación de la velocidad de infiltración en función del tiempo, para tres grupos de parcelas. 2(---), 1,3,4,6 (-.-.-) 5,7,8,9 (———)..	35
8	Parcelas de escorrentía en La Suiza. curvas de regresión para la relación de la escorrentía. (Promedio (———) parcela dos (-.-.-) y la precipitación por aguacero.....	40
9	Parcelas de escorrentía en La Suiza, curva de regresión lineal para la relación de la escorrentía y la precipitación.....	65

## I. INTRODUCCION

En los trópicos, la agricultura y ganadería se están incrementando a expensas del bosque natural, del cual se calcula que cada año se convierten a pastizal unos 100,000 km<sup>2</sup>. Muchos de estos nuevos pastizales se degradan prontamente, especialmente por su mal manejo, y luego son abandonados.

Los planes de desarrollo de algunos gobiernos de la América Tropical proveen grandes aumentos de la ganadería a expensas de cuencas boscosas, que muchas veces presentan pendientes escarpadas.

Se sabe que los bosques juegan un papel muy importante en la regulación de los procesos hidrológicos y que los pastos, bajo un manejo adecuado, presentan una buena protección del suelo contra la erosión. Por lo tanto, se cree que una cobertura de gramíneas forrajeras con árboles, como un sistema intermedio entre el pastizal tradicional y el bosque, podría ser una alternativa para el control de escorrentía y erosión en lugares con altas precipitaciones, donde los problemas se presentan por exceso y no por falta de agua.

Además, se trata de sistemas que de alguna manera se encuentran presentes entre los pastizales del trópico húmedo y que, si se manejan adecuadamente, no disminuirían substancialmente la producción forrajera. Por el contrario, debido a la creciente demanda de productos forestales, podrían resultar en una mejor economía para el agricultor, además de los beneficios sociales que proporcionaría por un mejor uso de los Recursos suelo y agua.

Por otro lado, la información cuantitativa sobre escorrentía y erosión es escasa en lugares tropicales y hacen falta mediciones



que determinen valores reales para cada región, necesarios si se pretende una adecuada planificación del manejo de los recursos involucrados.

Teniendo presente las consideraciones anteriores, se llevó a cabo el presente trabajo con los siguientes objetivos:

1. Determinar la magnitud de la escorrentía superficial y la erosión en pastizales con árboles dispersos, con pendientes fuertes (40-50%) en la cuenca La Suiza, cerca de Turrialba, Costa Rica.
2. Determinar la relación entre algunas características de la lluvia con la escorrentía e identificar otras variables que afectan los procesos de la escorrentía y la erosión en el área de estudio.
3. Evaluar la influencia del poró (Erythrina poeppigiana) y del laurel (Cordia alliodora) sobre la escorrentía superficial y la erosión, cuando están creciendo aisladamente en pastizales.

## II. REVISION DE LITERATURA

En parcelas experimentales, el balance hídrico puede expresarse en términos de tres componentes a saber: la cantidad total de lluvia, que será igual a la suma del agua que se pierde por escorrentía superficial y la que se infiltra y produce un cambio de almacenamiento en el suelo (37); o sea:

$$P = Q + \Delta S$$

donde:

P = Precipitación

Q = Escorrentía

$\Delta S$  = Cambio de almacenamiento en el suelo

1. Factores que intervienen en los fenómenos de escorrentía y erosión.

Los factores que concurren a determinar la proporción de la precipitación que se escurre superficialmente son numerosos. Todos ellos están muy interrelacionados, su importancia es relativa para diferentes condiciones y pueden distinguirse tres grupos (37, 47, 59).

- Factores relacionados con la precipitación;
- Tipo de suelo y características del sitio;
- Cobertura vegetal y mantillo.

### 1.1. La precipitación

Se conoce que no es tanto la cantidad anual de la precipitación que cae sobre un lugar, sino el efecto de aguaceros o eventos

individuales los que se relacionan mejor con las pérdidas de agua y suelo (21, 42, 45, 75). Sin embargo, no existe todavía acuerdo en lo que se considera una lluvia como evento en sí; por ejemplo, Amézquita (1) y Rocha (67) consideran como evento independiente aquel que está separado de otro por un período de 30 minutos o más, mientras que otros autores (3, 7, 51) separan eventos con períodos de por lo menos seis horas sin precipitaciones mayores a 1 mm.

#### 1.1.1. Cantidad total de precipitación

La cantidad de lluvia necesaria para que se produzca escorrentía superficial significativa varía de un lugar a otro. No obstante, en dos estudios efectuados en África Ecuatorial se encontró que tal valor correspondió a 20 mm (19, 46).

Elwell y Stocking (19) detectaron una ligera superioridad del parámetro energía acuamulada de la lluvia con relación a la cantidad total o profundidad como ~~predicador~~ predictor de la escorrentía y erosión. Bermúdez (6), en Turrialba, encontró una mejor correlación de la escorrentía con la profundidad de la lluvia que con el índice EI30\*, en cafetales con y sin árboles de sombra.

#### 1.1.2. Intensidad

La lámina de agua que cae por unidad de tiempo, expresada generalmente en mm/h, es una característica sobresaliente de las lluvias y tiene una relación muy estrecha con los fenómenos de escorrentía y erosión, especialmente cuando no existe una buena cobertura vegetal (3, 21, 29, 47).

\*Índice de erosividad de la lluvia, calculado en función de su energía cinética y utilizado en la ecuación universal para calcular las pérdidas de suelo.

En las regiones tropicales las intensidades de las lluvias son mayores que en las zonas templadas y pocos aguaceros durante el año acumulan un buen porcentaje de la lluvia total, produciendo las mayores descargas de los ríos y grandes pérdidas de suelo en terrenos sin protección adecuada (3, 28, 42, 75). Como ejemplo, en Chinchiná, Colombia, con una precipitación media anual de 2600 mm y durante un período de ocho años de observaciones, Suarez de Castro (75) encontró que un 9.9% de los aguaceros fueron los responsables del 35% de la lluvia total caída y del 88.7% de las pérdidas de suelo. Gougon et al (28) consideran que solamente siete u ocho aguaceros forman el 20-25% de la columna total de agua y generan del 80 al 90% de las pérdidas de suelo y agua durante el transcurso de un año en África Central y Madagascar.

Varios autores (31, 40, 44) han clasificado las lluvias de acuerdo con su intensidad, pero no existe consenso en el número de categorías y sus límites. Greer (31) consideró como lluvias con intensidad excesiva y capaces de producir erosión aquellas que sobrepasaron 25,4 y 20,3 mm/h y Epstein et al (20) aquellas que sobrepasaron 27,9 y 20,3 mm/h para períodos de 30 y 60 minutos respectivamente, mientras que Hudson (40) da un valor de 23 mm/h. Como se puede apreciar, las diferencias no son grandes y están de acuerdo con otra investigación realizada en Africa en la que se encontró que hubo escorrentía significativa cuando la intensidad sobrepasó 25 mm/h y cayeron por lo menos 20 mm de lluvia (19).

La probabilidad de que un aguacero de cierta intensidad se produzca durante un período dado de tiempo, conocido como "intervalo de retorno" es de suma importancia en la planificación de obras de conservación de aguas y suelos (37, 47). Estos valores son diferentes para

cada lugar como se aprecia en el Cuadro 1, que muestra intensidades para 5 y 10 años de intervalo de retorno, períodos que se consideran normales en obras de conservación de suelos (75).

Cuadro 1. Intensidades máximas de lluvia en mm/h, para dos duraciones, dos intervalos de retorno y dos localidades. (Según Amézquita (1) y Bhatia (7)).

Intervalo de retorno años	Localidad			
	Turrialba		India	
	30'	60'	30'	60'
5	78	54	91.44	68.58
10	85	60	106.68	83.82

Amézquita (1) consideró que las intensidades para diferentes períodos de retorno son altas en Turrialba y mostraron semejanza con las obtenidas en Chinchiná, Colombia.

#### 1.1.3. Duración

Normalmente, mientras mayor es el tiempo que dura una precipitación de intensidad uniforme, la esocorrentía tiende a ser mayor (60, 76, 77). Existe una relación inversa entre la intensidad de lluvia y su duración (19, 23, 75).

#### 1.1.4. Frecuencia

Cuando un suelo está seco, la velocidad de infiltración es alta, de ahí que muchas lluvias consideradas como fuertes no

producen escorrentía y erosión (21, 60, 78). Dunne y Black (18) encontraron que en terrenos permeables existe una mejor correlación entre la escorrentía y la humedad del suelo antes de la lluvia, que con la evaporación de tanque. Sin embargo, la intensidad máxima en 30 minutos se correlacionó mejor con la escorrentía que con la humedad antecedente del suelo, según reportan Smith et al (74). Si las lluvias tienen corto tiempo de separación, darán una mayor escorrentía y aumentará el peligro de que ocurra erosión.

## 1.2. Tipo de suelo y características del sitio

### 1.2.1. Tipo de suelo

El comportamiento hidrológico de los suelos está relacionado principalmente con sus características físicas que cambian con el tiempo en un proceso dinámico.

#### 1.2.1.1. Textura

El tamaño de las partículas sólidas es uno de los factores que determina en buena medida la cantidad y dimensiones de los poros del suelo, los mismos que tienen un papel básico en los procesos de infiltración, percolación y escorrentía (21, 24, 37).

La capacidad de infiltración y conductividad hidráulica, en general, aumentará conforme se pasa de un suelo arcilloso a uno franco y de éste a uno arenoso (37, 43, 44). Esto trae como consecuencia que suelos arcillosos produzcan mayor escorrentía. Molchanov (50), considerando como 100% la escorrentía de un suelo franco, estima que será del orden de 25-30% en un franco arenoso y de 10-15% en uno arenoso. Sin embargo, los suelos arcillosos presentan una mayor resistencia al

desprendimiento de sus partículas por la acción de la lluvia, pero el arrastre se hace más fácil por la pequeñez de tales partículas (60).

#### 1.2.1.2. Estructura y contenido de materia orgánica

Existe una buena relación entre la permeabilidad de los suelos, su contenido total de humus y su estabilidad estructural en el agua (48, 58), presentando una mayor infiltración aquellos suelos mejor estructurados (60).

Debido a la relación entre el humus y los agregados del suelo, existe un cambio de la estructura con la profundidad, presentándose una buena estructura granular en las capas superficiales que generalmente tienen un mayor contenido de materia orgánica. Los suelos con bosque, en general, tienen un cambio más marcado de la estructura con la profundidad (44).

Grin (32), encontró una relación directa entre el contenido de materia orgánica, el espacio poroso no capilar, la arcilla y los agregados mayores a 0.2 mm con la infiltración, para una amplia gama de suelos en la Unión Soviética Occidental. Por otro lado, Wischmeier y Mannering (83) expresan que la materia orgánica es el factor edáfico más estrechamente relacionado con la escorrentía y la erosión.

#### 1.2.1.3. Porosidad

Los poros del suelo se han clasificado en capilares y no capilares y tienen marcada importancia en el movimiento del agua a través del suelo; la porosidad capilar, por su capacidad de absorber y almacenar agua, y la no capilar por la facilidad

que presta al movimiento del aire y agua en el mismo (33, 44).

Grin (32) encontró una buena relación negativa entre el espacio aéreo no capilar y la escorrentía y Burikin (9), por su parte, destacó que, en la formación del primero, el sistema radical de la vegetación y la actividad biológica, especialmente de lombrices, juegan un importante papel.

#### 1.2.1.4. Pedregosidad.

El efecto de las gravas y piedras es en cierto modo benéfico, porque actúan como un mantillo protector contra el impacto de las gotas de lluvia (20, 28). La escorrentía también disminuye cuando existe un buen contenido de gravas, ya que contribuye a la formación de la porosidad no capilar. Así, Epstein et al (20) observaron una disminución significativa de la infiltración cuando se removió del suelo toda la fracción mayor de 12,7 mm. Sin embargo, otros investigadores (78) observaron una correlación negativa entre el contenido de gravas y gravas más piedras, con la infiltración.

#### 1.2.1.5. Capacidad de infiltración

La capacidad de infiltración de un suelo está directamente relacionada con la escorrentía y la erosión. Greenland (30) afirma que la mayoría de los suelos tropicales tiene una capacidad de infiltración alta, comparada con la de los suelos de regiones templadas. Por otro lado, Sánchez (70) hace notar que los ultisoles, oxisoles y mollisoles tienen una alta capacidad de infiltración, reflejando su buena estructura, mientras que los vertisoles reflejan su elevado contenido de arcillas expandibles tipo 2:1 en su baja capacidad de infiltración.



En Turrialba, Molero (52) encontró capacidades de infiltración iguales a 15 cm/h para la serie Instituto, que son suelos de origen aluvial y 1,5 cm/h para la serie Colorado (oxisoles), a los 120 minutos.

En un perfil saturado, la infiltración está determinada por el horizonte de más baja conductividad hidráulica que generalmente es un horizonte no superficial con mayor contenido de arcilla (35, 78, 79). Sin embargo, para aguaceros no muy fuertes, la infiltración no se modifica cuando este horizonte se encuentra a 20 ó 25 cm de profundidad y cuando el suelo no está húmedo, ya que el agua se almacena en el primer horizonte.

Amézquita (1) y Rocha (66) encontraron que en algunos suelos de Turrialba, la conductividad hidráulica disminuye notablemente con la profundidad.

#### 1.2.1.6. Compactación

Cuando se remueve el bosque natural, se produce compactación en algún grado, al parecer como consecuencia de las intensas lluvias y la pérdida de materia orgánica (70). Si a esta pérdida del bosque natural se suma el tráfico de ganado en pastizales o de maquinaria en campos cultivados, el efecto de la compactación es evidente, afectando la infiltración negativamente y aumentando la escorrentía y erosión en diferentes grados (16, 17, 30, 54).

El efecto del pastoreo varía con las condiciones climáticas, edáficas y de humedad (70). Así, se ha visto que los suelos de textura gruesa son menos susceptibles a la compactación que los que tienen alto contenido de limo y arcilla (20, 60).

Para latosoles húmicos con caña, por ejemplo, se reportan valores de infiltración de 8 y 2 cm/h para antes y después del tráfico con maquinaria en la cosecha, respectivamente (30). Así mismo, el efecto de compactación se detectó hasta 15 cm de profundidad cuando el suelo tenía un 27,4% de humedad y hasta 45 cm cuando el contenido de humedad fue 48,3% (46).

Los principales efectos de excluir el pastoreo o dejar un campo sin cultivo, tienen relación con una recuperación de la vegetación y un mejoramiento de la aireación del suelo, que posiblemente se inicia inmediatamente, pero cuyos efectos mayores se sienten aproximadamente al tercer año (49, 71).

#### 1.2.2. Características topográficas del sitio

Cualquier obstáculo superficial, como irregularidades del terreno o piedras, hace decrecer la velocidad del agua, dando por lo tanto mayor tiempo para que ésta se infiltre (42, 50, 82). La infiltración varía también con la ubicación topográfica, habiéndose comprobado mayores valores en las partes más elevadas (25, 35).

Las pérdidas de suelo se incrementan exponencialmente con la pendiente (31, 74); en igual forma, la longitud de la pendiente muestra una correlación positiva con las pérdidas de suelo (34). La escorrentía, en cambio, se ve poco afectada por estas características (34, 67).

