

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACION Y ENSEÑANZA  
SUBDIRECCION GENERAL ADJUNTA DE ENSEÑANZA  
PROGRAMA DE POSGRADO

EVALUACION DE LAS MEDIDAS DEMOSTRATIVAS DE CONSERVACION DE  
SUELOS EN LA FINCA "LA SELVA", CUENCA DEL RIO TUIS, COSTA  
RICA.

Tesis sometida a la consideración del Comité Técnico  
Académico del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias  
Agrícolas y Recursos Naturales del Centro Agronómico  
Tropical de Investigación y Enseñanza, para optar al grado  
de

Magister Scientiae

Por

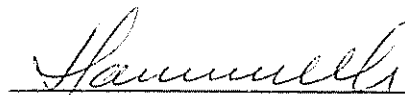
EDDY GUSTAVO ROMERO DEL VALLE

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza  
Turrialba, Costa Rica  
1991

Esta tesis ha sido aceptada, en su presente forma, por la Coordinación del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agrícolas y Recursos Naturales Renovables del CATIE y aprobada por el Comité Asesor del estudiante como requisito parcial para optar al grado de:

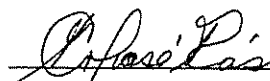
MAGISTER SCIENTIAE

COMITE ASESOR:



---

Jorge Faustino, M. Sc.  
Profesor Consejero



---

Carlos J. Rivas, Ph. D.  
Miembro del Comité



---

Fernando Ferrán, Ph. D.  
Miembro del Comité

---

Miembro del Comité

---

Ramón Lastra, Ph. D.  
Coordinador Programa Maestría



---

Eddy Gustavo Romero del Valle  
Candidato

"El conservacionismo no es solamente la naturaleza, es el aspecto puramente social de un pueblo, especialmente de la masa campesina, y cuando estamos practicando el conservacionismo lo que estamos haciendo es logrando el verdadero progreso del país, porque estamos sacando al campesino de donde está, cuando le enseñamos que él tiene que conservar el suelo, porque si lo pierde, pierde su vida, entonces allí es donde comienza el bienestar del país".

Porque

"Tenemos derecho al usufructo de los recursos naturales. Pero nada nos autoriza a destruir ese patrimonio de las futuras generaciones. Somos depositarios de una herencia que debemos administrar con honradez".

Arturo Trejos

## DEDICATORIA

A mis padres Gustavo y Mercedes, con el amor, respeto y la admiración de siempre.

A mis hermanos Rolando, José Miguel, Jorge, Víctor, Geovanny y Juan Gustavo.

A mis hermanas Sofía Armení y Luz Mercedes.

Al pueblo Dominicano, cuya forma de ser es un himno a la vida.

A mi esposa, Marisol con amor eterno.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo dejar constancia de mi más sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones:

A los miembros de mi Comité Asesor, Fernando Ferrán Ph. D., Carlos Rivas Ph. D., y especialmente a mi profesor consejero Jorge Faustino M. Sc., cuya orientación y asesoría científica fueron la base para el desarrollo y culminación del presente trabajo.

Al personal del Laboratorio de Suelos del CATIE, especialmente a Don Roberto Díaz M. Sc., Ing. Mario Jiménez e Ing. Gustavo Ortiz, sin cuyo apoyo hubiera sido imposible realizar los análisis de suelo.

A Pedro Ferreira Ph. D., Gilda Piaggio Ph. D., Gustavo López y Rita Aguilar del Centro de Cómputo del CATIE, por su invaluable ayuda en el análisis de los datos.

A las autoridades de la Universidad Autónoma de Santo Domingo, por proponerme como candidato a master ante el CATIE, hecho que me permitió efectuar mis estudios de posgrado y superarme así, desde el punto de vista profesional.

Al personal del Proyecto Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas, especialmente a Carlos Rodríguez y Etelberto Naranjo, cuyo apoyo logístico fue imprescindible para que este estudio llegara a feliz término.

A Segundo Marín M. Sc., quien suministró la información necesaria para el análisis del componente social de esta investigación.

Al Gobierno de Holanda por la beca otorgada, lo cual hizo posible la realización de mis estudios de Maestría.

Un reconocimiento especial a Jean Collinet Ph. D. por su desinteresada colaboración a lo largo de todo el proceso de investigación.

A todās aquellas personas que de una manera u otra hicieron posible la culminación de este estudio,

Muchas Gracias.

## BIOGRAFIA

El autor de nacionalidad dominicana, nació el 28 de julio de 1963 en San Pedro de El Cercado, provincia de San Juan de la Maguana. Realizó sus estudios secundarios en la Escuela Nacional de Artes y Oficios y en el Liceo Miguel Angel Garrido de la ciudad de Santo Domingo.

Efectuó sus estudios superiores en la Universidad Autónoma de Santo Domingo de la cual se graduó en junio de 1989, obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo, Mención Ciencias del Suelo. En esta misma institución prestó servicios como Asistente de Docencia en la Cátedra de Ciencias del Suelo de la Facultad de Ciencias Agronómicas y Veterinarias.

En setiembre de 1989 ingresó al Programa de Estudios de Posgrado en Ciencias Agropecuarias y de Recursos Naturales Renovables del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza CATIE, obteniendo el título de *Magister Scientiae* en Manejo Integrado de Recursos Naturales con énfasis en Cuencas Hidrográficas en noviembre de 1991. Su tesis de grado fue galardonada con una Mención Especial.

## CONTENIDO

	Página
DEDICATORIAS.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
BIOGRAFIA.....	vii
INDICE .....	viii
RESUMEN.....	xi
SUMMARY.....	xiv
LISTA DE CUADROS.....	xvii
LISTA DE FIGURAS.....	xvii
INDICE DE ANEXOS.....	xix
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Definición del problema.....	1
1.2. Importancia y justificación del estudio...	2
1.3. Objetivos.....	4
1.4. Hipótesis.....	4
2. REVISION DE LITERATURA.....	6
2.1. Situación de los recursos naturales en C.R.	6
2.2. Antecedentes del estudio de la erosión hidrica en la cuenca del Río Tuis.....	10
2.3. La erosión hídrica.....	12
2.4. Factores que originan la erosión hidrica..	13
2.4.1. La precipitación.....	13
2.4.1.1. Cantidad total de lluvia...	13
2.4.1.2. Frecuencia de las lluvias..	14
2.4.1.3. Intensidad de la lluvia....	15
2.4.1.4. Energía cinética.....	16
2.4.2. El suelo.....	17
2.4.3. La cobertura vegetal.....	17
2.4.4. La topografía.....	19
2.4.5. La actividad humana.....	20
2.5. Consecuencias de la erosión hidrica.....	20
2.6. Cuantificación de la erosión hídrica.....	21
2.7. Indices de erosividad de las lluvias.....	22



2.8.	Relación de las propiedades físicas del suelo con la escorrentía y la erosión....	23
2.8.1.	La Textura.....	23
2.8.2.	La estructura.....	25
2.8.3.	Densidad aparente.....	26
2.8.4.	Porosidad.....	26
2.8.5.	Humedad del suelo.....	28
2.8.6.	Conductividad Hidráulica.....	28
2.9.	Efectos de la escorrentía y la erosión en la capacidad productiva de los suelos..	29
2.10.	La degradación de los recursos naturales en el distrito de La Suiza, cuenca del Río Tuis.....	30
2.11.	Problemática Social de la Conservación de Suelo y Agua.....	31
2.12.	Antecedentes y perspectivas sociales del control de la erosión y la escorrentía en la zona.....	33
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>35</b>
3.1.	Información general de la finca "La Selva"	35
3.1.1.	Localización y extensión.....	35
3.1.2.	Clima.....	35
3.1.3.	Vegetación.....	37
3.1.4.	Geología y Suelos .....	37
3.2.	Información social de la zona.....	39
3.3.	Las parcelas experimentales.....	40
3.3.1.	Descripción y manejo de las parcelas de escorrentía.....	40
3.3.2.	Tamaño y forma.....	43
3.3.3.	Sistema colector del aguas de escorrentía y los sedimentos.....	44
3.4.	Cuantificación de la escorrentía.....	44
3.5.	Medición de los sedimentos arrastrados....	45
3.6.	Evaluación de la cobertura en las parcelas	45
3.7.	Medición y análisis de la precipitación...	45