#### 1.3. Cobertura vegetal

Existe completo acuerdo en que el bosque reduce la escorrentía superficial y la erosión frente a otros usos de la tierra

(8, 39, 69). Esta reducción fluctúa grandemente de un lugar a otro y es mínima cuando en tormentas excepcionales se sobrepasa la capacidad de almacenamiento de una cuenca (43).

El efecto regulador que una cobertura vegetal tiene sobre los procesos hidrológicos empieza con el fenómeno de intercepción. Así por ejemplo, Zambrana (85) determinó que un bosque puede interceptar hasta 19 mm de lluvia y un promedio de 16% de la precipitación anual en las condiciones de Turrialba. Corvelt (11), en el suroeste de los Estados Unidos, encontró una capacidad de intercepción similar para tres especies de pastos, con un valor igual a 7,9% de la lluvia, mientras que la vegetación arbustiva alcanzó un 16%.

El mantillo producido por el bosque representa otra fuente de almacenamiento y pérdida de agua por intercepción; defensa contra el goteo directo de la lluvia y el que se origina en las copas de los árboles, al mismo tiempo que representa un obstáculo a la velocidad del agua (81).

El efecto más importante del bosque, sin embargo, está relacionado con una mejora de la porosidad y estructura del suelo que da como resultado una alta capacidad de infiltración para suelos con bosque no disturbado en comparación con otros usos de la tierra (9, 56, 60, 82); esto hace pensar que la escorrentía superficial no se produce o es mínima en suelos con bosque natural.

En Hawaii, Wood (84), comparando suelos con bosque no disturbado y campos adyacentes con cultivo de caña, piña y pasto, encontró siempre una mayor capacidad de infiltración en los primeros. La amplitud de variación fue de 39,7 hasta menos de 0,03 cm/h, para diferentes

usos de la tierra y suelos. En Chinchiná, Colombia (76)<sup>15</sup>, se registraron pérdidas de agua por escorrentía iguales a 60,0, 18,0 y 2,5 por ciento del total de la lluvia y pérdidas de suelo de 312,4, 6,7 y 0,1 ton/Ha/año, para suelos sin ninguna cobertura, cubiertos con pasto y bosque respectivamente.

Una cobertura de pastos puede ofrecer una protección contra la erosión tan buena como el bosque (10, 43, 60), sin embargo, las tasas de escorrentía son mayores, aunque no se igualan con las de campos con cultivos limpios, pastizales bajo pastoreo o suelo sin vegetación (46).

En Africa (64), el cambio de bosque a plantaciones de té bajo buenos métodos de conservación produjo muy poco incremento en la erosión, pero se perdió seriamente el efecto regulador que tiene el bosque sobre la escorrentía, dando picos cuatro veces mayores. Molchanov (50), indica que en una cuenca la plantación del 6% de su área con bosque en fajas de contorno, fue suficiente para disminuir la escorrentía y la erosión a la mitad. Estos ejemplos dan una buena idea del papel que desempeñan los bosques en la regulación de estos dos fenómenos.

Un pastizal con árboles forma un sistema intermedio, con los beneficios de una buena protección contra la erosión por parte del estrato bajo, si no se sobrepastorea, y una mejora en la infiltración por efecto de las raíces de los árboles a profundidades mayores que las de las gramíneas.

Estos sistemas no han sido evaluados suficientemente, aunque tácitamente se acepta su validez al usarlos, como en el caso de la

protección de la cuenca que abastece de agua a la ciudad de Manizales en Colombia (62). Pereira (64) es de la opinión que deben evaluarse los efectos de pastizales con árboles a diversos espaciamientos, como sistemas con posibilidades para el control de la escorrentía. Esta opinión se ve reforzada con los resultados de los estudios realizados sobre escorrentía de tallos, que indican que en lluvias fuertes tiende a ser considerable (59, 85), concentrándose así buena parte de la lluvia en la base de los árboles, donde por otra parte los valores de la infiltración se muestran más altos (59, 73).

También se ha detectado una estrecha relación entre el número de raíces del suelo y la permeabilidad del mismo, en lugares húmedos (2, 9, 26) esto hace pensar en la posibilidad de manejar esta característica del suelo con el uso de plantas.

## 2. Escorrentía y erosión

En los países tropicales se ha avanzado muy poco en la determinación de los valores reales de estos procesos. Es necesario adaptar metodologías y criterios para una relativamente baja tecnología disponible y diferentes condiciones ecológicas existentes (63, 79).

Para medir la erosión, el sistema más empleado es el de parcelas de más o menos  $40 \text{ m}^2$  (60) y para la escorrentía, la metodología de las cuencas en pares (37, 63).

Para Turrialba, se reportan tres trabajos relacionados con la evaluación de la erosión y colateralmente de la escorrentía (6, 41, 66). El mayor valor de escorrentía lo reporta Rocha (66), quien encontró en cultivos limpios, con suelos de buena permeabilidad y 40% de

pendiente, pérdidas de agua iguales al 1,6% de la lluvia y 1721 kg/Ha/año de suelo erodado. Por su parte, Ives (41) encontró valores máximos de 0,30% de escorrentía y 6 ton/Ha/año de erosión, excluyendo una tormenta excepcionalmente fuerte (410 mm) que profujo más de 18% de escorrentía y 131 ton/Ha de pérdidas de suelo.

Bermúdez (6) midió la erosión y la escorrentía en cafetales con y sin árboles de sombra y encontró un promedio de escorrentía igual a 1,6% de la lluvia y 176 kg/Ha de pérdidas de suelo para un período de seis meses.

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 1. Ubicación

El presente estudio se realizó en un pastizal de una finca particular en la Cuenca Piloto, La Suiza (Fig. 1), Cantón Turrialba de la Provincia de Cartago en Costa Rica. La Cuenca ocupa una sección representativa de la parte media del valle que forma el Río Tuis e incluye al poblado de La Suiza ubicado a 8 km hacia el noreste del CATIE. Geográficamente está situada a  $9^{\circ}52'$  de latitud norte,  $83^{\circ}36'$  de longitud oeste y a 750 m.s.n.m.

#### 2. Clima

De acuerdo con la clasificación de Zonas de Vida de Holdridge (39) el área pertenece a la formación bosque muy húmedo tropical pre-montano. Presenta una precipitación media anual de 2586 mm (1968 - 1979)\*, con las menores precipitaciones en los meses de febrero y marzo y las mayores durante junio y diciembre, como se puede apreciar en la Figura 2.

Por no existir registros en la estación meteorológica del lugar, se presentan algunos datos de la estación más cercana ubicada en el CATIE, que corresponden a una temperatura promedio de  $22,3^{\circ}\text{C}$  (máxima  $27^{\circ}\text{C}$ , mínima  $17,6^{\circ}\text{C}$ ) y 87% de humedad relativa.

---

\*Valor calculado por el autor en base a información escrita proporcionada por el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. 1980.

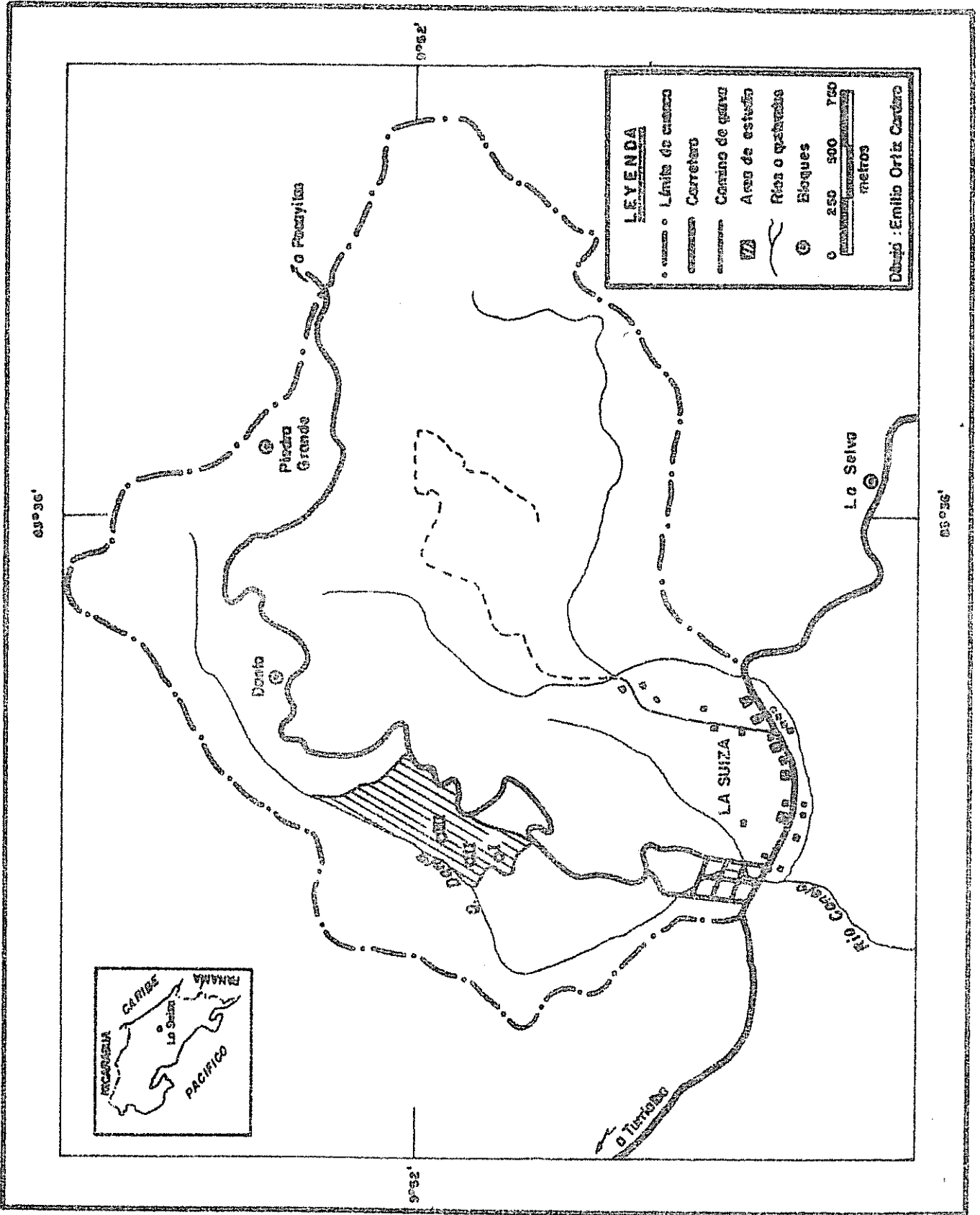


Fig. 1 Puntos de observación en La Suiza. Ubicación del área experimental



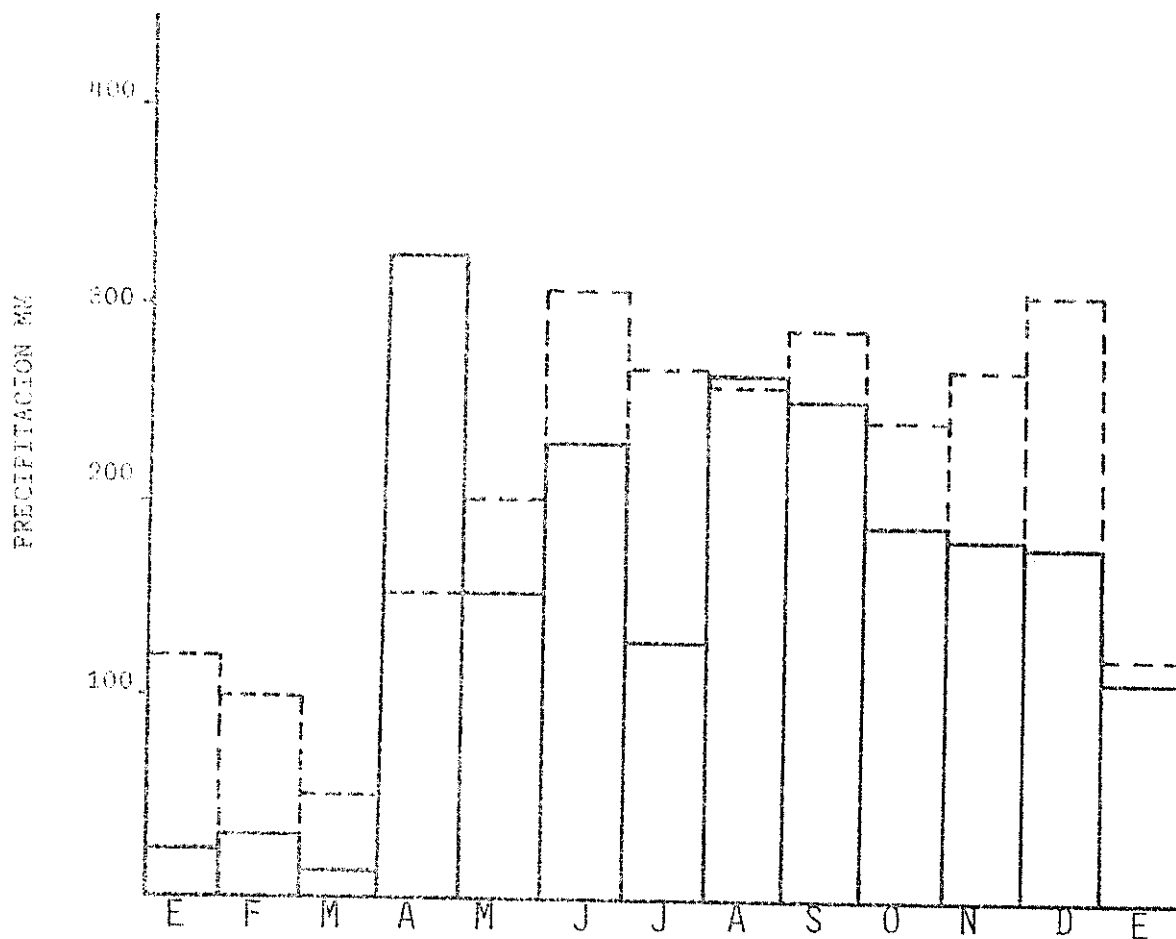


Fig. 2. Distribución de la precipitación promedio mensual en La Suiza, en el período 1968-1979 (---) y de enero de 1979 a enero de 1980 (—).

### 3. Geología y Suelos

El origen del área de estudio se remonta posiblemente al Plioceno y pertenece a la formación Aguacate (55) que está formada por tobas volcánicas transportadas por el viento en forma de cenizas junto con lavas y sustentada por sedimentos marinos (55).

Los suelos se han desarrollado sobre lahares pertenecientes a la formación Chitaría II. Poseen una topografía muy irregular y compleja, son cascajosos y/o pedregosos, lo cual sugiere que hubo movimiento de masas (55).

Peres, Alvarado y Ramírez (65) han clasificado los suelos de esta zona, de una manera general y de acuerdo con la séptima aproximación del USDA, como Typic tropohumults asociados con Typic humitropepts.