3.8.	Muestreo de suelo.....	46
3.9.	Determinación de las características físicas del suelo por parcela.....	46
3.9.1.	Densidad aparente y Compactación...	46
3.9.2.	Porosidad total.....	47
3.9.3.	Distribución del tamaño de partículas	47
3.9.4.	Curva de retención de humedad.....	47
3.9.5.	Contenido de humedad.....	47
3.9.6.	Conductividad hidráulica saturada..	48
3.10.	Determinación de las características químicas.....	48
3.10.1.	Materia orgánica.....	48
3.10.2.	Capacidad de intercambio catiónico	48
3.10.3.	pH.....	48
3.10.4.	Estimación de la pérdida de materia orgánica, nitrógeno, fosforo y potasio	49
3.11.	Análisis estadístico de las variables en estudio.....	49
4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	51
4.1.	Características de los suelos por parcela.	51
4.1.1.	Características físicas.....	51
4.1.2.	Características químicas.....	56
4.2.	Relación entre <u>las</u> variables edáficas.....	62
4.3.	Precipitación.....	62
4.4.	Escorrentía superficial.....	66
4.5.	Pérdida de suelo.....	67
4.5.1.	Pérdida de materia orgánica.....	69
4.5.2.	Pérdida de nitrógeno, fósforo y potasio.....	70
4.6.	Perspectiva social de la erosión en la zona	71
5.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	73
6.	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	75
7.	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	76
8.	<b>ANEXOS.....</b>	84

ROMERO DEL VALLE, E. G. 1991. Evaluación de las medidas demostrativas de conservación de suelo en la finca "La Selva", Cuenca del Rio Tuis, Costa Rica. Tesis M. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Palabras claves: Cuenca hidrográfica, conservación de suelo, isoerosividad, parcelas de escorrentía, cobertura vegetal, pérdida de nutrientes, sistema tradicional de producción de café, efecto demostrativo.

### RESUMEN

En la cuenca del Rio Tuis los efectos de la erosión hídrica son favorecidos por el cambio drástico en el uso de la tierra y el manejo inadecuado de la misma. En ese sentido el bosque de protección de las partes altas y medias (zonas marginales con pendientes superiores al 60%) de la cuenca han sido sustituidas por pasto, caña de azúcar y café. Esto ha incrementando los niveles de escorrentía y pérdida de suelo, induciendo la reducción de la capacidad productiva del mismo. El café es cultivado en el sentido de la máxima pendiente, con baja densidad de cobertura y manteniendo el suelo limpio de hierbas y rastrojos.

Con el propósito de demostrar en forma práctica el efecto y control de estos problemas y estudiar el potencial erosivo de la precipitación, se establecieron 8 parcelas de escorrentía en la finca "La Selva", en "La Suiza", Turrialba en 1987. Cinco de dichas parcelas tienen café, de las cuales dos presentan medidas de conservación de suelo (barreras vivas de zacate limón (*Cimnopogon citratus*) y cobertura bajas de gramíneas) y tres manejadas bajo el sistema tradicional. Las tres restantes tienen una charral, otra frijol y la última sin cobertura vegetal (parcela de Wischmeier).

Se encontró que la precipitación de la zona se caracteriza por lluvias ligeras (78% son menores de 15 mm) de baja intensidad. Además, se determinó que la cantidad total de los eventos y la intensidad en 15 minutos de los mismos presentaron la mejor relación con la escorrentía ( $R^2$  mayores a 0,60), siendo el modelo logarítmico el de mejor ajuste. En ese sentido el factor R de Wischmeier calculado con base en la intensidad en 15 minutos explicó mejor el comportamiento del agua escurrida que el clásico R30, contrario a lo observado en otros estudios realizados en la zona.

En las parcelas con medidas de conservación de suelo se determinó un mayor efecto en la reducción de las tasas de escorrentía y pérdida de suelo. En dichas parcelas sólo escurrió el 3,45% y el 5,43% de la precipitación (41% y 81% de pendiente respectivamente) y pérdidas de suelo menores a 11 kg/ha (durante el mes de junio de 1991). De manera general se pueden calificar como bajos los niveles de pérdidas observado en los tratamientos con café, a pesar de ser producidos por eventos extremos.

Las entrevistas realizadas a los agricultores de la zona por Pérez (1990) y Marín (1991) revelaron que las parcelas evaluadas presentan sistemas similares de uso y manejo de la tierra a los existentes en la zona. Esto indica que el comportamiento de los tratamientos de esta investigación son una muestra del impacto causado por las técnicas utilizadas por dichos productores en el cultivo del café. De acuerdo con Marín el 85% de los productores de café entrevistados por él implementan el sistema de manejo tradicional, o sea, sin medidas de conservación de suelo. Con base en lo anteriormente planteado y de acuerdo con los resultados de este estudio, existen indicios para aseverar que este sistema de cultivar café, podría ser una de los principales causas de los niveles de escorrentía y pérdida de suelo en la cuenca del Río Tuis.

Por último se puede decir que a pesar de las actividades realizadas (días de campo, cursos, charlas, programas radiales, etc.) el efecto demostrativo de las medidas implementadas en la finca "La Selva", fue bajo, de acuerdo a los resultados de las encuestas realizadas por Pérez (1990) y Marín (1991). Influyendo en ello factores culturales y socioeconómicos, además de la inexistencia de un sistema estructurado de extensión que incluya la adopción de técnicas de conservación de suelo como uno de sus componentes.

ROMERO DEL VALLE, E. G. 1991. Evaluation of soil conservation demonstrative practices in the "La Selva" farm, Rio Tuis watershed, Costa Rica.

**Key Words:** Hydrographic watershed, soil conservation, isoerosivity, runoff, plots, plant cover, nutrient loss, traditional coffee production system, demonstrative effect.

### Summary

Effect of hydric erosion in the Rio Tuis watershed are aided by the drastic change in land use and its inadequate management. In this sense, the protective forest in the high and middle zones (marginal areas with slope higher than 60%) has been substituted by pasture, sugar cane and coffee. This has increase runoff levels and soil loss, causing a reduction in its productive capacity. Coffee is grow in the direction of the high slope, with low density coverage and soil free of grass and stubble.

Eight runoff plot were established at the "La Selva" farm in La Suiza, Turrialba in 1987 to demonstrate the effect and control of these problems in a practical way and to study the erosion potencial of precipitation. Five of these plot have coffee, of which two show soil conservation measures (living barriers of *Cimnopogon citratus* and low grass coverage) and three are managed under a traditional system. Of the other three, one has overgrown brush, one has beans and the last one does not have vegetation cover (Wischmeier plot).

It was found that precipitation in the area is characterized by light rains (78% are less than 15 mm) of low intensity. It was also determined that the total amount of the rains and intensity in 15 minutes of these was more related to runoff ( $R^2$  over 0.60), with the logarithmic model

adjusting the best. In this sense Wischmeier's R factor calculated based on the intensity in 15 minutes explained the behavior of runoff water better than the classic R30, which was contrary to what was observed in other studies carried out in the area.

A greater effect on the reduction of runoff levels and soil loss was determined in the plots with soil conservation measures. In these plots there was a runoff of only 3,45% and 5,43% of precipitation (with slopes of 41% and 81%, respectively) and soil losses less than 11 kg/ha (during June, 1991). Generally speaking, levels of loss observed in treatments with coffee plants are low, even though they are produced by extreme events.

Surveys carried out by Perez (1990) and Marin (1991) with farmers in the area showed that evaluated plots presented similar use and management systems to those existing in the area. This indicates that the behavior of this study's treatments are a sample of the impact caused by techniques used by coffee producers. According to Marin (1991), 85% of the coffee producers that he surveyed use the traditional management system, namely without soil conservation measures. Based on this fact and according to the results of this study, we can assume that this coffee growing system could be one of the main causes for runoff and soil loss levels in the Rio Tuis watershed.

Lastly, it can be said that in spite of the activities carried out (field days, courses, lectures, radial programs, etc.) the demonstrative effect of measures implemented in the "La Selva" farm was low, according to results of surveys carried out by Perez (1990) and Marin (1991). Cultural and socioeconomical factors were influential as well as the inexistence of a structured extension program which includes

the adoption of soil conservation techniques as one of its components.



## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Cantidad de lluvia, intensidad y pérdidas.. de suelo Chinchiná, Colombia.....	14
Cuadro 2. Pérdidas de suelo con distintas frecuencias e intensidades.....	15
Cuadro 3. Volumen, índice de escorrentia y número de eventos totales por parcela en la finca "La Selva, La Suiza, C.R., 1987-1991.7.....	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la zona del estudio en la finca "La Selva", La Suiza, Costa Rica.....	36
Figura 2. Procedimiento metodológico de la investigación.	38
Figura 3. Relación entre el contenido de partículas granulométricas y la densidad aparente por parcela.....	52
Figura 4. Relación entre la pendiente y la densidad aparente por parcela.....	52
Figura 5. Relación entre la densidad aparente y la porosidad total por parcela.....	53
Figura 6. Relación entre la densidad aparente y la conductividad hidráulica por parcela.....	54
Figura 7. Curvas de retención de humedad del suelo para las parcelas 1, 2, 3, 4 y sus puntos intermedios.....	55
Figura 8. Curvas de retención de humedad del suelo para las parcelas 5, 6, 7 y los puntos 5-6 y 7A.....	55
Figura 9. Curvas de retención de humedad del suelo para la parcela 8 y los puntos 8A y 9A.....	55
Figura 10. Comparación entre el contenido de materia orgánica, pendiente y cobertura vegetal por parcela.....	56

Figura 11. Relación entre la pendiente y el contenido de materia orgánica por parcela.....	57
Figura 12. Relación entre el contenido de arcilla y materia orgánica por parcela.....	58
Figura 13. Relación entre la capacidad de intercambio catiónico y la pendiente por parcela.....	58
Figura 14. Relación entre el contenido de Ca y Mg cambiante y la pendiente por parcela.....	59
Figura 15. Relación entre el contenido de K y Na cambiante y la pendiente por parcela.....	60
Figura 16. Relación entre la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico por parcela	61
Figura 17. Relación entre el contenido de arcilla y la capacidad de intercambio catiónico por parcela	62
Figura 18. Precipitación promedio mensual para los años 1987-91 en finca "La Selva", La Suiza, C.R.	63
Figura 19. Distribución de la precipitación durante los años 1987-91 en finca "La Selva", La Suiza, C.R.	64
Figura 20. Valores promedio mensuales de la intensidad de la lluvia en 15 y 30 minutos para los años 1987-91.....	65
Figura 21. Valores mensuales de $R_{15}$ y $R_{30}$ para el periodo 1987-91 en finca "La Selva", La Suiza, C.R.	65
Figura 22. Porcentaje de la precipitación total que escurre por parcela, "La Selva", C.R. 1987-91.	67
Figura 23. Pérdida de suelo (Kg/ha) por parcela en la finca "La Selva", La Suiza, C.R. may-jun 1991	68
Figura 24. Pérdida de M.O.(Kg/ha) en el suelo erodado por parcela. Finca "La Selva", La Suiza, C.R. 1991	69
Figura 25. Pérdida de NPK (Kg/ha) en el suelo erodado por parcela. Finca "La Selva", La Suiza, C.R. 1991	70

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1A. Descripción del perfil 1.....	85
Anexo 2A. Descripción del perfil 2.....	86
Anexo 3A. Descripción del perfil 3.....	87

## CUADROS ANEXOS

Cuadro 1A. Resumen de las propiedades físicas evaluadas en la finca "La selva", La Suiza, C.R. 1991...	88
Cuadro 2A. Resumen de las propiedades químicas evaluadas en la finca "La selva", La Suiza, C.R. 1991...	89
Cuadro 3A. Evolución de las propiedades físicas y químicas para los suelos de la Finca La Selva en el periodo de 1987 a 1991, La Suiza, C.R.....	90
Cuadro 4A. Precipitación mensual y anual (mm) para los años 1987-91 en finca "La Selva", La Suiza, Costa Rica.....	91
Cuadro 5A. Distribución de los eventos agrupados de acuerdo a la lluvia precipitada durante los años 1987-91 en finca "La Selva", La Suiza, Costa Rica.....	91
Cuadro 6A. Total mensual de la energía cinética, R15 y R30 de la precipitación ocurrida en la Finca "La Selva" durante el periodo de 1987 a 1991, La Suiza, Costa Rica.....	92
Cuadro 7A. Promedio de las características de la precipitación ocurrida en la Finca "La Selva" durante el periodo de 1987 a 1991, La Suiza, C.R....	92
Cuadro 8A. Sedimento total, contenido de partículas y nutrientes por parcela en la finca "La Selva" La Suiza, C.R. Mayo 31-junio 2, 1991.....	93
Cuadro 9A. Sedimento promedio, contenido de partículas y nutrientes por parcela en la finca "La Selva" La Suiza, C.R. Mayo 31-junio 2, 1991.....	94

Cuadro 10A. Modelos de regresión simple con mejor ajuste para la relación de las características de las lluvias con la escorrentía y la pérdida de suelo por parcela. 1987-1991.....	95
--	----

**FIGURAS ANEXAS**

Figura 1A. Ubicación de las de escorrentía en la finca "La Selva", cuenca del Río Tuis, C.R.....	102
Figura 2A. Precipitación mensual para los años 1987-91 en la finca "La Selva", La Suiza, C.R.....	103
Figura 3A. Número de eventos que produjeron escorrentía por parcela en la finca "La Selva", La Suiza C.R. Años 1987-91.....	103
Figura 4A. Relación del factor $R_{15}$ con el TRI para la fracción arcilla en las parcelas 5, 6, 7 y 8 1991.....	104
Figura 5A. Relación del factor $R_{15}$ con el TRI para la fracción limo en las parcelas 5, 6, 7 y 8 1991.....	104
Figura 6A. Relación del factor $R_{15}$ con el TRI para la fracción arena en las parcelas 5, 6, 7 y 8 1991.....	104
Figura 7A. Relación entre la cobertura vegetal y el porcentaje de la lluvia que escurre, finca "La Selva", La Suiza, C.R. Años 1987-91.....	105
Figura 8A. Relación entre la cobertura vegetal y la pérdida de suelo en la finca "La Selva", La Suiza, C.R. Años 1987-91.....	105
Figura 9A. Relación entre el índice de escorrentía y la pérdida de suelo en la finca "La Selva", La Suiza, C.R. Años 1987-91.....	106

## 1 INTRODUCCION

### 1.1 Definición del problema

La zona atlántica de Costa Rica ubicada en el trópico húmedo, presenta niveles pluviométricos que por su duración frecuencia e intensidad son clasificadas como erosivas (Hudson, 1982); lo cual asociado al uso y manejo inadecuado de las tierras, la heterogéneidad de sus suelos y lo irregular de su relieve, producen pérdidas significativas de suelos, en su mayoría causada por la erosión hídrica (Gutiérrez, 1987).

También se destaca el hecho de que este país ha perdido un 50% de cobertura boscosa en un lapso de 17 años, producto de la tala indiscriminada para la recolección de leña y madera, la expansión de la ganadería y la frontera agrícola, en suelos de laderas y áreas montañosas sin vocación agropecuaria. Estos hechos unido a la falta general en aplicar técnicas adecuadas de manejo y conservación de tierras y aguas, son las principales causas de la degradación de los recursos naturales; esto se está acelerando en proporciones críticas en los últimos años (Leonard, 1986).