### 4. Fisiografía

El lugar experimental presenta una topografía accidentada, con pendientes que fluctúan entre 20 y 60%, generalmente cóncavas y expuestas hacia el Sur. Las longitudes de estas pendientes no sobrepasan los 50 m y se observa una microtopografía irregular, debido posiblemente a los desagües y caminos del antiguo cafetal, además de algunas "terrace-tas" formadas por el pisoteo del ganado.

El promedio de pendiente para todas las parcelas fue de 44,5%, fluctuando entre 42 y 51%.

### 5. Historia y uso actual de la tierra

El bosque primario se cortó hace aproximadamente 50 años. En 1964 se sembró café (Coffea sp.), plantación que permaneció hasta 1974,

año en el que se cambió este cultivo por pasto estrella (Cynodon nlemfuensis)\*. Como residuo de la vieja plantación, pueden observarse dispersos algunos cafetos y árboles de poró y laurel.

La edad aproximada de los árboles es de 16 años. El laurel nunca recibió tratamiento silvicultural alguno y al poró se le hizo una última poda hace unos cuatro años cuando el terreno ya estuvo sembrado de pasto, con la finalidad de aprovechar su follaje como alimento para el ganado\*.

La densidad de los árboles es irregular (Fig. 3) encontrándose en su parte más densa 114 árboles de laurel por hectárea (5). La vegetación herbácea está compuesta casi exclusivamente de gramíneas nativas de los géneros Homolepsis, Paspalum y Axonopus; el pasto estrella prácticamente ha desaparecido y se observan algunas especies de tipo arbustivo y herbáceo consideradas como malas hierbas.

El manejo que recibe este pastizal se reduce a dos limpiezas mecánicas (chapias) y a una aplicación de herbicida para hoja ancha cada año. Se lo aprovecha mediante pastoreo extensivo con una carga aproximada de 0,5 animales por hectárea y por año\*\*.

## 6. Parcelas experimentales

### 6.1. Dimensiones y límites

De acuerdo, en lo fundamental, con las recomendaciones de FAO (60) y Hudson (40), se instalaron nueve parcelas para medir

\* Ruperto Fuentes y Carlos Centeno, La Suiza, comunicación personal. 1980.

\*\* Carlos Centeno, La Suiza, comunicación personal. 1980.

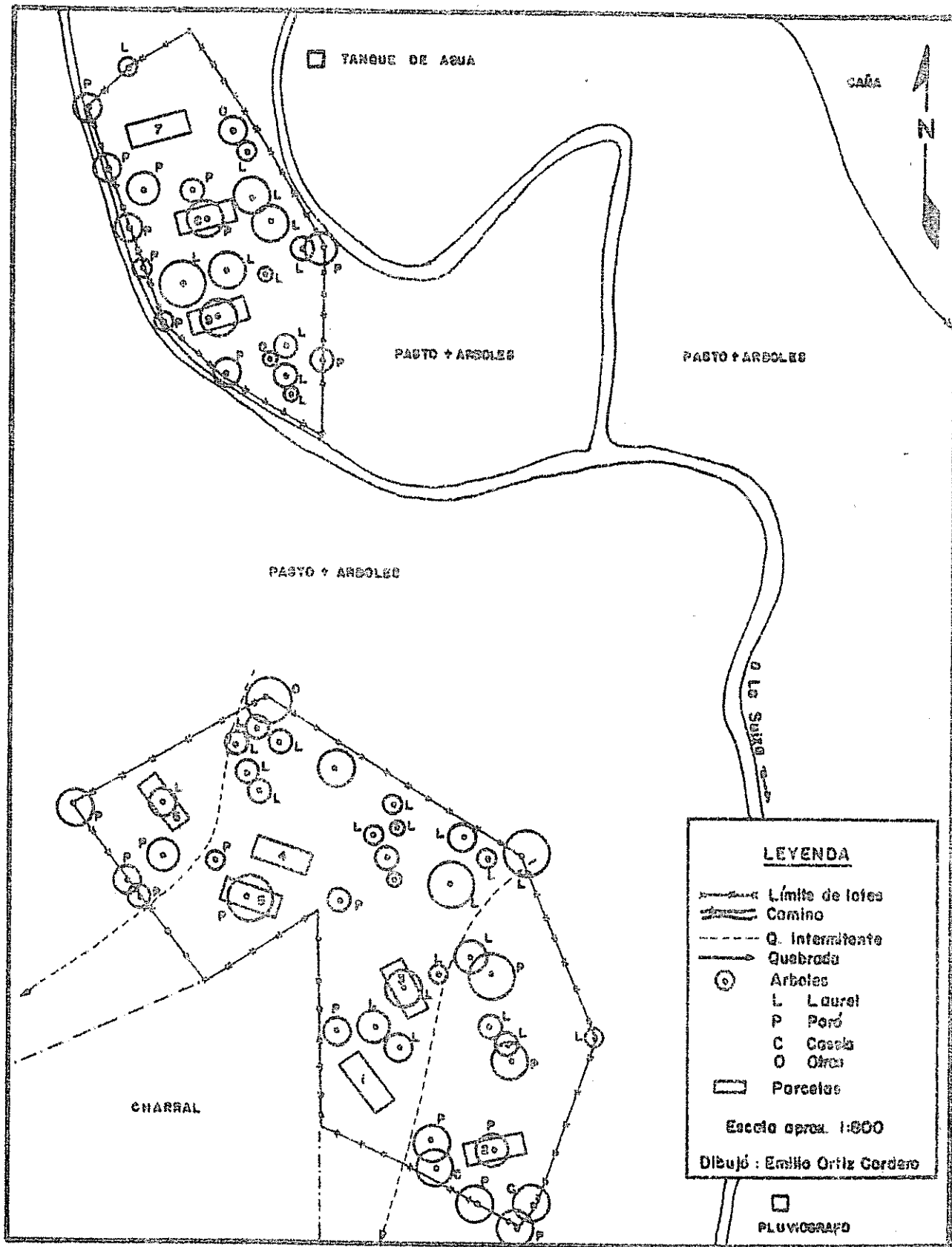


Fig. 3 Parcelas de escorrentía en La Suiza. Ubicación en los lotes experimentales

escorrentía y erosión. Sus dimensiones fueron de 4 m perpendicularmente a la pendiente y 10 m en el sentido de la misma; se las delimitó con láminas de aluminio de 25 cm de ancho. Estas láminas se introdujeron verticalmente en el suelo unos 10 cm, procurando disturbarlo lo menos posible.

## 6.2. Sistema colector de agua y sedimentos

En la parte baja de cada parcela se instaló un sistema colector con canales de cemento prefabricados y unidos entre si cuidadosamente. Dichos canales se introdujeron en el suelo hasta que su borde quedó al mismo nivel con éste, de tal forma que el agua que escurría de la parcela ingresara en ellos. En la parte central, estos canales se unieron a un tercero que condujo el agua y sedimentos a los tanques colectores ubicados en hoyos con una plataforma de cemento a nivel en su fondo (Fig. 4).

Los recipientes colectores, inicialmente, fueron dos tanques ("estaciones") de 0,57 m de diámetro, 0,85 m de altura y una capacidad de 200 litros, los mismos que se conectaron en su parte superior con un tubo de polietileno. A partir del 8 de octubre, tres meses después de iniciadas las mediciones, luego que por tres veces consecutivas la cantidad de agua escurrida sobrepasó la capacidad de estos dos recipientes, se procedió a cambiar el dispositivo y se usó un sistema de divisores recomendado por Hudson (40). Se acondicionó a los primeros recipientes con 7 hileras verticales de perforaciones de igual diámetro y a nivel (Fig. 5); ésto permitió dividir en 7 fracciones iguales la cantidad total de agua escurrida que sobrepasó la capacidad del primer recipiente y colectar solamente una de tales fracciones en el segundo.

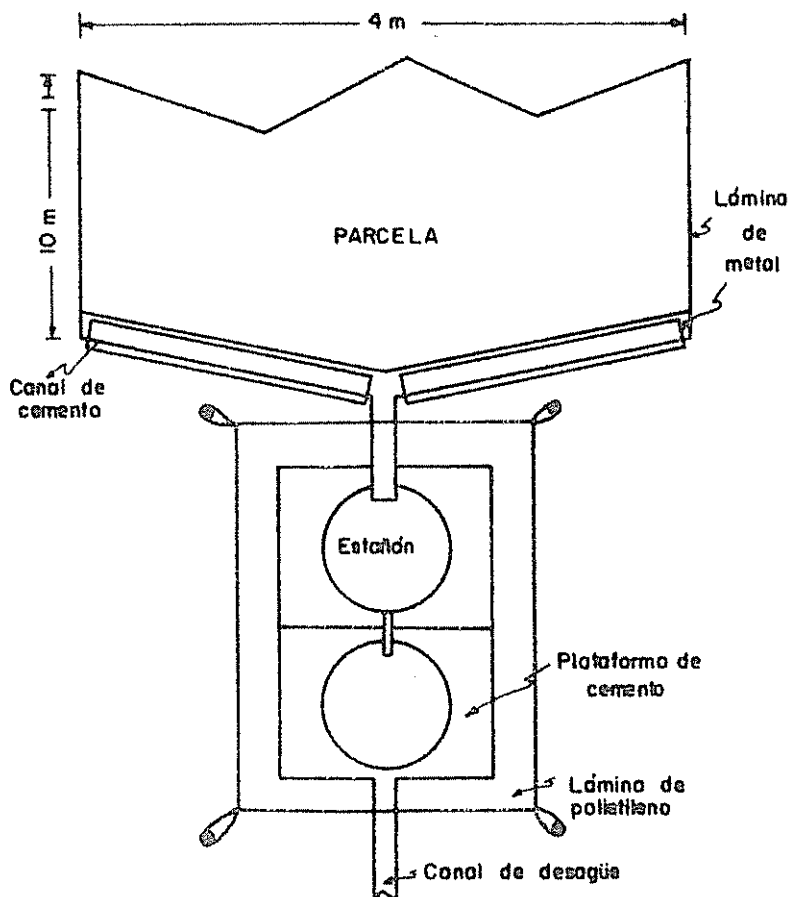


Fig. 4 Parcelas de escorrentía en La Suiza. Sistema colector de agua y sedimentos

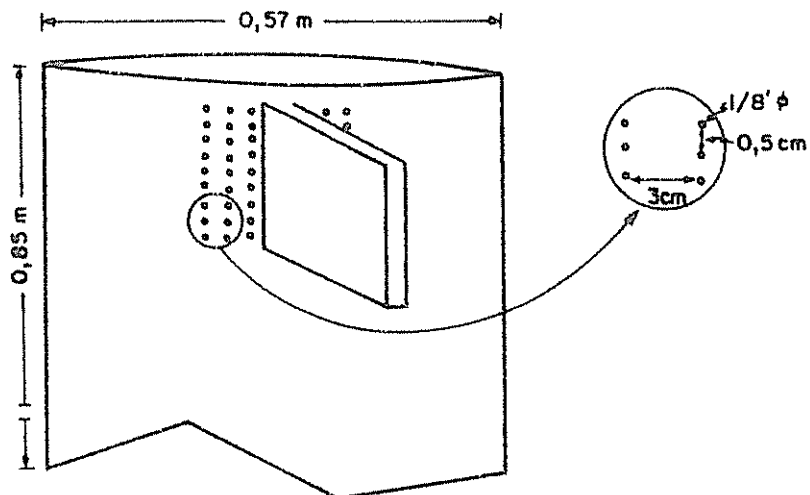


Fig. 5 Parcelas de escorrentía en La Suiza. Sistema divisor del aparato colector

Los canales colectores se taparon con láminas de aluminio y los recipientes con láminas de polietileno, para evitar que el agua lluvia cayera directamente sobre ellos.

#### 7. Labores

Un mes antes de iniciar la recolección de datos se terminaron las instalaciones y se procedió a cercar los lotes experimentales con alambre de púas, para evitar que el ganado dañara las mismas.

Se realizaron dos limpiezas mecánicas ("chapias") que incluyeron los lotes experimentales con sus respectivas parcelas; la primera se realizó el 14 de julio de 1979, inmediatamente antes de iniciar la toma de datos de escorrentía y erosión, y la segunda el 3 de noviembre del mismo año. En ambos casos se cortó la vegetación a 10 cm del suelo.

#### 8. Tratamientos

Los tratamientos fueron los siguientes:

1. Pasto (parcelas 1-4-7 Fig. 3) P.
2. Pasto más un árbol de poró (parcelas 2-5-8. Fig. 3)  
P + Po.
3. Pasto más un árbol de laurel (parcelas 3-6-9. Fig. 3)  
P + 2.

#### 9. Mediciones de escorrentía y erosión

Después de cada aguacero se procedió a medir con una cinta métrica metálica, graduada en mm, la profundidad de agua de los recipientes para determinar el volumen de agua colectada en litros. Este valor se transformó a mm de profundidad de lluvia dividiéndolo por el

área de la parcela ( $40 \text{ m}^2$ ).

Para medir la concentración de sedimentos se procedió a tomar muestras de un litro de agua, después de homogeneizarla, para 11 aguaceros. Esta muestra se filtró en el laboratorio, para lo cual se utilizó papel filtro Nº 41, embudos Buchner y una bomba de succión. La cantidad de sedimentos en gramos por litro se determinó por diferencia de peso entre el papel filtro con y sin suelo. Para secar el papel filtro con suelo se lo introdujo en el horno a  $105^\circ\text{C}$  durante 15 minutos.

#### 10. Mediciones de precipitación

En la zona de estudio, se instaló un pluviógrafo (marca Lambrecht) con banda para 24 horas y 10 milímetros de altura.

Siguiendo el mismo criterio de Wischmeier y Mannering (83) y Bailly et al (3), se consideró como evento independiente toda lluvia separada de otra por un período de seis horas sin precipitaciones mayores a un milímetro.

De las bandas de registro utilizadas en el pluviógrafo se hicieron las lecturas de la lluvia total (mm), el tiempo (horas) y la intensidad máxima en 30 y 60 minutos (mm/h), para cada evento. Con los datos de lluvia total y tiempo, se calculó la intensidad media en mm/h.

#### 11. Duración del período de observaciones

Los registros de precipitación se iniciaron el 1 de julio de 1979 y se continuaron hasta el 31 de enero de 1980. Las mediciones de escorrentía y sedimentos se efectuaron en el período comprendido entre el 15 de julio de 1979 y el 15 de enero de 1980.



## 12. Caracterización de perfiles de suelo

Cada uno de los hoyos situados en la parte baja de la parcela experimental, además de servir para ubicar los tanques colectores, se los utilizó como calicatas para las descripciones de los perfiles y toma de muestras de suelo destinadas a los análisis físicos y químicos en el laboratorio. La descripción representa una área aproximada de  $5100 \text{ m}^2$ , que corresponde a los dos lotes experimentales cercados ( $3600 \text{ m}^2$  y  $1500 \text{ m}^2$ , Fig. 2).

Se describieron detalladamente dos perfiles representativos, siguiendo las instrucciones de FAO (61). El color se identificó de acuerdo a la tabla de colores de Munsell adaptada para suelos (57).

### 12.1. Características físicas

De acuerdo con la metodología descrita por Forsythe (24), se hicieron las siguientes determinaciones para cada horizonte:

- Densidad de sólidos
- Densidad aparente
- Humedad gravimétrica en porcentaje a 0,33 bares (capacidad de campo) y a 15 bares (punto de marchitez permanente).

Para la determinación de la distribución de partículas (textura), se usó el método de Boyucos modificado por Hardy y Bazán y descrito por Bazán (4).

La porosidad total, capilar y no capilar se calcularon con base en la densidad aparente, la densidad de partículas, la retención de humedad a 0,33 bares y el porcentaje de arena, siguiendo las instrucciones de Bazán.

La infiltración se midió en el campo junto a cada parcela de escorrentía de acuerdo con la técnica descrita por Forsythe (24), para lo cual se niveló previamente el suelo.

#### 12.2. Características químicas

Para cada horizonte y perfil se hicieron las siguientes determinaciones:

- Porcentaje de materia orgánica, de acuerdo a la metodología descrita por Sainz del Río y Bornemisza (68).
- El pH en agua se determinó de acuerdo a la metodología descrita por Díaz-Romeu y Hunter (15) y el pH en NaF para el segundo y tercer horizonte de cada perfil, de acuerdo con la metodología del USDA (80).
- Siguiendo la metodología de Bower et al, modificada y descrita por Díaz-Romeu y Balerdi (13), se determinó la capacidad de intercambio de cationes y los cationes intercambiables (Ca, Mg, K y Na).
- El nitrógeno total se determinó de acuerdo con el método de Bremner, modificado y descrito por Díaz-Romeu (14).

#### 13. Compactación

La compactación no se determinó directamente pero se hizo un muestreo de densidad aparente de 5 a 10 cm de profundidad. Se tomaron cuatro muestras por parcela, en las parcelas con árbol, dos de estas muestras se obtuvieron a 0,2 m y dos a 1 m de distancia de la base del mismo.

14. Observaciones sobre el sistema radical de árboles

Con el fin de observar el sistema radical del poró y laurel, se procedió a realizar un corte del suelo hasta una profundidad de 1 m junto a un árbol de poró y uno de laurel.

15. Análisis de la información

Se realizó el análisis de varianza para promedios de escorrentía (mm) y sedimento (g/l) siguiendo un diseño de bloques completos al azar.

Se buscaron las relaciones entre los parámetros de la lluvia y la pérdida de agua y sedimentos. Se probaron los modelos de regresión lineal, logarítmico, semilogarítmico y exponencial con la finalidad de obtener una función que permitiera predecir las pérdidas de agua y suelo, a partir de los parámetros de la lluvia.

Se correlacionaron, también, los principales parámetros del suelo con la escorrentía y los sedimentos.

## IV. RESULTADOS

## 1. Precipitación

## 1.1. Precipitación mensual

En el Cuadro 2 se presentan los valores de precipitación mensual para el período de estudio.

Cuadro 2. Precipitación mensual para el período de estudio y promedio de 12 años en La Suiza.

Mes	1979-1980*	Promedio 12 años**
Julio	132,20	267,80
Agosto	267,90	260,46
Setiembre	254,00	289,98
Octubre	191,10	242,39
Noviembre	182,80	267,97
Diciembre	179,50	308,05
Enero	109,60	124,40

\* Valores obtenidos en el sitio experimental

\*\* Valores calculados a partir de información proporcionada por el Instituto Meteorológico Nacional, Febrero 1980.

## 1.2. Frecuencia e intensidad de las precipitaciones

Durante el período comprendido entre el 15 de julio de 1979 y el 31 de enero de 1980, se registraron 142 eventos superiores a 0,1 mm de precipitación. De éstos, 125 con menos de 20 mm y 17 con más de 20 mm, como se puede ver en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Frecuencia, precipitación (mm) y escorrentía promedio (mm) para seis clases de lluvias con sus respectivos porcentajes.

Clase mm	Frecuencia	%	mm de precip.	%	mm de escorr.	%
0 - 10	103+	72,53	332,3	27,74	3,24	3,64
10 - 20	22	15,49	312,6	26,10	16,00	18,01
20 - 30	10	7,04	233,6	19,50	24,59	17,68
30 - 40	2	1,41	65,3	5,45	8,24	9,27
40 - 50	3	2,11	143,1	11,20	23,91**	25,91
más de 50	2	1,41	119,9	10,01	12,87**	11,49
TOTAL	142	100,00	1197,8	100,00	88,85	100,00

\*Solamente 25 eventos produjeron escorrentía

\*\*Solo un evento medido. Cada uno de los tres eventos no medidos sobrepasaron la capacidad de los tanques colectores equivalente a una lámina de agua de 10 mm sobre la parcela; ésta se sumó en cada caso.

La tendencia a ocurrir lluvias menores con mayor frecuencia se puede observar en la Figura 6.

El evento individual que mayor cantidad de lluvia acumuló fue de 60,8 mm y tuvo una intensidad media igual a 2 mm/h. Las mayores intensidades para 30 y 60 minutos fueron de 70,4 y 39,1 mm/h respectivamente y se registraron en un mismo evento, que acumuló 40,5 mm en 95 minutos.

## 2. Características del suelo

### 2.1. Características físicas

En el Cuadro 4 se presentan las principales características físicas correspondientes a los nueve perfiles de suelo ubicados en las parcelas experimentales.

Excepto en la parcela 2, en la que se observaron cinco, todos los perfiles mostraron cuatro horizontes, con marcadas variaciones en su espesor.

La densidad de sólidos varió entre 2,37 y 2,72 g/ml para todos los horizontes y perfiles y la densidad aparente entre 0,77 y 1,27 g/ml, experimentando un aumento con la profundidad.

Se encontraron fluctuaciones del porcentaje de arena entre 8 y 48% en los diferentes horizontes y perfiles, correspondiendo a la parcela dos los valores más bajos.

El contenido de limo varió entre 14 y 44% y el de arcilla entre 22 y 78%, en este caso, la parcela dos presenta los mayores valores. De acuerdo con estos resultados, la clasificación textural para

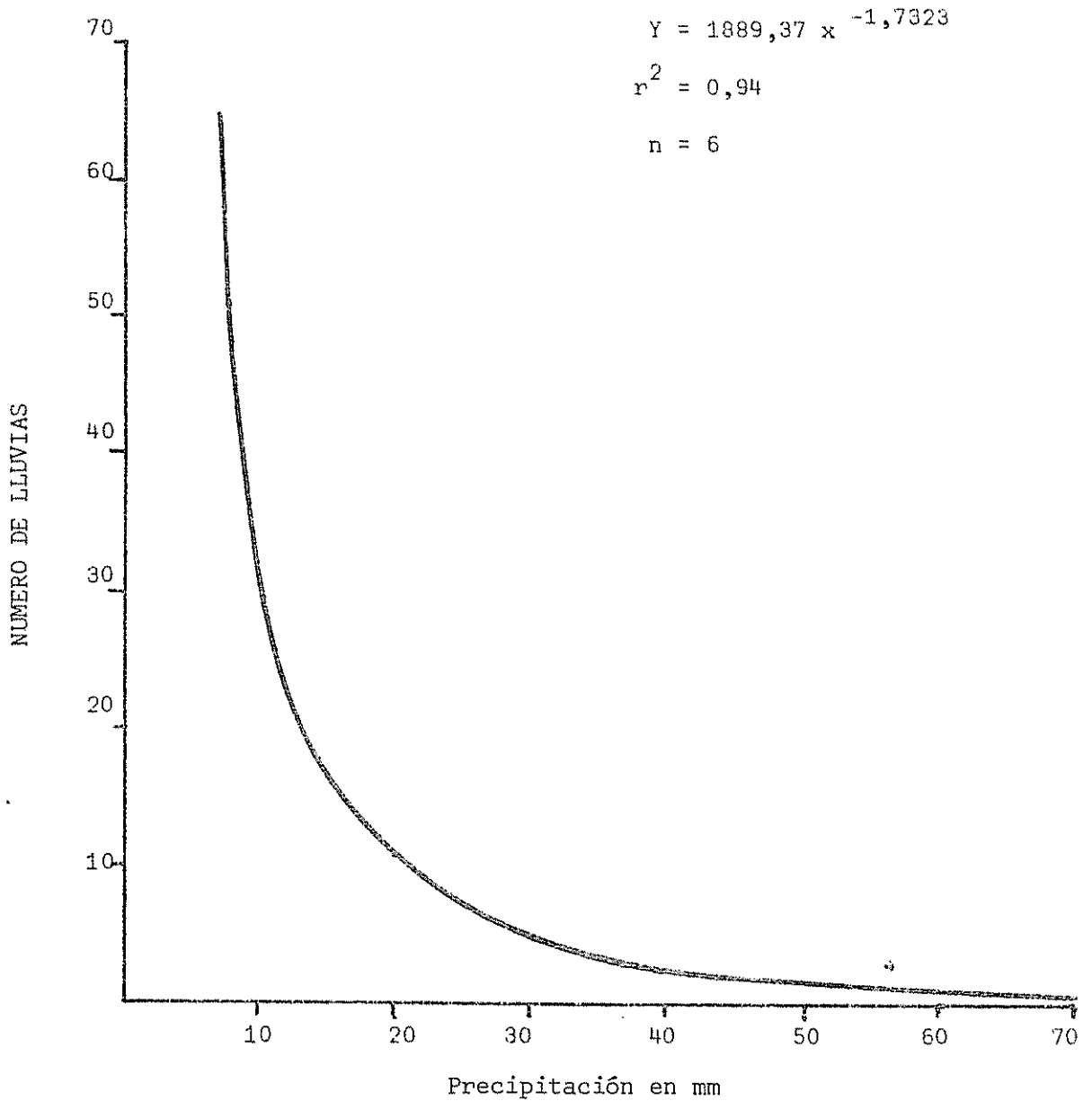


Fig. 6. Parcelas de escorrentía en La Suiza, curva de regresión para la relación del número de lluvias en función de la precipitación por lluvias.

Cuadro 4. Características físicas de los 9 perfiles de las purcelas de escorrentía en la Suiza, Turrialba, Costa Rica.

N° PERFIL	CAPAC INFILT cm/h 120'	PENDIENTE %	PROFUNDIDAD cm.	DENSIDAD		DISTRIBUCION DE PARTICULAS				P O R O S I D A D			% HUMEDAD		CRAVIM.
				SOLIDOS g/ml	APARENTE g/ml	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	TOTAL %	CAPILAR %	NO CAPILAR %	0.3 BARS	15 BARS		
														0.3 BARS	
1	2.0	42	0-10	2.36	0.84	48	30	22	64.52	32.01	32.51	47.71	27.34		
			10-35	2.66	0.97	22	34	44	63.53	32.81	30.72	38.22	25.16		
			35-60	2.70	1.27	22	30	46	52.98	39.66	13.32	35.63	25.32		
			60-100	2.71	1.19	26	24	50	56.10	41.40	14.7	40.00	27.70		
2	1.3	44	0-12	2.47	0.77	14	34	52	68.93	33.26	35.67	46.00	32.43		
			12-33	2.66	0.92	14	26	58	65.43	41.58	23.85	48.00	27.59		
			33-45	2.64	1.01	10	26	64	61.79	47.06	14.73	48.59	32.28		
			45-70	2.62	1.07	8	14	78	59.18	45.05	14.13	43.70	31.25		
3	2.4	45	70-100	2.51	1.07	10	20	70	57.38	49.22	8.16	48.66	31.58		
			0-20	2.38	0.81	28	42	30	66.01	35.09	30.92	48.92	30.99		
			20-35	2.67	0.92	26	38	36	65.59	32.84	32.75	40.90	30.51		
			35-60	2.69	1.15	22	32	46	57.31	48.37	8.94	46.46	31.94		
4	7.6	48	60-100	2.63	1.26	16	26	58	52.12	48.14	3.98	41.41	28.57		
			0-15	2.43	0.93	32	40	28	61.76	39.90	21.86	49.30	32.14		
			15-30	2.59	1.00	26	32	42	61.43	32.90	28.53	38.10	26.61		
			30-60	2.69	1.16	28	30	42	56.91	40.63	16.27	40.63	27.69		
5	13.4	51	60-100	2.65	1.16	36	20	44	56.26	40.34	15.92	41.98	29.32		
			0-30	2.45	0.80	30	44	26	85.32	34.01	51.31	48.51	31.71		
			30-45	2.71	0.86	30	30	40	67.53	24.24	43.28	33.55	23.33		
			45-70	2.65	1.14	28	30	42	57.02	35.96	21.06	37.14	25.18		
6	1.6	43	70-100	2.72	1.09	26	28	46	59.93	41.59	18.34	43.36	29.37		
			0-15	2.83	0.93	30	40	30	67.23	37.60	29.63	46.43	31.65		
			15-40	2.67	0.95	24	32	44	64.45	33.18	31.27	39.73	24.66		
			40-65	2.66	1.12	28	30	42	57.93	32.52	25.41	34.64	25.83		
7	11.71	47	65-100	2.65	1.19	30	26	44	55.10	46.17	6.93	44.80	30.89		
			0-10	2.46	0.89	26	40	34	63.95	38.69	25.26	46.67	31.17		
			10-45	2.59	0.97	28	34	38	62.69	32.52	30.17	39.13	29.41		
			45-75	2.61	1.03	30	30	40	60.57	38.93	21.64	43.80	31.65		
8	11.00	40	75-100	2.72	1.04	24	34	42	61.80	39.79	22.01	42.06	35.62		
			0-15	2.45	0.77	30	44	26	68.68	33.24	35.44	49.17	30.78		
			15-30	2.68	0.93	28	34	46	55.36	31.95	33.41	38.36	27.78		
			30-70	2.67	1.01	28	32	40	62.24	39.23	23.01	44.44	32.12		
9	12.40	37	70-100	2.68	1.06	24	28	48	60.50	35.94	24.56	36.71	24.80		
			0-10	2.50	0.85	26	38	36	66.11	37.35	26.76	49.14	32.89		
			10-40	2.69	0.99	24	38	38	67.02	26.80	40.14	35.00	25.32		
			40-60	2.71	1.02	38	30	32	62.36	34.39	27.97	41.32	20.25		
60-100	2.66	0.99	40	30	30	62.80	30.45	32.35	36.76	29.01					

\* Tratamiento 1. (P) = perfiles 1, 4, 7; Tratamiento 2. (P + Po.1) = perfiles 2, 5, 8; Tratamiento 3. (P + L) = perfiles 3, 6, 9.



los suelos corresponde a arcillosa, llegando al límite franco-arcilloso en el caso de las parcelas siete a nueve.

Los valores de porosidad total oscilaron entre 52,12 y 85,32, los de porosidad capilar entre 31,95 y 42,22 y los de porosidad no capilar entre 3,98 y 51,31 por ciento del volumen de suelo en cada caso. Se observa una marcada variación en la porosidad total y la no capilar, especialmente en los seis primeros perfiles.

El porcentaje de humedad gravimétrica a 0,33 bares (capacidad de campo), fluctuó entre 33,55 y 49,30 y a 15 bares (punto de marchitez permanente) entre 23,33 y 32,89, en su orden.

Los valores de infiltración variaron grandemente en los primeros seis perfiles y fueron más o menos similares en los perfiles siete a nueve. Fluctuaron entre 1,3 y 13,4 cm/h a los 120 minutos.