Según Leonard (1986), el perfil Fase II, Costa Rica presentaba en el año 1981 un 17% de su territorio con áreas altamente erosionadas o degradadas; este bajo porcentaje se debe a la alta cantidad de tierra no desarrollada o relativamente sin perturbar que se encuentra en la vertiente del Caribe, en donde se destaca como efecto principal la pérdida de fertilidad de los suelos y las inundaciones causadas por las altas tasas de escorrentía que se producen.

El distrito de "La Suiza" localizada en esta región, en la cuenca del Río Tuis (Cuenca del Reventazón), es afectada

por el impacto de la erosión hídrica, debido en gran parte al establecimiento de los cultivos del café y la caña de azúcar en terrenos marginales con pendientes superiores al 60%. Además, no se consideran prácticas agronómicas, culturales o mecánicas en proporciones y condiciones adecuadas para proteger el suelo. Pero tampoco se conocen todos los efectos detallados de estas prácticas en el control de las pérdidas del mismo.

Con el propósito de demostrar en forma práctica el efecto y control de estos problemas, en el año 1987 se establecieron 8 parcelas de escorrentía para caracterizar la erosión hídrica y conocer el efecto de algunas medidas y prácticas conservacionistas en cultivo de café, para el control de la erosión y la escorrentía, en la finca experimental "La Selva" en dicho poblado.

Después de cuatro años, se generó información, calificándose su confiabilidad y evaluandolas desde el punto de vista agronómico y socioeconómico, con el propósito de analizar su compatibilidad con las necesidades de los caficultores, con miras a fomentar el desarrollo de una agricultura sostenible en la zona.

## 1.2 Importancia y justificación del estudio

La cuenca del río Tuis ha sido sometida en las última décadas a un cambio drástico en el uso de la tierra. El bosque de protección de la parte alta de la cuenca ha sido sustituido por pasto, caña de azúcar y café, cuyo efectos son evidentes en el incremento de los niveles de escorrentía y erosión en la zona, no solo producto de dicho cambio, sino también por el manejo inadecuado de la misma. En el caso del café, este es sembrado en el sentido de la máxima pendiente a una baja densidad y manteniendo el suelo limpio de hierbas y rastrojos.

El estudio de los efectos de la erosión, tomando en cuenta el uso y manejo los suelos de la zona, permite definir cuál sistema es más erosivo y cuales de los componente de su forma de producción es el que más influye. Esto fue factible por el nivel de similitud presentado entre el experimento y la cultura agronómica de la zona, además de las circunstancias de su manejo.

Además, este estudio se justifica, por la necesidad de dar respuesta a una serie de problemáticas pasadas, presentes y futuras, como son :

- Las inundaciones ocurridas en La Suiza en la década de los 70's.
- Los efectos de la baja productividad del café en el nivel y calidad de vida de los habitantes de la zona.
- El impacto de los sedimentos arrastrados al Río Reventazón, sobre el cual se construirá en el futuro cercano el embalse de Angostura.

También, se consideró necesario conocer el nivel de percepción que tiene el agricultor sobre la degradación de sus suelos; cuales medio conoce y usa para enfrentarla, como lo conoció, quién y como lo apoya en su implementación. Esto nos permitió conocer el nivel de las acciones conservacionistas de las instituciones responsables de la extensión en la cuenca del río Tuis, y el efecto en este sentido de la interacción de agricultores y organismos no gubernamentales.

### 1.3 Objetivos

#### Generales

Evaluar las medidas demostrativas de conservación de suelos establecidas en la finca experimental "La selva", para identificar alternativas adecuadas en el control de la erosión hídrica en el cultivo del café, en la cuenca del río Tuis.

#### Específicos

- a) Realizar un análisis comparativo del efecto de la erosión hídrica en parcelas implementadas con diferentes manejo de cobertura asociadas con prácticas de conservación de suelos.
- b) Contribuir con la determinación de opciones de manejo apropiadas para controlar la pérdida de suelo por erosión hídrica en el cultivo del café.
- c) Identificar el efecto demostrativo de las medidas de conservación de suelos apropiadas en el control de la erosión hídrica en el cultivo del café en la zona.

### 1.4 Hipótesis

- a) Los efectos de la erosión hídrica son menores en las parcelas con mayor densidad de cobertura.
- b) Los niveles de erosión hídrica son menores en parcelas que presentan cobertura asociada con prácticas de conservación de suelos.
- c) A pesar de actividades de promoción implementadas en la finca "La Selva" sin un programa estructurado de difusión y



extensión de las medidas demostrativas de conservación de suelos, los agricultores locales no ejecutaron estas medidas para enfrentar la acción de la erosión hídrica.

## 2. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Situación de los recursos naturales en Costa Rica.

Costa Rica posee una extensión de 50,600 km<sup>2</sup>, de las cuales solo 2,830 km<sup>2</sup> son consideradas arables y el 73% corresponden a tierras altas de laderas; pero de estas solo 50% son suelos buenos profundos, 21% son profundos malos y 29% son superficiales (Leonard, 1986).

Budowski, citado por Gutiérrez (1987), plantea que con el incremento de la población, la limitada disponibilidad de nuevas áreas de colonización con vocación agrícola y la falta de planificación en la distribución y en el uso de la tierra, se ha propiciado la invasión de colonos hacia ambientes montañosos poco aptos para la agricultura, por lo agresivo de las lluvias y por las características fisiográficas antes citadas.

Olaya (1985), reporta que existe un sobreuso de la tierra en más del 50% de la superficie nacional, especialmente en las zonas superiores y medias de las principales cuencas. Esta situación aumenta los riesgos de erosión, probabilidades de inundación, sobredimentación de embalses, decrecimiento de los rendimientos y aumentos de los costos de producción agrícola dado la necesidad creciente del uso de mayores cantidades de fertilizantes.

La sobreutilización del suelo se presenta en el 9% del territorio nacional y se manifiesta como uso de suelos de capacidad para pastos, forestales y protección para fines agrícolas, o bien suelos con capacidad forestal o protección en uso ganadero.

Otros estudios reportan, que cerca de un 7% del territorio está formado por tierras inaprovechadas a causa

de la acelerada erosión, mientras un 24,5%, es tierra agrícola y un 25% son montes, 55% sitios y tierras cultivables y el 30% restante está constituido por serranías improductivas o altamente erosionadas a causa de la tremenda deforestación a la cual han sido sometidas no teniendo ninguna aptitud agrícola o ganadera (Sáenz, 1984). Puede concluirse que una gran parte de las tierras bajo cultivos se encuentran en secciones montañosas y con gradientes entre el 8% al 85%. Esto unido al régimen pluviométrico intenso y a prácticas agrícolas inadecuadas (el monocultivo, las quemas, las roza y la deforestación), favorecen el proceso erosivo.

Un cálculo conservador estima pérdidas de suelo entre 20 y 50 toneladas anuales por hectárea en las principales regiones agrícolas del país con pendientes del 5 al 30%, sin tomarse en cuenta las áreas destinadas a la explotación pecuaria. Esto se traduciría en la degradación total de tales suelos después de unos 25 años de explotación intensiva con cultivos como el maíz, tabaco, papas, cafeto, etc; que debido al inadecuado manejo se pueden considerar conductivos a la erosión (Sáenz, 1974).

Un cálculo provisional de pérdidas por erosión hídrica y no comprendiendo la erosión total de la masa de suelo por desgaste masivo, revela que un 58% de todos los suelos de Costa Rica no muestran erosión de ligera a moderada. El 14% está severamente erosionada y alrededor del 3% son suelos que están prácticamente con una severa degradación. Además se concluye que la tierra rural actual, (60% del país) casi toda la que está en regiones montañosas está erosionada hasta cierto punto y mucha de esta erosión ha ocurrido en los últimos 40 años. (Costa Rica, 1985).

Se considera que los suelos más erosionados y las áreas con patrones de pluviosidad más erosivos se localizan en la

Vertiente Pacífica que ocupa un 35% y donde se encuentra la erosión más grande y extendida. Casi el 30% de ésta área está severa o extremadamente erosionada en contraste la Vertiente Atlántica tiene valores del 5% y 8% respectivamente (Costa Rica, 1985).

Estimaciones revelan pérdidas totales de 680 millones de toneladas de suelo en el año 1981, y en más de 725 millones de toneladas en 1983, tomando en cuenta el presente desarrollo agropecuario.

Un 84% de la pérdida, es decir 600 millones de toneladas, se estima que proceden de los 20,500 km<sup>2</sup> de pastoreo del año 1983, una gran parte de los cuales se ubican en tierras de accidentadas a empinadas. (Costa Rica, 1985).

Las acciones de conservación de suelos en Costa Rica (ejecución de prácticas), se iniciaron en 1984 por parte del Proyecto CORENA en la cuenca del Río Nozara y Río Parrita. En la actualidad en esta última cuenca se continúa trabajando bajo coordinación de la Comunidad Económica Europea, para un acumulado a la fecha de 585 has. Por otra parte, desde 1985 el gobierno de Italia a través de la FAO, ha brindado su apoyo a Costa Rica para la implementación del Servicio de Conservación de Suelos y Aguas dentro del Ministerio de Agricultura y Ganadería, mediante el desarrollo de un proyecto. Este se ha involucrado en la ejecución de un total de 400 has, en diferentes regiones del país. Desafortunadamente, no todas han tenido el éxito deseado, ni han cumplido su objetivo. Dado que en algunas áreas no se ha logrado conseguir ni siquiera la adopción de las técnicas, pues los agricultores una vez que los técnicos dejan sus fincas han destruido las obras; tal es el caso de la zona norte de la provincia de Cartago (Cipreses de Oreamuno, Tierra Blanca). Este fenómeno es bastante grave,

pues demuestra que en la forma que se está llevando a cabo la transferencia de las técnicas no se ha logrado el impacto deseado en estas comunidades. También no se generó una actitud de cambio, ya sea por escasa información, por la falta de participación del agricultor en el planeamiento e implementación de las obras o bien, por contrastes culturales.

Circunstancias como las anteriores y otras, tales como escogencia poco acertada del tipo de prácticas, deficiencias en las técnicas de construcción, mal manejo de las prácticas, desconocimiento de técnicas adecuadas de labranza por parte de agricultores y operarios de maquinaria agrícola, etc; pueden contribuir a agravar el problema de la erosión.

He aquí la importancia de establecer (en una primera fase) la efectividad técnica, económica y social de la conservación de suelos. Cuantificar hasta donde sea posible la efectividad, pues se reconoce las limitantes sobre cierta información técnica en el país.

Después de muchos años, la experiencia ha demostrado que la tecnología conservacionista es una condición necesaria pero insuficiente para resolver el problema de la erosión del suelo y sus consecuencias y que éste es un problema social. Esta es una de las más fuerte razones que justifica la evaluación de las experiencias locales en conservación de suelo como parte integral de planes de manejo de cuencas.

La estrategia conservacionista consiste en demostrar que las prácticas generan aumento de la producción e inherentemente su sostenibilidad. Sobre la base de experiencias investigadas en las condiciones biofísicas y socioeconómica locales se puede desarrollar la evaluación técnica de las prácticas, especialmente en nuestros países

con poco conocimiento, experiencia y tradición conservacionista; donde la falta de datos es una de las limitantes más fuertes. (Faustino, 1988).

## 2.2 Antecedentes del estudio de la erosión hídrica en la cuenca del Río Tuis

La cuenca del Río Tuis ha sido una de las más estudiada en el país, en donde investigadores como Apolo, Bermúdez y Faustino han instalado parcelas de escorrentía para analizar factores del medio relacionados a la erosión hídrica.

Bermúdez (1980), estudió la erosión hídrica y la escorrentía superficial en cafetales sin sombra, cultivados en suelos de la serie colorado (Typic distrandept) con 30% de pendiente; además evaluó la influencia de dos especies forestales sobre estos procesos, y su relación con las características de los aguaceros. Considera el método de las parcelas de escurrrimiento como el más práctico, confiable y útil para estimar la magnitud de la erosión.

Como resultados del experimento encontró diferencias significativas para las características densidad aparente y contenido de limo mediante la prueba Duncan. Además, concluyó que los sistemas agroforestales analizados (Poró y Laurel), reducian la pérdida de suelo en 70%-85% con respecto al cafetal sin sombra y con baja densidad de siembra (2,500 ptas./ha), por lo que las considera como efectivas prácticas de conservación de suelos.

El volumen de escorrentía superficial y la erosión se correlacionaron mejor con la cantidad de agua producida por aguacero que con el índice de erosividad de la lluvia (EI30). El promedio de escorrentía fué igual al 1,6% de la lluvia y la pérdida de suelos cuantificada para 6 meses fué de 176 Kg/ha.

Para Turrialba se reportan otros trabajos relacionados con la evaluación de la escorrentía y la erosión. Rocha (1977), determinó valores de escorrentía de 1,6% de la lluvia y 172 Kg/ha/año de suelo erodado en cultivos limpios, con suelos de buena permeabilidad y 40% de pendiente.

Mientras, Apolo (1980), reporta un valor promedio de escorrentía considerado alto (7,42% de la precipitación) comparado con los obtenidos por los otros autores citados para la región de Turrialba, a pesar que el año de experimentación (1979) fué muy seco en La Suiza. Considera la capacidad de infiltración y la retención de humedad como factores determinantes en el proceso de escorrentía para las condiciones experimentales; además considera que la pérdida de sedimentos es baja (1,900 kg/ha/año), a pesar de mostrar una estrecha relación con la escorrentía superficial. Atribuye el efecto a una buena cobertura vegetal de gramíneas y no al efecto de árboles aislados. Determinó que la característica de la lluvia que más se relaciona con la escorrentía es la cantidad total independientemente de su intensidad, coincidiendo con los demás autores en la zona.

En 1987, en la finca La Selva, habilitada por convenio del CATIE/NEW MEXICO STATE UNIVERSITY se establecieron 8 parcelas de escorrentía con el objetivo básico de demostrar y obtener información del efecto de medidas de conservación sobre la pérdida de suelo y analizar el régimen de escorrentía de la zona, involucrando diferentes coberturas vegetales, pero enfatizando en café asociado con prácticas de conservación de suelos. También se buscó determinar y caracterizar preliminarmente los efectos asociados al comportamiento de las lluvias causantes de los mayores problemas de erosión y escorrentía (Faustino, 1987).

### 2.3 La erosión hídrica

La erosión hídrica es un proceso físico, definido como el desprendimiento y arrastre de partículas de suelo por la acción del agua. Las gotas de lluvia desprenden el suelo y el agua de escorrentía es la responsable de realizar el transporte y la sedimentación (Hudson, 1981; Paulet, 1974).

Este tipo de erosión puede presentarse en forma laminar, en surcos y cárcavas. La erosión laminar es la menos evidente y a veces la más dañina, al lavar el suelo más fértil y que contiene los fertilizantes que se aplican en los cultivos (FAO, 1967).

De acuerdo con Sánchez, mencionado por Asturias (1986), la mecánica del proceso de erosión hídrica consta de tres etapas:

- a) Desprendimiento de las partículas del suelo por parte de la acción del impacto de las gotas de lluvia en la superficie del suelo, el cual mantiene en suspensión las partículas finas y en rodamiento las partículas gruesas. En esta etapa tiene importancia la cubierta vegetal, ya que los suelos desnudos son susceptibles al desprendimiento.
- b) El arrastre de partículas sucede cuando el agua no se filtra en el suelo y se produce el escurrimiento superficial. La capacidad erosiva de éste último está determinada por la cantidad, intensidad y distribución de las gotas de lluvia.
- c) La deposición o sedimentación ocurre cuando la velocidad del flujo disminuye y las partículas en suspensión se sedimentan en la superficie del suelo.