La Figura 7 muestra la relación entre la velocidad de infiltración y el tiempo hasta 120 minutos. Para este fin se agruparon los valores correspondientes a las parcelas 1, 3, 4, 6 y 5, 7, 8, 9 que corresponden al mismo grupo de suelos pero muestran valores de infiltración diferentes entre grupos y semejantes dentro de los grupos. La parcela dos se le consideró aparte por presentar características físicas en su perfil marcadamente disímiles con respecto a las demás.

## 2.2. Características químicas

En el Cuadro 1A del apéndice se presentan algunas de las características químicas para cada uno de los horizontes y perfiles de las parcelas de escorrentía. En él se puede ver que los valores de materia orgánica, expresados en porcentaje, fluctuaron entre 6,97 y

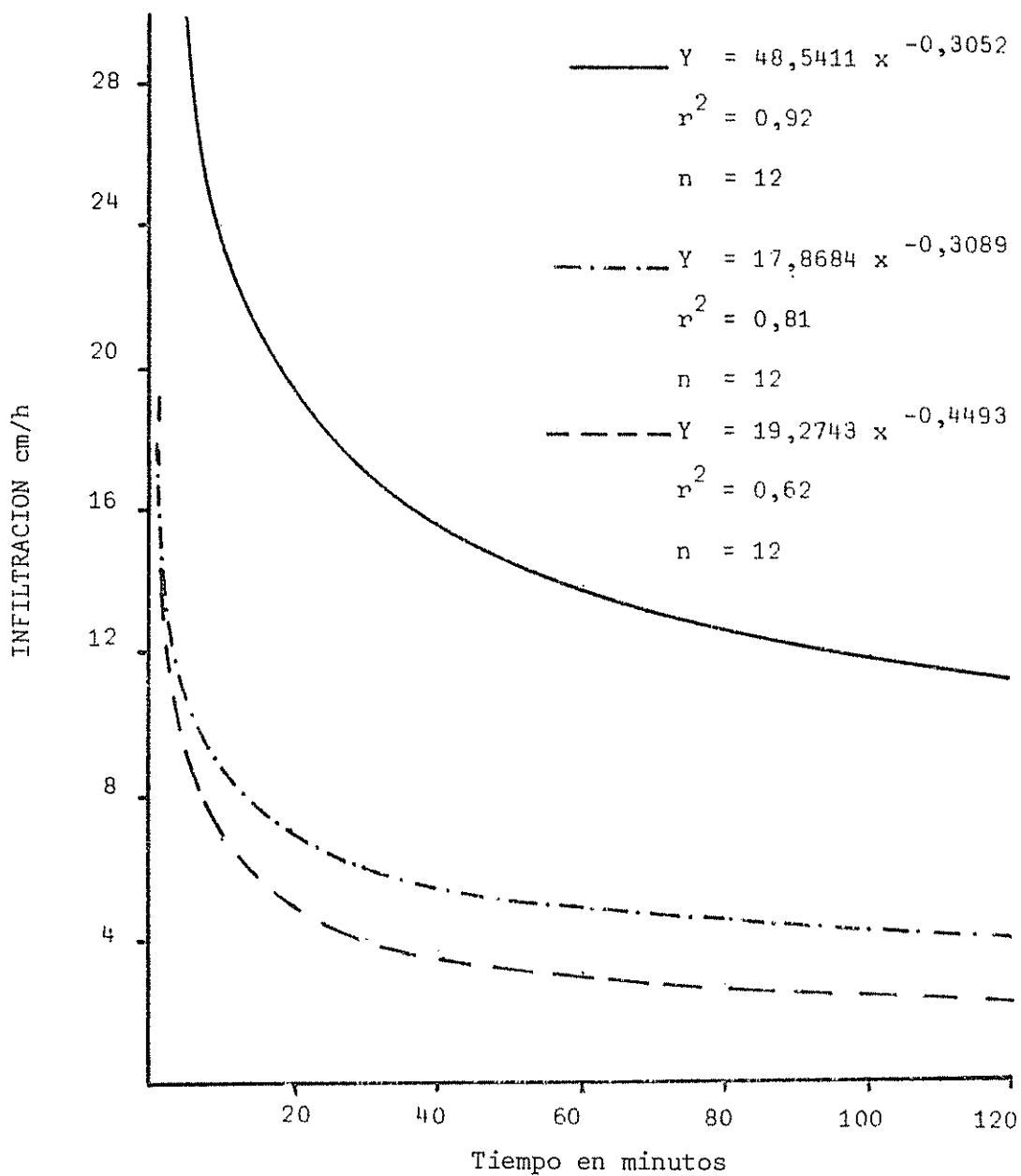


Fig. 7. Parcelas de escorrentía en La Suiza, curvas de regresión para la relación de la velocidad de infiltración en función del tiempo, para tres grupos de parcelas. 2 (----), 1,3,4,6, (-.-.-) 5,7,8,9 (——).

12,06 para el primer horizonte y disminuyen considerablemente con la profundidad.

el pH se encuentra entre valores de 5,4 y 6,3 cuando se hicieron las determinaciones en agua y entre 9,3 y 10 en NaF. En este último caso corresponden solamente a valores del segundo y tercer horizonte.

De acuerdo a las características sobresalientes tanto físicas como químicas, los nueve perfiles se agruparon en dos representativos, que corresponden al dos y tres. Tentativamente se clasificaron como Typic dystrandept y Typic humitropet respectivamente y su descripción puede verse en el apéndice B.

### 2.3. Compactación

Los valores de densidad aparente entre cinco y diez cm de profundidad se tomaron como índices de compactación. Los valores promedios a 0,30 y 1 m de distancia de la base de los árboles, en las parcelas que los incluyeron, fueron iguales a 0,80 y 0,85 gm/ml respectivamente y a 0,90 gm/ml en las parcelas sin árbol. La prueba de t no mostró diferencia significativa.

### 3. Cobertura vegetal

Durante todo el período experimental, la cobertura de las parcelas con vegetación herbácea fue total, observándose que con el tiempo se hizo cada vez más densa, formando una capa acolchonada que protegió el suelo eficientemente contra el impacto de las gotas de lluvia.

Las especies predominantes, en orden de importancia, para las parcelas uno a seis fueron: Panicum laxum, Homolepsis aturensis, Commelina diffusa, Paspalum conjugatum y Cynodon nle fuensis. En las parcelas

siete a nueve cambia el orden de importancia, observándose una mayor abundancia de Cynodon nlemfuensis y Homolepsis aturensis.

Los árboles de poró incluidos en las parcelas tuvieron un diámetro promedio a la altura del pecho (1,30 m) igual a 29 cm y una altura promedio de 11,8 m; mientras que los de laurel en promedio tuvieron 28,2 cm de DAP y 21 m de altura. Las copas de los árboles de poró fueron más densas y ramificadas que las de laurel, presentando un diámetro promedio igual a 8 m en ambos casos.

De las observaciones realizadas sobre sistemas radicales, se desprende que un 80% de las raíces del poró mayores a un mm de diámetro se encuentran en los primeros 20 cm del suelo hasta una distancia de 1,5 metros de la base del árbol. A cinco metros de distancia, el total de las raíces se encuentra en los primeros 20 cm. El sistema radical del laurel se observó mejor distribuido, tanto hasta un metro de profundidad como hasta cinco metros de distancia de la base del árbol, y presentó un sistema de ramificación primario y secundario más abundante que el poró.

#### 4. Escorrentía

##### 4.1. Escorrentía por tratamientos

El promedio de escorrentía para 61 eventos medidos, correspondiente a cada tratamiento, en las tres repeticiones se presenta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Promedios de escorrentía en mm para tratamientos y repeticiones, correspondientes a 61 eventos.

Tratamientos		Repeticiones			Total Tratamientos
		I	II	III	
P.	1	0,380	1,476	0,385	2,24
P + Po.	2	2,288	0,716	0,598	3,60
P + L.	3	1,300	1,395	0,146	2,84
Total repeticiones		3,97	3,59	1,13	8,69

El análisis de varianza no fue significativo ni para tratamientos ni para repeticiones. Se debe señalar, además, que el coeficiente de variación resultó muy alto (72,56%), lo que no permite hacer inferencias estadísticas sobre la influencia de los tratamientos sobre la escorrentía, (Cuadro 4A del apéndice).

#### 4.2. Distribución de la escorrentía según las clases de precipitación

En el Cuadro 3 se muestra la frecuencia de las lluvias, la precipitación y la escorrentía promedio en mm para seis clases, con sus correspondientes porcentajes.

De los 142 eventos registrados, solamente 64 (45%) produjeron escorrentía. Los cinco eventos (3,52%) superiores a 40 mm acumularon el 21 por ciento de la columna total de agua caída durante el período experimental y más del 41 por ciento de las pérdidas de agua por escurrimiento, si se considera que en tres de éstos solamente se midió una

parte de la escorrentía que produjeron, como se explica en el Cuadro 3.

El porcentaje promedio general de escorrentía para el período experimental fue de 7,42%.

#### 4.3. Relaciones entre la escorrentía y las características de la precipitación.

De las cinco características de la lluvia estudiadas, la que mejor se correlacionó con la escorrentía, fue la cantidad total de precipitación por evento ( $r = 0,90$ ) Cuadro 2A del apéndice, y el modelo de regresión que mejor se ajustó fue el logarítmico ( $r^2 = 0,80$ ). En la Figura 8 se presenta gráficamente esta relación para los valores promedios y también para los valores de la parcela dos que fue la que tuvo mayores pérdidas de agua por escurrimiento.

Los parámetros, intensidad máxima en 30 y 60 minutos, presentaron coeficientes de correlación similares con la escorrentía, 0,77 y 0,78 respectivamente. No hubo correlación entre la intensidad media y la duración de cada evento con la escorrentía.

Mediante una ecuación de regresión lineal entre la cantidad de lluvia y la escorrentía en mm ( $r = 0,75$ ) se calculó el valor promedio de precipitación necesario para que se inicie la escorrentía, que resultó igual a 5,5 mm (Fig. 1A del apéndice).

#### 4.4. Relaciones entre la escorrentía y las propiedades físicas del suelo.

En el Cuadro 3A del apéndice se incluye la matriz de correlación entre la escorrentía (mm), los sedimentos (gm/l y ton/Ha) y algunas de las propiedades físicas del primer horizonte del suelo.

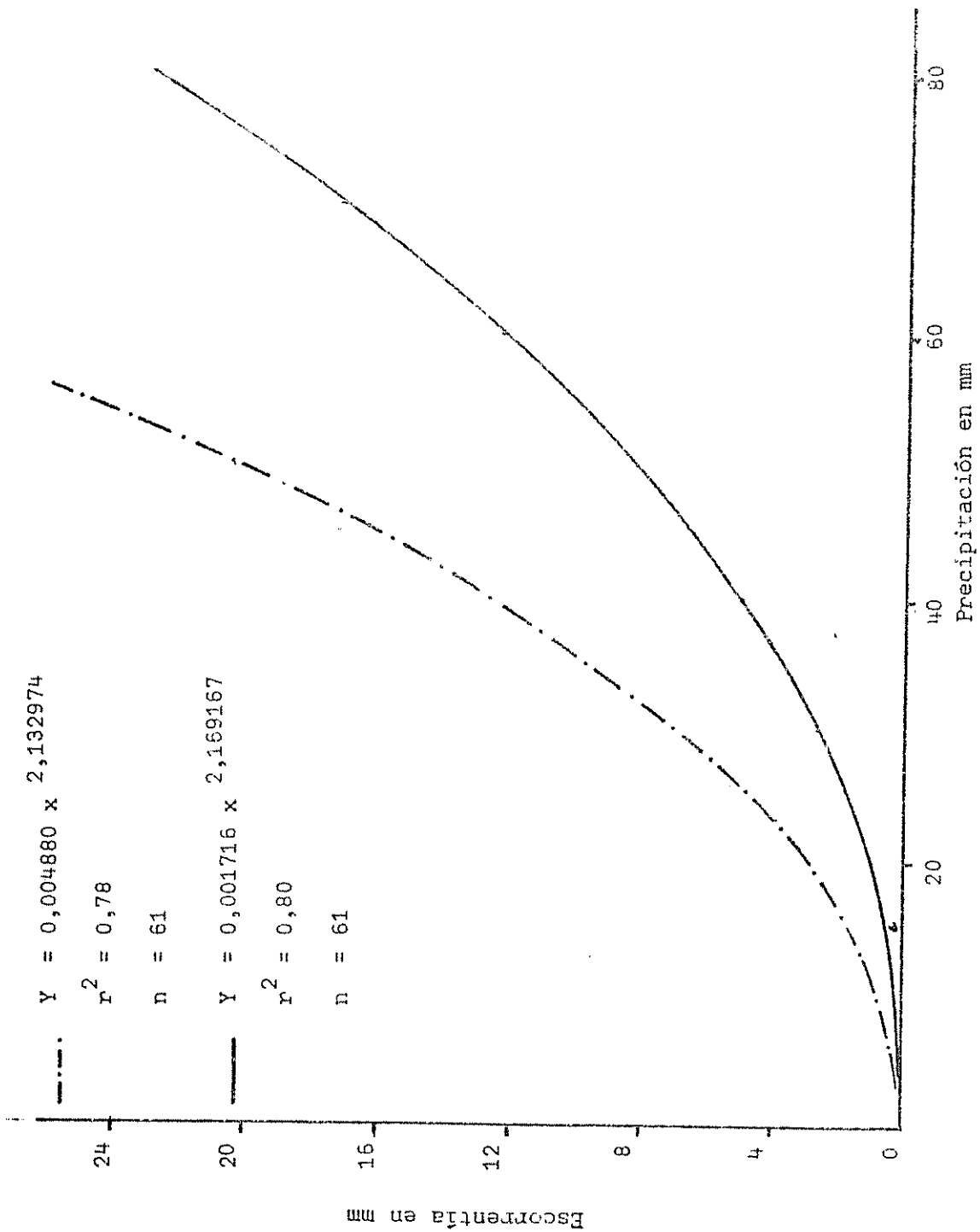


Fig. 8. Parcelas de escorrentía en La Suiza, curvas de regresión para la relación de la escorrentía (Promedio (—)), parcela 2 (-.-.-)) y la precipitación por aguacero.

Para la escorrentía las mejores correlaciones se obtuvieron con los porcentajes de arcilla ( $r = 0,58$ ), arena ( $r = -0,53$ ) y retención de humedad a 0,33 bares ( $r = -0,59$ ) y la capacidad de infiltración a los 120 minutos ( $r = -0,64$ ).

Se probaron algunas regresiones múltiples con las variables que mostraron una mejor correlación, obteniéndose coeficientes altos pero no significativos. Así, cuando se incluyeron las variables, porcentaje de arcilla, porcentaje de arena, porcentaje de materia orgánica, espacio poroso total y espacio poroso no capilar, se alcanzó un coeficiente de correlación múltiple igual a 0,95. Este bajó a 0,88 cuando intervinieron solamente cuatro variables: porcentaje de arcilla, porcentaje de arena, porcentaje de humedad a 0,33 bares y la capacidad de infiltración. Para dos variables solamente, el porcentaje de humedad a 0,33 bares y la capacidad de infiltración, se obtuvo un coeficiente de correlación múltiple igual a 0,67, que es significativo al nivel del cinco por ciento de probabilidad. La ecuación en este caso es:

$$Y = 9,43373 - 0,2984 X - 0,43207 Z$$

donde:

Y = Escorrentía promedio en mm para el período experimental

X = Porcentaje de humedad gravimétrica a 0,33 bares, y

Z = Capacidad de infiltración en cm/h a los 120 minutos.

## 5. Sedimentos

Los 11 eventos para los que se hicieron mediciones de sedimentos dieron los resultados que se muestran en el Cuadro 6.



Cuadro 6. Promedio de sedimento en g/l para tratamientos y repeticiones, correspondientes a 11 eventos.

Tratamientos		Repeticiones			Total Tratamientos
		I	II	III	
P.	1	0,13	0,07	0,12	0,32
P + Po.	2	0,14	0,09	0,11	0,34
P + L.	3	0,09	0,06	0,06	0,21
Total repeticiones		0,36	0,22	0,29	

El análisis de varianza mostró una diferencia mínima significativa al nivel del cinco por ciento de probabilidad entre tratamientos y repeticiones, con un coeficiente de variación aceptable (13%) (Cuadro 4A). Según estos resultados, los tratamientos uno (P) y dos (P + Po) fueron iguales entre sí y produjeron una mayor concentración de sedimentos. Sin embargo, la variación de los suelos no permite una confiabilidad en tales resultados.

En promedio, se encontró 0,097 gramos de sedimento por litro de agua escurrida. Si usamos este promedio y también el de escorrentía (7,42%) para calcular las pérdidas de suelo en un año, obtenemos un valor igual a 1900 kg/ha.

La producción de sedimentos mostró una relación lineal con la escorrentía ( $r = 0,92$ ) cuando se la expresó en kg/ha y, al contrario, tuvo una muy baja correlación cuando se la expresó en g/l.

Las características de la lluvia no correlacionaron bien con la pérdida de sedimentos. Alcanzó una muy baja correlación solamente con la intensidad máxima en 30 y 60 minutos, con coeficientes iguales a 0,37 y 0,45, respectivamente, que no son significativos al nivel del cinco por ciento de probabilidad (Cuadro 2A).

Las características del suelo que mejor correlacionaron con la concentración de sedimentos en g/l fueron: porcentaje de espacio poroso capilar ( $r = -0,63$ ), densidad aparente ( $r = -0,56$ ) y porcentaje de humedad a 15 bares ( $r = -0,48$ ).

## V. DISCUSION

### 1. Precipitación

La mayoría de los valores de precipitación mensual en el período y área de estudio están por debajo del promedio, lo que indica que fue un año muy seco. Es posible que esta circunstancia haya influido en el porcentaje de escorrentía encontrado, disminuyéndolo en alguna forma, ya que el suelo se mantuvo con menor humedad, absorbiendo gran cantidad de las precipitaciones. Por lo tanto la realidad se encuentra algo velada.

La máxima intensidad registrada para 30 minutos (70,4 mm/h) está muy cerca del valor calculado para un período de retorno de 5 años; sin embargo, la que corresponde a 60 minutos (39,1 mm/h) es baja, si se comparan con los valores obtenidos por Amézquita (1) para períodos de retorno de 5 y 10 años en el CATIE, Turrialba (Cuadro 1). En esta última estación, por otro lado, se registraron valores de intensidad mucho menores para el mismo período de estudio, lo que muestra que los eventos de gran intensidad, en general, son localizados.

La tendencia que, según Suarez de Castro (75), Jackson (42) y Gougou et al (28), existe en las zonas tropicales a acumularse buena cantidad de la precipitación en pocos aguaceros, puede observarse claramente de acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio (ver VI 1.2) al igual que en el realizado por Zambrana (85) en Turrialba.

## 2. Suelos

De los valores obtenidos para las diferentes características físicas del suelo (Cuadros 4 y 1A del apéndice) se desprende que existe variabilidad en cortas distancias que aunque se esperaba por tratarse de un sistema complejo, resultó muy superior a lo previsto. Esta variabilidad parece confirmar la ocurrencia de grandes movimientos geológicos (55) y la acción de una erosión antigua responsable de la desaparición del horizonte superficial de algunos suelos.

Debido a tal situación, el suelo resultó ser el factor preponderante en los fenómenos de infiltración y escorrentía para las condiciones del experimento, si consideramos la mucha menor influencia que tuvieron los árboles. Las correlaciones encontradas entre las características del primer horizonte del suelo y la escorrentía, comprueban este hecho, (Cuadro 3A del apéndice).

Además de estas características del primer horizonte (0-15 cm en promedio) que mostraron buena correlación con la escorrentía y que concuerdan con lo que Grin (32) encontró (ver I. 1.2.1.2), es necesario relacionar otras características sobresalientes de algunos de los perfiles con los resultados obtenidos. Así, en el caso de la parcela uno (P), debe notarse un mayor contenido de arena en el primer horizonte que el de la parcela tres (P + L) (Cuadro 4), lo que explicaría parcialmente la mayor producción de escorrentía de esta última. Además, el perfil de suelo de la parcela tres exhibe una napa freática a los 35 cm (apéndice B, perfil 3) que sería responsable de saturaciones superficiales más permanentes y por consiguiente de escorrentías superiores.

En igual forma, la parcela cinco (P + Po) que mostró una alta porosidad total y no capilar hasta los 45 cm de profundidad, produjo menor escorrentía que las parcelas cuatro y seis, (P y P + 2) cuyas porosidades son menores (Cuadro 4).

Con relación a las parcelas siete, ocho y nueve, debe tenerse en cuenta que estuvieron ubicadas unos 30 metros más arriba, en la falda de la colina en donde se hicieron las mediciones; esta circunstancia explicaría en buena forma la menor escorrentía de las mismas.

En general, todas las parcelas presentan suelos bien estructurados con un alto contenido de materia orgánica en su primer horizonte, que no tiene variaciones extremas, a excepción de la parcela uno (12%) (Cuadro 1A), esta circunstancia puede explicar en parte el que no exista correlación entre el contenido de materia orgánica y la escorrentía (Cuadro 3A).

La distribución de partículas ubica a estos suelos dentro de la categoría de arcillosos y franco-arcillosos, lo que concuerda con el mapa de suelos realizado por Figueroa (22).

Un caso especial lo constituye la parcela dos (P + Po) en la que se encontraron valores muy altos para arcilla y en general, el perfil de suelo mostró características diferentes a los demás (Cuadros 4 y 1A). Fue, además, la parcela que produjo mayores escorrentías durante todo el experimento (Fig. 8), atribuidos a un menor contenido de calcio y materia orgánica y a una tendencia a la saturación más rápida que en las parcelas menos arcillosas.

### 3. Infiltración

Los valores de infiltración medidos por el método de inundación de Forsythe (24), como era de esperarse teniendo en cuenta las características de los diferentes perfiles, presentaron marcadas diferencias; en general muestran concordancia con los valores de infiltración resultantes de restar de la lluvia caída, la cantidad que se perdió por escurrimiento.

Este hecho contrasta con lo observado en la parcela uno (P) la cual presenta una infiltración muy baja medida por inundación y alta de acuerdo con su producción de escorrentía; una posible explicación podría hallarse en que el lugar adyacente a la parcela en donde se realizaron las mediciones, presenta diferencias en el suelo, debido a su variación en distancias muy cortas.

Las tasas de infiltración (Cuadro 4) están dentro de los rangos obtenidos por Forsythe (25) y Molero (52) en la región de Turrialba, consideradas como moderadamente lentas hasta rápidas (0,3 - 12 cm/h) según Kohnke (44).

### 4. Compatación

Es de esperar que después de por lo menos cinco años de pastoreo continuo, el suelo se encuentre compacto en alguna medida sobre todo en los primeros 10 cm, aunque las mediciones de densidad aparente no muestren valores muy altos (0,77-0,89), hecho que se explica al menos en parte, por el elevado contenido de gravas además de la buena estructura natural que presentan los suelos de la región (1).

Las diferencias de 0,5 gm/ml entre los promedios a 0,30 y 1 m de distancia de la base de los árboles en las parcelas que los incluían e igualmente con el promedio de las parcelas sin árboles, muestra una ligera tendencia a presentar valores mayores en lugares fuera de la influencia de los árboles, aunque no se comprobó ninguna significancia estadística. Este factor merece investigarse detalladamente.

#### 5. Pendiente

Se considera que la pendiente no tuvo influencia apreciable en los resultados obtenidos, ya que el efecto combinado de la vegetación y del suelo resultaron predominantes en los fenómenos de escorrentía y erosión. Por otro lado, la pendiente en las parcelas estudiadas era similar.

#### 6. Cobertura vegetal

La influencia de los árboles aislados sobre las pérdidas de agua por escorrentía superficial no fue detectable estadísticamente.

La amplia variación en las características de los suelos, sugieren que para obtener resultados confiables, debería usarse un gran número de repeticiones en suelos más homogéneos, lo cual resultaría en un trabajo demasiado laborioso, de alto costo y no pocas dificultades en encontrar tal tipo de suelos.

En un experimento paralelo conducido por Bermúdez (6) en cultivos de café con árboles de sombra y sin ellos, en suelos relativamente homogéneos del CATIE, en Turrialba, tampoco logró detectarse

diferencias en escorrentía, aunque sí las hubo en cuanto a la producción de sedimentos.

Estas consideraciones hacen pensar que la metodología empleada en este caso para evaluar, el efecto de sistemas con árboles aislados sobre el fenómeno de la escorrentía, fue deficiente por tratarse de suelos muy heterogéneos. Esta misma investigación merece ensayar otra metodología.

Para el presente caso, se considera que una capa de vegetación herbácea que se hizo cada vez más densa con el tiempo, fue la principal razón por la que la erosión presentó un valor bajo (1900 kg/ha/año); además de la reconocida baja erodabilidad de los suelos de la región (1, 25). Esta vegetación protegió efectivamente el suelo del impacto de las gotas de lluvia, principal causa de las pérdidas de suelos cuando éste se encuentra sin protección.

Las observaciones sobre el sistema radical del poró y del laurel concuerdan con lo que encontraron Daccarett y Blydenstein (12) y Molleapaza (53) en estudios realizados en el CATIE, es decir, la mayor cantidad de raíces se encuentra en los primeros 20 cm de suelo siendo el sistema radical al parecer más extendido y superficial en el caso del poró.

## 7. Escorrentía y erosión

El valor promedio de escorrentía se considera alto (7,42%) comparado con los valores obtenidos por otros autores (6, 41, 66) en la región de Turrialba, los cuales no sobrepasaron 1,6% de la precipitación. La escorrentía es mucho más alta si se consideran únicamente



las lluvias fuertes, alcanzando valores de 24% de la precipitación. Esta alta escorrentía podría atribuirse, al menos en parte, al efecto del pastoreo.

El valor promedio de lluvia necesario para que se inicie la escorrentía (5,5 mm) muestra que lluvias relativamente pequeñas serían capaces de arrastrar suelo, produciendo erosión sino existiera una buena cobertura vegetal. Por otro lado, como puede observarse en la figura 8, la escorrentía alcanza valores substancialmente mayores cuando se producen lluvias superiores a los 20 mm, lo cual concuerda con lo observado por Elwell y Stocking (19) y Kowal y Kassam (45).

## VI. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados del presente estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El valor promedio de escorrentía (7,42% de la precipitación) es alto comparado con los obtenidos por otros autores para la región de Turrialba, a pesar que 1979 fue un año muy seco en La Suiza.
2. Pocos eventos (4%), producen un gran porcentaje (41%) de las pérdidas totales de agua por escorrentía superficial.
3. Las características físicas del suelo, especialmente la capacidad de infiltración y de retención de humedad a 0,33 bares, parecen ser los factores determinantes en el proceso de escorrentía para las condiciones experimentales.
4. La pérdida de sedimentos estimada es baja (1900 kg/ha/año), lo que se atribuye a una buena cobertura vegetal de gramíneas y no al efecto de árboles aislados.
5. La característica de la lluvia que mejor se correlaciona con la escorrentía es su cantidad total, independientemente de su intensidad.
6. Existe una estrecha relación entre la escorrentía y la producción de sedimentos expresada en kg/ha, para las condiciones del experimento.

## VII. BIBLIOGRAFIA

1. AMEZQUITA, C.E. Estudios hidrológicos y edafológicos para conservación de suelos y aguas en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1974. 138 p.
2. AUBERTIN, G.M. Nature and extent of macropores in forest soils and their influence on subsurface water movement. U.S. Forest Service. Research Paper NE-192. 1971. 33 p.
3. BAILLY, C. et al. Etude de la sensibilité des sols de Madagascar a l'érosion, experimentation en parcelles elementaires. Bois et Forest des Tropiques 196:15-28. 1976.
4. BAZAN, R. Curso de productividad y fertilidad de suelos. Análisis de textura, densidad aparente, densidad de partículas, porosidad total y espacio aéreo del suelo. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1975. 12 p.
5. BEER, J. et al. Un estudio de caso sobre prácticas agroforestales tradicionales en el trópico húmedo: El proyecto "La Suiza". Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1979. 34 p.
6. BERMUDEZ, M. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema café (*Coffea arabica* L.), poró (*Erythrina poeppigiana* (Walpers) O.F. Cook) y laurel (*Cordia alliodora* (R & P) Cham.), en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1980. 74 p.
7. BHATIA, K.S. y SINGH, R.S. Evaluation of rainfall intensities and erosion index values for soil conservation. Indian Forester 102(10):726-734. 1976.
8. BRANSON, F.A. y OWEN, J.B. Plant cover, runoff and sediment yield relationships on mancos shale in western Colorado. Water Resources Research 6(3):783-790. 1970.
9. BURIKIN, A.M. Influence of vegetation on the water-permeability of soils in relation to erosion processes. Soviet Soil Science 4:509-517. 1968.
10. CHINNAMANI, S. et al. Runoff studies under different covers in the nilgiris. Indian Forester 91(8):676-679. 1965.
11. CORBELT, E.S. y CROUSE, R.P. Rainfall interception by annual grass and chaparral... losses compared. U.S. Forest Service. Research Paper PSW-48. 1968. 12 p.

12. DACCARETT, M. y BLYDENSTEIN, J. La influencia de árboles leguminosos y no leguminosos sobre el forraje que crece bajo ellos. Turrialba (Costa Rica) 18(4):405-408. 1968.
13. DIAZ-ROMEU, R. y BALERDI, F. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. 3 p.
14. \_\_\_\_\_. Determinación de nitrógeno total en suelos. Método semi-micro Kjeldahl. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1977. 2 p.
15. \_\_\_\_\_. y HUNTER, A. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernaderos. Turrialba, Costa Rica, CATIE, 1978. 62 p.
16. DRAGOUN, F.J. Effects of cultivation and grass on surface runoff. Water Resources Research 5(5):1078-1083. 1969.
17. \_\_\_\_\_. y KUHLMEN, A.R. Effect of pasture management practices on runoff. Journal of Soil and Water Conservation 23(2):55-57. 1968.
18. DUNNE, T. y BLACK, R. An experimental investigation of runoff production in permeable soils. Water Resources Research 6(2): 478-490. 1970.
19. ELWELL, H.A. y STOCKING, M.A. Rainfall parameters to predict surface runoff and soil losses from selected field-plot studies. Rhodesian Journal of Agricultural Research 11(2):123-129. 1973.
20. EPSTEIN, E., GRANT, W. y STRUCHTENMEYER, R. Effects of stones on runoff, erosion and soil moisture. Soil Science Society of America Proceedings 30(5):638-640. 1966.
21. FEDERACION NACIONAL DE CAFETALEROS DE COLOMBIA. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná, Colombia, CENICAFE, 1975. 267 p.
22. FIGUEROA, C. Contribuciones para un plan de manejo de dos cuencas modelo en La Suiza, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. (En preparación).
23. FINK, D.H. y FRASIER, G.W. Evaluating weathering characteristics of water-harvesting catchments from rainfall-runoff analyses. Soil Science Society of America Journal 41(3):618-622. 1977.
24. FORSYTHE, W.M. Física de suelos. Manual de laboratorio. San José, Costa Rica, IICA, 1975. 212 p.