## **2.4 Factores que originan la erosión hídrica**

Los principales factores relacionados con la erosión hídrica son la precipitación, cobertura vegetal suelo y topografía. Dourojeanni y Paulet (1976) clasifican estos factores de acuerdo a su acción en activos (la precipitación) y pasivos (cobertura vegetal, suelo y topografía).

### **2.4.1 La precipitación**

La lluvia como factor activo es la fuente de energía en el proceso de la erosión hídrica, cuyo poder erosivo viene dado por una combinación de sus características como son : la cantidad, frecuencia, tamaño y distribución de las gotas, intensidad, velocidad terminal y energía.

#### **2.4.1.1 Cantidad total de lluvia**

La relación entre la pérdida de suelo y la cantidad de agua precipitada parece obvia. Sin embargo, en diversos estudios se ha observado una relación pobre (Wischmeier y Smith, 1959).

Suárez de Castro (1980) encontró que las llluvias, aún cuando las cantidades totales son similares, pueden causar pérdidas de suelo muy diferentes (cuadro 1). Señala además, que en Colombia para un período de ocho años, el 9,9% de las lluvias causaron el 88,7% de las pérdidas de suelo.

Hudson (1981), presenta cinco años de registro en donde observó que cuando las cantidades totales son similares, pueden causar tasas de erosión y escorrentía muy diferentes.

Por otro lado Sreenivas y colaboradores (1947), citados por Mendieta (1983), al tratar de explicar la pérdida de suelo encontraron que la escorrentía superficial se

incrementa con la cantidad total de lluvia, especialmente después de alcanzar el punto de saturación, logrando así un coeficiente de correlación significativo.

**Cuadro 1. Cantidad de lluvia, intensidad y pérdidas de suelo Chinchiná, Colombia.**

Precipitación (mm)	Intensidad máx. en 5 min (mm)	Escurrentía (mm)	erosión (ton/ha)
20,5	7,9	6,8	7,35
21,4	5,0	11,1	1,74
18,0	4,5	7,8	1,06
21,8	2,2	4,5	0,47
20,0	1,9	0,8	0,12

Fuente :Suárez de Castro, 1980

Aunque la cantidad total de lluvia no explica satisfactoriamente la pérdida de suelo, se ha observado que cuando la precipitación se combina con un nivel crítico de intensidad, ambos llegan a ser los parametros más prácticos para calcular el nivel de erosión (Elwell y Stocking, 1975).

#### 2.4.1.2 Frecuencia de las lluvias

La humedad del suelo, tiene una estrecha relación con la frecuencia de las lluvias y su capacidad para permitir la infiltración (Fournier, 1975).

Suárez de Castro y Rodríguez (1962), plantean que si los intervalos entre dos lluvias son cortos el contenido de humedad del suelo al comenzar el segundo evento es alto, aumentandose la posibilidad de escurrentía aún con lluvias de

baja intensidad. Este efecto se ilustra muy bien en el cuadro 2.

**Cuadro 2. Pérdidas de suelo con distintas frecuencias e intensidades de precipitación.**

Fechas		Precipitación (mm)	intensidad en 5 min	Erosión (ton/ha)
1er evento	2do evento			
3/8	20/8	17,8	3,0	0,002
20/10	22/10	12,6	2,2	0,395

Fuente :Suárez de Castro, 1980

Luego de 17 días sin precipitación, la lluvia del 20 de agosto produjo muy poca erosión si se compara con la lluvia del 22 de octubre, donde la lluvia anterior ocurrió dos días antes. Roose (1975) trabajando en Africa, observó que después de 10 días, una lluvia no tiene influencia sobre la erosión.

#### 2.4.1.3 Intensidad de la lluvia

En la India, Bathia y Singh (1976) observaron que las lluvias de alta intensidad y mayor duración han producido la mayor cantidad de erosión en comparación con lluvias ligeras. También se ha observado que las lluvias responsables del mayor porcentaje de erosión en los trópicos húmedos generalmente están representadas por un grupo de 10 a 20 lluvias al año.

Los intervalos de tiempo utilizados para medir la intensidad máxima están muy relacionados con la escorrentía y la erosión. Estudios realizados en los Estados Unidos,

demuestran que la intensidad máxima en 30 minutos ha sido el intervalo mejor correlacionado con la pérdida de suelo (Smith, 1978).

Por otro lado estudios realizados en Adiopodumé, Africa, muestran que el coeficiente de correlación aumenta con una disminución de la duración del intervalo en que se mide la intensidad. Se observó que las intensidades máximas en 20 minutos ofrecen la mejor correlación con la erosión, mientras que para la escorrentía, la mejor correlación se da para la intensidad máxima en 10 minutos (Roose, 1976).

Además la intensidad está muy relacionada con el tamaño, distribución y velocidad terminal de las gotas de lluvia, debido a que la velocidad de caída de estas depende de su masa y la distancia recorrida, lo cual influirá de forma directa en su poder físico de dispersión de las partículas (Lal, 1977).

#### 2.4.1.4 Energía cinética

Wischmeier y Smith (1959), obtuvieron una alta correlación entre la intensidad de la lluvia y su energía. Para ello fue necesario conocer el tamaño de las gotas y su velocidad terminal, ya que la energía cinética, al momento del choque de la gota al suelo, es igual a la mitad de la masa por su velocidad terminal elevada al cuadrado, o sea:  $E_c = 1/2MV^2$ .

Se expresó la energía cinética (EC) en función de la intensidad (I) por medio de la siguiente ecuación:

$$E_c = 1,214 + 0,887 \log_{10} I \dots(1)$$

donde :

$E_c$  = energía cinética expresada en  $Kgm/m^2/mm$ .

I = intensidad en mm/h.

Se efectúa luego el producto del valor de la ecuación (1) con la cantidad de mm de agua en cada período considerado del registro. La suma de estos productos representa el valor de la energía cinética total de la lluvia.

#### 2.4.2 El suelo

El suelo es un recurso natural renovable, que está sujeto a procesos destructivos debido a la erosión, la que provoca un desequilibrio entre la tasa de formación y la pérdida de suelo, Hernández (1986), citado por Gutiérrez (1987).

La vulnerabilidad o susceptibilidad de un suelo a la erosión es definida como erodabilidad. Algunos suelos se erosionan más que otro de acuerdo con esta característica y por ende a los factores que influyen en esta, como son en primer lugar las propiedades físicas del mismo y en segundo lugar, el manejo a que se le haya sometido. Entonces desde el punto de vista de su control, interesan aquellas propiedades que incrementan su capacidad de infiltración, ya que serán importantes para reducir la escorrentía, además de aquellas que aumentan la resistencia a su dispersión y transporte para que ésta sea mínima (kirkby y Morgan, 1984).

#### 2.4.3 La cobertura vegetal

Morrón (1967), plantea que la interacción entre la lluvia y el suelo como forma para explicar la erosión es modificada en gran medida por la presencia de una cubierta vegetal. La vegetación puede influir o modificar algunas características de las lluvias afectando su agresividad, así como su efecto sobre la superficie del suelo reduciendo su susceptibilidad a la degradación hídrica.

Wood citado por Wilkinson (1976), encontró en Hawaii que los suelos cubiertos por vegetación boscosa presentaban menos escorrentía que los pastizales y suelos cultivados. Además observó que los resultados estaban relacionados con algunas características físicas del suelo. Los bosques presentaban suelos de menor densidad y el tamaño de los agregados y la porosidad de la superficie eran mayores que en pastizales y suelos cultivados; además Ehlers (1975), ha observado que en terrenos no cultivados la permeabilidad del suelo es aumentada por los canales construidos por las lombrices de tierra.

La cobertura afecta la humedad del suelo de acuerdo con el tipo de vegetación que esté presente. Hibbert (1971), explica que la infiltración de un suelo de vegetación arbustiva o pastizal, se ve afectada por la diferencia de agua transpirada. Cita a Law, indicando que los pastos transpiran menos agua que los árboles y los arbustos.