25. FORSYTHE, W.M. Relaciones suelo-agua en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centro América. In Elmer Bornemisza y Alfredo Alvarado eds. Manejo de suelos en la América Tropical. Raleigh, North Carolina, 1975. pp. 158-151.
26. GAISER, R.H. Root channels and roots in forest soils. Soil Science Society of America Proceedings 16(1):62-65. 1952.
27. GAVANDE, S. Water retention characteristics of some Costa Rican soils. Turrialba (Costa Rica) 18(1):34-38. 1963.
28. GOUGON, M. et al. Conservación de suelos en regiones tropicales (Africa y Madagascar). Trad. por José A. Castillo. Mérida, Venezuela, Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras, 1977. 120 p.
29. GRANT, W. y STRUCHTEMEYER, R. Influence of the coarse fraction in two maine potato soils on infiltration, runoff and erosion. Soil Science Society of America Proceedings 23(5):391-394. 1959.
30. GREENLAND, D.J. Soil structure and erosion hazard. In Greenland, D.J. y Lal, R. eds. Soil conservation and management in the humid tropics. London, Wiley, 1977. pp. 17-23.
31. GREER, J. Effect of excessive-rate rainstorms on erosion. Journal of Soil and Water Conservation 26(5):196-197. 1971.
32. GRIN, A.M. Infiltration capacity as a function of physical and chemical soil properties. Soviet Soil Science 4(4):453-460. 1972.
33. HARDY, F. Edafología Tropical. Trad. por Rufo Bazán. México, Herrero, 1970. 416 p.
34. HENDRICKSON, B. et al. Runoff and erosion control studies on Cecil soils in the Southern Piedmont. U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin N° 1281. 1963. 33 p.
35. HENNINGER, D.L., PETERSEN, G.W. y ENGMAN, E.T. Surface soil moisture within a watershed-variation, factors influencing, and relationship to surface runoff. Soil Science Society of America Journal 40(5); 773-779. 1976.
36. HEWLETT, J. y HIBBERT, A. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In Sopper, W.E. y Lull, H.W. eds. International symposium on forest hidrology. Oxford, Pergamon, 1977. pp. 527-543.

37. HEWLETT, J. y NUTTER, W. An outline of forest hidrology. Athens, University of Georgia, 1969. 137 p.
38. HIBBERT, A. Forest treatment effects on water yield. In Sopper, W.E. y Lull, H.W. eds. International symposium on forest hidrology. Oxford, Pergamon, 1967. pp. 527-543.
39. HOLDRIDGE, L. Ecología basada en zonas de vida. Trad. por Humberto Jiménez. San José, Costa Rica, IICA, 1978. 216 p.
40. HUDSON, N. Soil Conservation. London, Batsford, 1976. 320 p.
41. IVES, N. Soil and water runoff studies in a tropical region. Turrialba (Costa Rica) 1(5):240-244. 1951.
42. JACKSON, I.J. Climate water and agriculture in the tropics. London, Longman, 1977. 248 p.
43. KITTREDGE, J. Forest Influences. New York, McGraw-Hill, 1948. 394 p.
44. KOHNKE, H. Soil physics. New York, McGraw-Hill, 1968. 224 p.
45. KOWAL, J.M. y KASSAM, J.M. Energy load and instantaneus intensity of rainstorms at Samaru, Northern Nigeria. In Greenland, D.J. y Lal, R. eds. Soil conservation and management in the humid tropics. London, Wiley, 1977. pp. 57-70.
46. LAL, R. Effects of cultural and harvesting practices on soil physical conditions. In Mongi, H.O. y Huxley, P.A. eds. Soil research in agroforestry: proceedings of an expert consultation. Nairobi, ICRAF, 1979. pp. 327-351.
47. LINSLEY, R.K., KOHLER, M.A. y PAULUS, J.H. Hidjrología para ingenieros. Bogotá, McGraw-Hill Latinoamericana, 1977. 386 p.
48. LUGO-LOPEZ, M.A. y JUAREZ JUNIOR, J. Evaluation of the effects of organic matter and other soil characteristics upon the agregate stability of some tropical soils. Journal of Agriculture of University of Puerto Rico 43(4):268-272. 1959.
49. LUSBY, G.C. Hydrologic and biotic effects of grazing vs nongrazing near Gran Junction, Colorado. Journal of Range Management 23(4): 256-260. 1970.
50. MOLCHANOV, A.A. The hydrologic role of forests. Translated from Russian. Jerusalem, Isrrael Program for Scientific Translations, 1963. 407 p.

51. HULDENHAUER, W.C. y WISCHNEIER, W.H. Soil and water losses and infiltration rates on Ida Silt Loam as influenced by cropping systems, tillage practices and rainfall characteristics. Soil Science of America Proceedings 24(5):409-413. 1960.
52. MOLERO, A. La dinámica del agua y del espacio aéreo en las capas superficiales de dos suelos de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 188 p.
53. MOLLEAPAZA, J.E. Producción de biomasa de poró (Erythrina poeppigiana (Walpers) O.F. Cook) y del laurel (Cordia alliodora (Ruiz y Pav.) Oken), asociado con café. Tesis Mag. Sc. (Borrador). Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1979. 76 p.
54. MONIER, F. y PIOT, J. Problemes de paturage dans L'Aadamaoua. Bois et Forets des Tropiques 97:3-16. 1964.
55. HONSEN, R. Jr. ed. Inventario de Recursos: Cantón de Turrialba. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1970. 115 p.
56. MOZO, T. Conservación del suelo a través del bosque. Revista Nacional de Agricultura (Colombia) 748-46-47. 1967.
57. MUNSSELL COLOR COMPANY. Munsell soil charts. Baltimore, Maryland, 1954. 20 p.
58. NAZAROV, G.V. Permeability of the soils as an indicator of its resistance to erosion. Soviet Soil Science 6(3):336-339. 1974.
59. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION. La influencia de los montes. Roma, FAO, 1962. 335 p.
60. \_\_\_\_\_. La erosión del suelo por el agua. Roma, FAO, 1967. 207 p.
61. \_\_\_\_\_. Guía para la descripción de perfiles de suelo. Roma, FAO, 1968. 60 p.
62. \_\_\_\_\_. Actividades forestales en el desarrollo de comunidades rurales. Roma, FAO, 1976. 136 p.
63. PEREIRA, H.C. Land use and water resources. London, Cambridge University, 1973. 246 p.
64. \_\_\_\_\_. Hydrological and soil conservation aspects of agroforestry. In Mongi, H.O. y Huxley, P.A. eds. Soil research in agroforestry: Proceeding of an expert consultation. Nairobi, ICRAF, 1979. pp. 315-326.

65. PERES, S., ALVARADO, A. y RAMIREZ, E. Asociación de subgrupos de suelos de Costa Rica (Mapa preliminar) CR2CM-6. San José, Costa Rica, Oficina de Planificación Sectorial Agropecuaria, 1978.
66. ROCHA, J.A. Erosión de suelos de pendientes cultivadas 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.
67. ROSSE, E.J. Application of the soil loss equation of Wischmeier and Smith in West Africa. In Greenland, D.J. y Lal, R. eds. Soil conservation and management in the humid tropics. London, Wiley, 1977. pp. 177-187.
68. SAINZ DEL RIO, J.F. y BORNEMISZA, E. Análisis químico de suelos, métodos de laboratorio para diagnóstico de fertilidad. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1961. 107 p.
69. SAMRAJ, P., CHINNANANI, S. y HALDORAI, B. Natural versus man-made forest in Nilgiris with special reference to runoff, soil loss and productiviti. *Indian Forester* 103(7):460-465. 1977.
70. SANCHEZ, P. Properties and management of soils in the tropics. New York, Wiley, 1976. 618 p.
71. SARTZ, R.S. y TOLSTED, D.N. Effect of grazing on runoff from small watersheds in Southwestern Wisconsin. *Water Resources Research* 10(2):354-356. 1974.
72. SHAXSON, T.F. Soil erosion, water conservation and organic matter. *World Crops* 27(1):6-10. 1975.
73. SLATYER, R.O. Methodology of a water balance study conducted on a desert woodland (*Acacia aneura* F. Muell) community in Central Australia. In UNESCO. Plant-water relationships in arid and semi-arid conditions. Proceeding of the Madrid symposium. Paris, UNESCO, 1961. pp. 15-26.
74. SMITH, G.O. et al. Investigations in erosion control and reclamation of eroded shelby and related soils at the conservation experiment station, Bethany, Missouri 1930-1942. U.S. Department of Agriculture. Technical bulletin N° 883. 1945. 175 p.
75. SUAREZ DE CASTRO, F. Conservación de suelos. 3 ed. San José, Costa Rica, IICA, 1979. 315 p.
76. SWARTZENDRUBER, D. y HILLEL, D. Infiltration and runoff for small field plots under constant intesity rainfall. *Water Resources Research* 11(3):445-451. 1975.



77. TIENSEEMUANG, S. y PONSANA, P. Hydrologic properties of soil in relation to runoff and water control. In Greenland, D. J. y Lal, R. eds. Soil conservation and management in the humid tropics. London, Wilwy, 1977. pp. 221-228.
78. TROMBLE, J.M., RENARD, K.G. y THATCHER, A.P. Infiltration for three rangeland soil-vegetation complexes. Journal of Range Management 27(4):318-321. 1974.
79. UNITED NATIONS EDUCATIONAL SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. Water balance and soils. In \_\_\_\_\_. Tropical forest ecosystems a state-of-knowledge report. Paris, UNESCO, 1978. pp. 256-269.
80. US. SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELO. Investigación de suelos. Métodos de laboratorio y procedimientos para recoger muestras. Trad. por Agustín Contín. México, Trillas, 1973. 90 p.
81. WIERSUN, K.F., BUDIRIJANTO, P. y RHONDONI, D. Influence of forest on erosion: Report seminar 'The erosion problem in the Jatiluhur area'. Bandung, Padjadjaran University, 1979. 47 p.
82. \_\_\_\_\_. Introduction to principles of forest hydrology and erosion with special reference to Indonesia. Bandung, Padjadjaran University, 1979. 76 p.
83. WISCHMEIER, W. y MANNERING, J.V. Effect of organic matter content of the soil on infiltration. Journal of Soil and Water Conservation 20(4):150-152. 1965.
84. WOOD, H.B. Hydrologic differences between selected forested and agricultural soils in Hawaii. Soil Science Society of America Journal 41(1):132-136. 1977.
85. ZAMBRANA, H.A. Comparación y evaluación de la intercepción de lluvias en dos tipos de bosques tropicales. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE, 1975. 61 p.

APENDICE A  
(CUADROS Y FIGURAS)

Cuadro 1A. Características químicas de los 9 perfiles de las parcelas de escorrentía en La Suiza, Turrialba, Costa Rica.

N° PERFIL	PROFUND. cm.	PH en H <sub>2</sub> O	PH EN NaF	EQUIVALENTES POR 100 cms de suelo				PORCENTAJES				RELACIONES				
				Ca	Mg	K	Nz	CIC	SAT BAS	M.O	C.O.	N.T.	Ca/Mg	Mg/K	Ca/Mg K	C/N
1	0-10	5,8	---	13,9	3,60	0,25	0,17	39,38	46	12,06	6,99	0,66	3,66	15,20	70,80	10,39
	10-35	6,0	9,9	10,2	3,10	0,12	0,21	32,34	42	7,10	4,12	0,42	3,32	25,83	111,67	9,81
	35-60	6,1	9,8	10,0	2,90	0,09	0,26	31,12	41	4,69	2,72	0,26	3,45	32,22	143,23	10,46
	60-100	6,1	---	9,6	3,14	0,07	0,29	31,46	41	2,95	1,71	0,16	2,99	44,86	179,14	10,69
2	0-12	5,6	---	9,0	3,06	0,16	0,19	33,88	37	8,31	4,82	0,49	2,94	19,13	75,38	9,84
	12-33	5,8	9,7	9,2	2,32	0,09	0,21	27,23	43	4,32	2,80	0,29	3,97	25,78	128,00	9,66
	33-45	5,8	10,0	9,4	1,98	0,10	0,24	36,30	32	4,29	2,49	0,23	4,75	19,80	113,80	10,83
	45-70	5,5	---	6,1	1,64	0,04	0,24	25,30	32	2,81	1,63	0,15	3,72	41,00	193,50	10,87
3	0-20	6,0	---	16,4	4,48	0,16	0,25	42,24	50	11,12	6,45	0,62	3,66	28,00	130,50	10,40
	20-35	6,1	9,5	9,9	4,28	0,08	0,29	31,24	47	5,09	2,95	0,30	2,31	53,50	177,25	9,83
	35-60	6,3	9,4	10,6	4,28	0,04	0,31	29,46	52	2,35	1,48	0,15	2,48	107,00	372,00	9,87
	60-100	6,3	---	10,9	3,96	0,09	0,35	31,02	50	3,62	2,10	0,19	2,75	44,00	165,11	11,05
4	0-15	6,0	---	15,6	4,12	0,31	0,17	40,70	50	10,18	5,90	0,57	3,79	13,29	63,61	10,35
	15-30	5,9	9,3	9,9	4,16	0,13	0,20	31,68	45	4,82	2,80	0,25	2,38	32,00	108,15	11,20
	30-60	6,1	9,6	10,8	2,80	0,08	0,18	34,22	43	2,95	1,71	0,16	2,84	47,50	182,50	10,69
	60-100	6,0	---	11,2	4,12	0,11	0,25	30,80	51	2,41	1,40	0,13	2,72	37,45	132,27	10,77
5	0-30	6,1	---	14,5	4,60	0,30	0,20	39,38	50	9,76	5,67	0,57	3,15	15,33	63,67	9,95
	30-45	6,0	9,4	12,2	2,60	0,13	0,18	29,92	51	5,36	3,11	0,32	4,69	20,00	113,85	9,72
	45-70	6,1	9,5	12,2	3,10	0,08	0,21	30,80	51	3,48	2,02	0,19	3,94	38,75	191,25	10,63
	70-100	6,2	---	11,9	3,92	0,08	0,25	31,90	51	3,35	1,94	0,21	3,04	49,00	197,75	9,24
6	0-15	5,9	---	12,6	3,72	0,36	0,17	34,76	48	8,31	4,82	0,46	3,39	10,33	45,33	10,48
	15-40	6,0	9,4	11,2	2,22	0,10	0,19	29,70	50	5,23	2,93	0,29	3,48	32,20	144,20	10,45
	40-65	6,1	9,4	12,4	2,32	0,08	0,20	31,90	47	4,15	2,41	0,22	5,34	29,00	154,00	10,95
	65-100	6,2	---	11,8	2,92	0,12	0,29	32,12	47	4,02	2,23	0,24	4,04	24,33	122,67	9,71
7	0-10	6,0	---	12,1	4,12	0,15	0,19	35,42	47	6,97	4,04	0,39	2,94	27,47	108,13	10,36
	10-45	6,0	9,6	13,0	2,80	0,06	0,24	36,30	44	2,95	1,71	0,15	4,64	46,67	263,33	11,40
	45-75	6,1	9,7	13,7	3,32	0,06	0,29	35,54	49	3,08	1,79	0,16	4,13	55,33	283,67	11,19
	75-100	6,2	---	10,0	5,36	0,13	0,26	47,52	54	2,01	1,17	0,12	3,73	35,67	169,07	9,75
8	0-15	6,1	---	11,9	4,20	0,15	0,18	36,94	42	6,97	4,04	0,39	2,83	28,00	107,33	10,36
	15-30	6,1	9,4	12,9	4,04	0,07	0,21	33,36	52	5,36	3,11	0,32	3,19	57,71	242,00	9,72
	30-70	6,2	9,7	12,4	4,00	0,05	0,33	39,16	43	2,55	1,48	0,12	3,10	80,00	328,00	12,33
	70-100	6,2	---	11,3	4,36	0,06	0,41	36,30	44	2,41	1,40	0,12	2,59	72,67	261,00	11,67
9	0-10	6,1	---	13,1	4,52	0,10	0,24	38,06	47	7,91	4,59	0,44	2,90	28,25	111,13	10,43
	10-40	5,8	9,4	11,6	2,80	0,06	0,21	32,56	46	5,76	3,34	0,32	4,21	46,67	243,33	10,44
	40-60	5,8	9,7	10,1	2,80	0,05	0,40	34,24	39	4,56	2,64	0,29	3,61	56,00	256,00	9,10
	60-100	6,1	---	8,3	3,26	0,04	0,55	36,08	34	3,08	1,79	0,19	2,55	81,50	289,00	9,42