En otro sentido, numerosos estudios realizados por Suárez de Castro (1952) en Colombia, establecen la relación entre la precipitación, la escorrentía y la erosión en cafetales con y sin sombra. Según Uribe (1966), el sombrío en los cafetales contribuye notablemente a reducir la pérdida de suelos en un 44% y concluye que en cafetales sin sombra deben usarse prácticas de conservación de suelo.

En algunos casos, el poder erosivo de las lluvias se ha visto afectado por el bosque, debiéndose este incremento al aumento del tamaño de las gotas de agua sobre las hojas de árboles altos y con poca protección. En ese sentido, según Suarez de Castro (1952) y corroborado por Bermúdez (1980), aparentemente, la protección que brindan los árboles de sombra se debe principalmente al mantillo de hojas que se

acumulan en el suelo y no al efecto directo de las copas de árboles.

También Sancho (1991), en Alajuela, estudió el efecto de la erosión en parcelas de café con diferentes manejo de cobertura y encontró las menores pérdidas de suelo (menos de 10 ton/ha) en el tratamiento en donde se chapieron las malezas y se dejaron en la superficie y en el que fue utilizada una leguminosa forajera (*Arachis pintoii*), en comparación de los valores altos de erosión y escorrentía detectados cuando se aplica herbicida y se raspa el suelo; siendo estas dos últimas las más difundidas en Costa Rica.

Rocha (1980), utilizando parcelas de escurrimiento, determinó la magnitud de las pérdidas de suelo en terrenos de 40-60% de pendiente y concluyó que la cobertura vegetal fue factor muy importante en la tasa de pérdidas de suelos.

#### 2.4.4 La topografía

La topografía condiciona la pendiente tanto en su inclinación como en su longitud. De estas depende el tamaño y la cantidad del material que el agua puede arrastrar o llevar en suspensión. Al aumentar la pendiente se incrementa el flujo del agua en la superficie del suelo, reduciéndose el tiempo de exposición a la infiltración; lo cual asociado a un incremento del volumen le da un mayor poder erosivo (Suárez de Castro, 1980).

Zingg, mencionado por Hernández (1980), por medio de parcelas en condiciones similares de campo y de precipitación pluvial, relacionó la pérdida de suelo con el grado de inclinación y con la longitud de la pendiente, demostrando que al duplicar el grado de pendiente aumentaba la pérdida de suelo de 2,6 a 2,8 veces y duplicando la longitud horizontal

de la pendiente aumentaba su cantidad arrastrado por escurrimiento en 3,03 veces.

#### **2.4.5 La actividad humana**

La deforestación, las quemas, la agricultura en terrenos inclinados, los sistemas inadecuados de cultivo, la construcción inadecuada de caminos y el sobrepastoreo se consideran entre las principales actividades humanas que favorecen la erosión acelerada (Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café, 1976).

Al mismo tiempo, el hombre puede actuar sobre los llamados factores pasivos como el suelo, la cobertura vegetal y la topografía, controlando y minimizando la energía desarrolladas por las gotas de lluvia y reduciendo el movimiento del agua para disminuir la erosión. Para esto posee una serie de alternativas entre las cuales debe escoger para explicar la que sea más eficaz (Gutiérrez, 1987).

Según Lal (1977), las prácticas de manejo de suelos para conservación se basan en dos aspectos fundamentales: mantener una tasa de infiltración elevada y conducir el agua de escorrentía de una manera segura de forma tal que minimizen la erosión.

#### **2.5 Consecuencias de la erosión hídrica**

Entre las consecuencias inmediatas de la erosión se tiene la remoción del suelo con el consiguiente descenso en su fertilidad, motivado por la pérdida de nutrientes o el recubrimiento de la superficie del terreno con material menos productivo (Mendieta, 1983). Lógicamente el efecto es dependiente de las características propias de cada suelo. En ese sentido, si analizamos el impacto en la capacidad productiva de un suelo superficial de Puriscal, al perder 10



cm de profundidad y lo comparamos con la zona norte de Cartago, para un suelo de más de 2 metros de profundidad, nos encontraremos con un resultado totalmente diferente.

La escorrentía y la erosión son responsable no solo de la sedimentación de embalses y lagos, inundación en zonas pobladas y de producción, sino también del transporte de sustancias químicas, como son las propias del suelo y las aplicadas artificialmente. Esto afecta la calidad de la agua, por la concentración de estas sustancias, las cuales además inducen un aumento de la flora acuática, aumento el consumo de oxígeno y afectando el desarrollo de la macrofauna, entre otros.

## 2.6 Cuantificación de la erosión hídrica

Existen diversas formas de estimar la magnitud de la erosión, desde la utilización de métodos indirectos como la técnica de teledetección aérea, imágenes multiespectrales de satélites, imágenes de radar, térmicos, etc.; modelos de predicción como la EUPS elaborada por Wischmeier y colaboradores; el Celsium-137 y el modelo EPIC, entre otros.

Además se han implementados métodos directos que han servido como base para la formulación de los modelos matemáticos. Entre los más utilizados se encuentran los transectos en cárcavas, clavos en rondalas, corcholata de botellas, y las parcelas de escurrimiento, que además permiten estudiar la erosión con simuladores de lluvias. Se considera el último como el método más práctico, confiable y útil porque es donde se trata de simular las condiciones naturales al máximo; también por sus fines diversos, es decir, además de la investigación de la degradación del suelo son utilizadas con fines demostrativos y enseñanza.

Este método consiste en confinar un área determinada de terreno, de manera que se pueda medir la escorrentía superficial y la erosión mediante un sistema colector que conduce las aguas de escorrentía a tanques de sedimentos (Rocha, 1977; FAO, 1978; Bermúdez, 1980 y Mora, 1987).

## 2.7 Índices de erosividad de las lluvias

Existen una gama de índices que miden la agresividad de las lluvias y que en el transcurso de los años han sido perfeccionados y adaptados a las condiciones de diversos países. Ellison (1944) fue uno de los primeros que intentó relacionar la pérdida de suelo con algunas características de la lluvia. Por su parte Wischmeier y Smith en 1959 presentaron un índice de erosividad, llamado factor R basado en la relación directa entre la energía cinética y la intensidad de la lluvia y lo obtenían de acuerdo a la siguiente expresión:

$$EI_{30} \text{ o } R = E_c * I_{30}$$

Donde,

$E_c$  = energía cinética total de la lluvia en kilogramo metros por metros cuadrados ( $Kgm/m^2$ ).

$I_{30}$  = máxima intensidad en 30 minutos en milímetros por hora (mm/hr).

Por su parte Fournier (1975), trabajando en Francia, presentó su índice  $C = p^2/P$ ; que establece una correlación entre la erosividad de las lluvias y la cantidad de lluvia precipitada. También Hudson (1981), llevó a cabo estudios sobre la erosión en suelos de Africa Tropical y subtropical, observando que la pérdida de suelo está estrechamente relacionada con la energía cinética de las lluvias con intensidades mayores de 25 mm/hr; llamando este parámetro como el índice  $KE > 25$ . Mientras Lal (1977), en Ibadan Nigeria informó una alta correlación entre las pérdidas de suelo

anual y el producto de la cantidad total de lluvias con la intensidad máxima en 30 minutos, por medio del índice **AIm**.

Singh y colaboradores (1976), mediante estudios comparativos en el Centro de Vasasd en la India, encontraron que el comportamiento de los índices del  $KE > 25$  y  $EI_{30}$  fueron similares en la producción de las pérdidas de suelo. Otros autores como Amézquita y Forsythe (1975), Rocha (1977) y Bermúdez (1980) reportan para Costa Rica que el índice que mejor se correlacionó con las pérdidas de suelo fue el  $EI_{30}$ .