Cuadro 2A. Matriz de correlaciones entre las características de la lluvia, la escorrentía y sus transformaciones logarítmicas\*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Precipitación mm	1												
Tiempo horas	2	0,769	1										
Int. media mm/ha	3	0,067	0,332	1									
Int. max. 30' mm/h	4	0,541	0,007	0,557	1								
Int. max. 60' mm/h	5	0,575	0,026	0,498	0,959	1							
Escorrentía media mm	6	0,751	0,304	0,143	0,778	0,762	1						
In de 1	7	0,921	0,613	0,113	0,613	0,651	0,736	1					
In de 2	8	0,515	0,718	0,596	0,017	0,009	0,300q	0,558	1				
In de 3	9	0,148	0,423	0,853	0,631	0,627	0,275	0,208	0,629	1			
In de 4	10	0,579	0,037	0,500	0,929	0,916	0,688	0,677	0,015	0,656	1		
In de 5	11	0,607	0,076	0,482	0,897	0,943	0,692	0,708	0,031	0,651	0,966	1	
In de 8	12	0,785	0,383	0,184	0,701	0,726	0,799	0,896	0,433	0,338	0,771	0,766	1

\*:Coeficientes mayores a 0,325 son significativos (p = 0.01)

Cuadro 3A. Matriz de correlaciones entre algunas características del primer horizonte del suelo, escorrenfa en mm y sedimentos (gr./litro y kg/ha) para el período de observaciones.\*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Escorrenfa en mm	1													
Sedimentos														
Libro	2	0,117												
Sedimentos kg/ha	3	0,067	0,036											
Densidad aparente g/ml	4	-0,056	-0,562	-0,451										
§	5	0,575	0,279	0,788	-0,244	1								
§	6	-0,528	-0,038	-0,664	0,261	-0,863								
§	7	-0,053	-0,471	-0,198	0,047	-0,206	-0,295							
§	8	0,093	0,028	-0,117	0,026	-0,415	0,607	-0,445						
Materia org.	9	0,594	-0,216	0,404	0,260	0,463	-0,832	0,676	-0,663					
§	10	-0,005	-0,628	-0,249	0,027	0,031	-0,187	0,352	-0,384	0,169				
E.P. Capilar	11	0,341	0,021	0,555	-0,628	0,455	-0,729	0,479	-0,314	0,695	-0,289			
§ Hum.	12	-0,594	-0,317	-0,662	0,040	-0,515	0,253	0,518	0,020	-0,052	0,294	-0,184		
§ Hum.	13	0,351	-0,434	0,369	0,056	0,377	-0,824	0,477	-0,550	0,823	0,559	0,038	1	
Capacidad de infiltración	14	-0,637	-0,223	-0,422	-0,055	-0,213	-0,972	0,457	-0,469	0,268	0,557	0,143	0,685	0,327

\* Valores superiores a 0,58 son significativos (P = 0,10)

Cuadro 4A. Cuadrados medios del análisis de varianza para escurrimiento (mm), promedios de 61 eventos, y sedimento en g/l, promedio de 11 eventos.

F.V.	G.L.	Escorrentía	Erosión
Repeticiones	2	0,791 NS	0,002*
Tratamientos	2	0,155 NS	0,002*
Error	4	0,490	0,000
Total			
C.V.	8	0,73	0,13

NS = no significativo

\* = significativo al nivel del 5% de probabilidad.

Cuadro 5A. Cuadrados medios del análisis de varianza para las características del suelo.

							Humedad			
							0.3 Bares	15 Bares		
1er. horizonte	G.L.	D.A.	M.O.	% Arena	% Arcilla					
Fuente variación							0.3 Bares	15 Bares		
Tratamientos	2	0,0098*	16,0572	18,6667	67,5556		3,6374	4,3644		
Repeticiones	4	0,0189**	2,8798	178,6667	67,5556		0,6019	4,6648		
Error	6	0,0023	7,2626	418,6666	479,1111		8,4765	11,6658		
Total	8	0,0310	26,1996	616,0000	614,2222		12,7158	20,6950		
							Humedad			
							0.3 Bares	15 Bares		
2do. horizonte	G.L.	D.A.	M.O.	% Arena	% Arcilla					
Fuente variación							0.3 Bares	15 Bares		
Tratamientos	2	0,0027	1,4410	54,2222	46,2222		51,4463	15,3474		
Repeticiones	2	0,0086	0,2818	27,5556	123,5556		4,2492	1,0923		
Error	4	0,0011	7,6244	97,7778	175,1111		76,9948	17,1811		
Total	8	0,0124	9,3472	179,5556	344,8889		132,6903	43,6209		
							Humedad			
							0.3 Bares	15 Bares		
3 er. horizonte	G.L.	D.A.	M.O.	% Arena	% Arcilla					
Fuente variación							0.3 Bares	15 Bares		
Tratamientos	2	0,0296	0,3166	312,000*	370,6667		69,9077	41,2252		
Repeticiones	2	0,0151	0,1484	82,6667	114,6667		18,6494	4,1766		
Error	4	0,0198	5,3345	69,3333	122,6666		101,4813	31,4919		
Total	8	0,0645	5,7995	464,0000	608,0000		190,0384	76,8937		

\* Significativo (p 0,05)

\*\* Significativo (p 0,01)

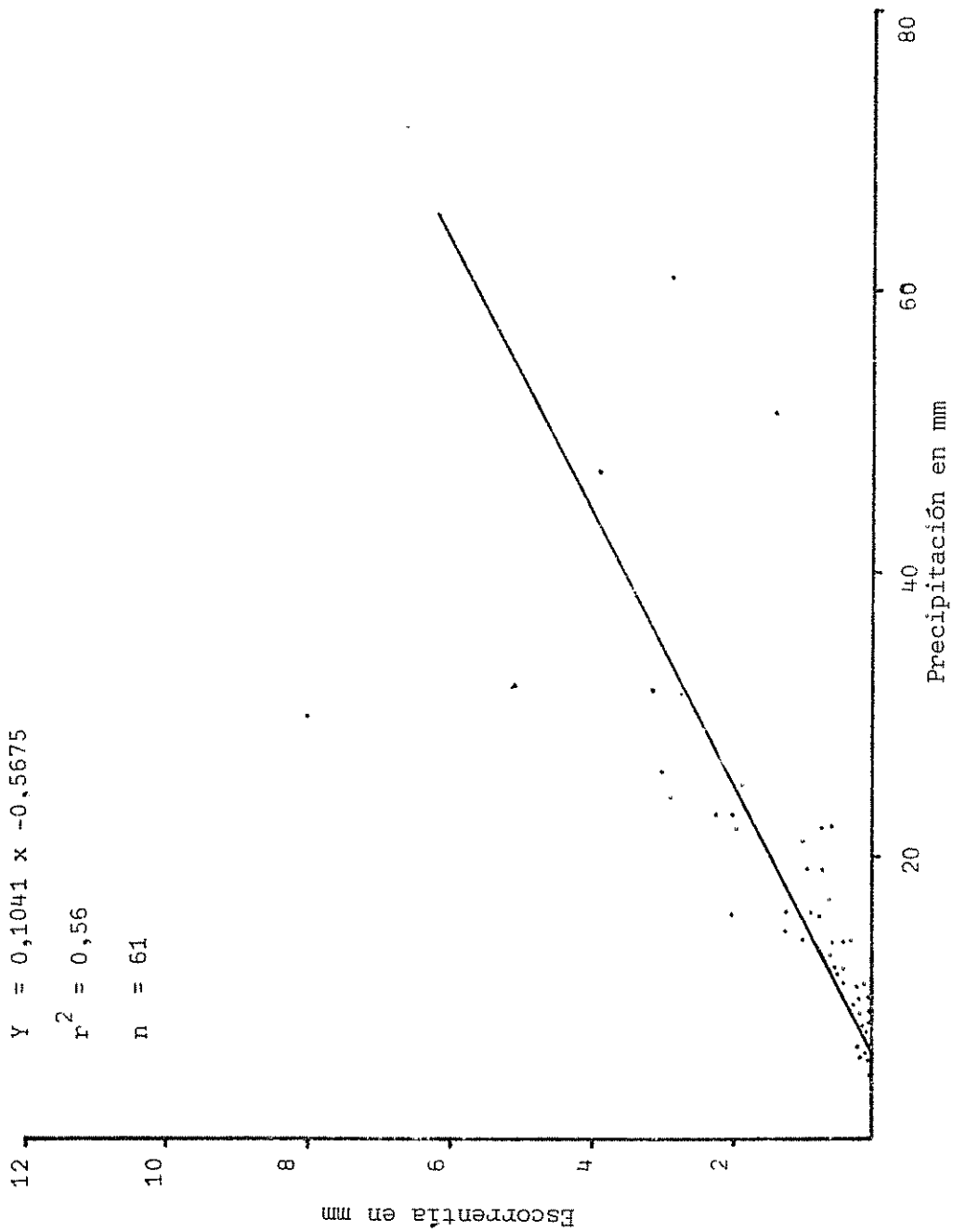


Fig. 9. Parcelas de escorrentía en La Suiza, curva de regresión lineal para la relación de la escorrentía y la precipitación.



## APENDICE B

DESCRIPCION DE DOS PERFILES CARACTERISTICOS DEL  
AREA DE ESTUDIO

## PERFIL Nº 2.

## 1. Información general

Está ubicado en una pendiente ligeramente cóncava de 44%, con pocas piedras superficiales y algunas "terracetas".

## 2. Descripción del perfil:

- Ap. 0-12 cm. Café (10 YR 4/3) en seco; arcilloso; bloques angulares, fuerte, medianamente desarrollada; ligeramente plástico y no pegajoso; poros grandes y medianos abundantes; raíces medias y finas abundantes; micas visibles; buena permeabilidad; buena actividad biológica; restos de carbón vegetal; pH 5,6 en agua.
- B1 12-33 cm. Café (10 YR 4/3 en seco; arcilloso; blocosa gruesa, fuerte, firme; plástico y ligeramente pegajoso; poros tubulares medios y gruesos abundante; micas visibles; buena actividad biológica; raíces finas abundantes; baja permeabilidad; restos de carbón vegetal; pH 5,8 en agua y 9,7 en NaF.

- B2 33-45 cm. Café amarillo (10 YR 5/4) en seco; arcilloso; blocosa, fuerte y firme; pegajoso y plástico; baja permeabilidad, poros tubulares medianos abundantes; raíces medias y finas escasas; piedras medias y grandes en un 20%; pH 5,8 en agua y 10 en NaF.
- II B2t 45-70cm Café (7,5 YR 5/4); arcilloso; blocosa gruesa bien desarrollada; muy firme; plástico y pegajoso; presencia de películas de arcilla (cúta- nes); poros finos y medios escasos; cuarzo visible; raíces escasas; drenaje no impedido; pH 5,5 en agua.
- B3 70-100 cm. Café (7,5 YR 5/4) arcilloso; blocosa fina y fuerte; pegajoso y plástico; presencia de manchas y moteaduras de Fe y Mn; drenaje impedido; pH 5,4 en agua.

### PERFIL Nº 3.

El grupo de ocho perfiles con cuatro horizontes representados en éste, poseen en mayor o menor grado un manto de piedra a profundidad variable. En algunos perfiles disminuye considerablemente, mezclándose con el horizontes B2 de cenizas volcánicas. El primer horizonte prácticamente ha desaparecido debido a la erosión. Siempre está presente un frente de saturación, que cuando más superficial se lo detectó, estuvo a 60 cm de la superficie. Los límites de los horizontes son muy

irregulares. Las profundidades para cada horizonte variaron entre 0-30, 10-45, 30-75 y más de 60 cm, en orden desde la superficie.

1. Información general

Está ubicado en una pendiente ligeramente cóncava de 45%, con fuerte pedregosidad superficial. Se observan "terracetas" por efecto del pisoteo del gando. Presenta horizontes superficiales más oscuros; la concentración de las raíces es muy notoria en los primeros 35 cm.

2. Descripción del perfil:

A11 0-20 cm. Café oscuro (7,5 YR 3/2) en seco; arcilloso; migajoso a granular; no pegajoso y no plástico; poros medios abundantes; piedras de hasta 3 cm en un 30%; actividad biológica buena; residuos de carbón vegetal; pH 5,9 en agua.

A12 20-35 cm. Café oscuro (7,5 YR 3/2); arcilloso; blocosa, fina, firme; ligeramente pegajoso y plástico; poros medios abundantes; raíces medias escasas y finas abundantes; piedras medias y grandes en un 70%; buen drenaje; pH 6,1 en agua y 9,5 en NaF.

B2g/C 35-60 cm. Café (7,5 YR 5/4) en seco; arcilloso; estructura en bloques angulares; pegajoso y plástico; fuerte mezcla (70%) de grava y piedras entre 2 y 10 cm de diámetro; presencia de manchas y moteaduras drenaje impedido, pH 6,3 en

agua y 9,4 en NaF.

Cg 60-100 cm. Café (7,5 YR 5/4) en seco; arcilloso; fuertemente gleiyizado con manchas y moteaduras grises y pardo rojizas; piedras grandes y medias en fuerte mezcla, pH 6,3 en agua.