## 2.8 Relación de las propiedades físicas del suelo con la escorrentía y la erosión

### 2.8.1 La Textura

La textura del suelo está relacionada con el tamaño de las partículas minerales. Específicamente se refiere a la proporción relativa del tamaño de varios grupos de partículas de un suelo. Esta propiedad ayuda a determinar no sólo la facilidad de abastecimiento de nutrientes, sino también agua y aire, tan importantes para la vida de las plantas (Gavande, 1972).

La velocidad con que el agua penetra en el suelo se ve afectado por la textura de éste. Los suelos arenosos presentan una mayor facilidad de infiltración que los arcillosos; esto se relaciona con su porosidad no capilar (Lugo, 1963 y Gilmour, 1968). En este sentido se ha indicado que los suelos con alto contenido de arcillas presentan poco drenaje (Bhola, Singh y Dayal, 1969).

Según Suárez de Castro (1979), los suelos arenosos presentan grandes espacios y durante las lluvias leves pueden absorber toda el agua, sin que se origine escorrentía;

contrario a lo ocurrido en los suelos arcillosos debido a que estos presentan una mayor proporción de microsporos y a partir de lluvias de moderada intensidad, gran parte del agua no penetra y se presenta la escorrentía superficial.

Gavande (1976), plantea que la condición de humedad del suelo se incrementa con su capacidad de retención de agua y ésta a su vez, se ve afectada por el tamaño de los poros del suelo. Por lo general se observa que los suelos de textura gruesa tienen baja capacidad de retención de humedad, mientras que los suelos arcillosos presentan una gran capacidad de retención de la misma.

La disgregación y el transporte de partículas de los suelos están relacionados con la textura del suelo (Lugo, 1963 y Singh y Verma, 1975). En este sentido, Ellison (1947) señala que un suelo fácilmente disgregable y transportable es altamente erosionable. La disgregación aumenta al aumentar el tamaño de las partículas del suelo, mientras que la transportabilidad aumenta al disminuir el tamaño de las mismas. Así tenemos que las arcillas son poco disgregables pero fácilmente transportables, contrario a las arenas que son fácilmente disgregables, pero difíciles de transportar de acuerdo con Ellison (1947) y corroborado por FAO (1967).

Además del tamaño de las partículas, su origen también influye sobre la tasa de escorrentía y erosión. Ahmad y Breckner (1974), en Tobago, encontraron diferencias en las respuestas cuando medían escorrentía y erosión para suelos de diferente material parental. El-Swafy (1977), realizó estudios de escorrentía y erosión con 10 familias de suelo en Hawaii y encontró que aún dentro de un mismo orden hay variaciones en cuanto a la erodabilidad del suelo.

### 2.8.2 La estructura

La estructura del suelo es una propiedad física que influye como factor ecológico en el crecimiento de la planta, en la consistencia del suelo para amortiguar los efectos inherentes a la actividad humana y es fundamental en la resistencia de las partículas del suelo a disgregarse por el impacto de las gotas de lluvias (Popenoe, 1960).

Este término define el grado de agregación o arreglo de las partículas del suelo, entendiéndose como partículas a los elementos simples resultantes de una separación mecánica (arenas, limo y arcilla). Siendo la agregación el proceso mediante el cual se producen distintas estructuras en los suelos. Entre los factores que influyen en el proceso de agregación del suelo están: la textura, la materia orgánica, penetración, actividad y descomposición de las raíces, la actividad de los organismos y los cationes adsorbidos por las partículas del suelo (Ca, Mg, Fe, etc.) (Brady, 1974).

La estructura del suelo es importante en la erosión y escorrentía ya que influye sobre la tasa de infiltración, la resistencia de las partículas a disgregarse por el impacto de las gotas de lluvia y sobre la remoción de la superficie del mismo.

Los suelos de estructura granular presentan una mayor capacidad de infiltración que los suelos con estructura de placas y esto se debe al tipo de espacios porosos que presentan según Gavande, (1976), Greenland, (1977) y Villamil, (1979). Por otro lado, al deshacerse los agregados de la superficie del suelo se obturan los poros, lo cual disminuye en gran medida la capacidad de infiltración del del suelo (FAO, 1967).

### 2.8.3 Densidad aparente

La densidad aparente es la propiedad física del suelo más relacionada con la macroporosidad, microporosidad y la conductividad hidráulica. Esta para un suelo dado podría aumentar si el volumen de macroporos disminuye. Una disminución de los macroporos normalmente reduce la conductividad Hidráulica, disminuye la tasa de infiltración, de percolación e intercambio de oxígeno y dificulta la elongación y expansión de las raíces (Hill y Summer, 1967).

La tala de los bosques y el uso intensivo de los cultivos causan deterioro en las propiedades físicas del suelo. En suelos volcánicos de Guatemala Poppenoe (1960), encontró que la densidad aparente aumentó de 0,56 a 0,66 g cm<sup>-3</sup> a una profundidad de 5 a 10 cm, después que el bosque fue talado; este aumento de la densidad aparente disminuyó una vez que el bosque se regeneró en un período de 3 a 5 años. En suelos franco arcillosos de los Andes de Venezuela, Watters y Bascones (1971), reportaron que la densidad aparente aumentó de 1,08 a 1,14 g cm<sup>-3</sup> como consecuencia de la tumba y quema del bosque.

Estribí (1984), reportó diferencias significativas al 1% de probabilidad en la densidad aparente del horizonte superficial de un Andeptic Tropohumults, para bosque, charral y pasto (0,56, 0,69 y 0,64 g cm<sup>-3</sup> respectivamente), en un experimento establecido en Turrialba.

### 2.8.4 Porosidad

La porosidad es el porcentaje de espacio poroso que existe en un suelo, o sea, la proporción de suelo que está ocupada por aire y/o agua, la cual está determinada por la distribución y arreglo de las partículas del suelo. Por lo tanto, la porosidad se puede calcular conociendo la densidad

real o de las partículas sólidas del suelo y la densidad aparente, que considera también el espacio de poros. Estos pueden ser de tres tipos:

- **macroporos**, donde es mayor la gravedad que las fuerzas de retención de sus paredes, dando lugar a la percolación o pérdida de agua por gravedad a lo profundo del perfil del suelo.
- **mesoporos**, que es donde se encuentra la mayor cantidad de agua disponible.
- **microporos**, donde el agua es retenida con tal fuerza que las plantas no pueden absorverla.

La velocidad del movimiento del agua y del aire a través del suelo está determinada en gran medida, por el tamaño, distribución e interconexión de los poros. Los macroporos facilitan una rápida percolación del agua y el movimiento de aire, en tanto que los microporos dificultan el movimiento del aire y retienen gran cantidad de agua por capilaridad.

Luna (1969) y Valdes (1979), reportaron que la porosidad de los Andepts se encuentra en un rango entre 68 y 85 por ciento. Por otro lado, Forsythe (1985) establece que los Andepts jóvenes y maduros, tienen una alta porosidad total que fluctúa entre 63-76 por ciento, mientras que los Andepts más viejos y los Ultisoles incipientes tienen porosidad totales que varían entre 59% y 71%.

En ese sentido Estribí (1984), encontró que en el horizonte superficial de un Andeptic Tropohumults la porosidad total varió de 63,67% a 81,28%. Estos valores altos de porosidad total están asociados con valores bajos en densidad aparente, abundante actividad radical y Materia orgánica. A pesar de tener promedios muy parecidos, se encontró diferencias significativas a nivel del 1% de probabilidad entre los tratamientos (bosque, charral y pasto).

### 2.8.5 Humedad del suelo

Uno de los más importantes constituyentes del suelo es el agua, representando la fase líquida y localizándose en los poros. Su contenido ha sido considerado como uno de los factores más importante en la relación suelo-agua-planta. La abundancia (saturación y escasez) de agua en los suelos, limita el crecimiento de las plantas. Entre estos extremos se encuentra la mayoría de las áreas agrícolas y forestales (Estribi, 1984).

Gavande (1976), indica que entre las características del suelo más relacionadas con la humedad están la estructura, textura, porosidad y densidad aparente. A través de estas se puede entender el comportamiento de las constantes de humedad, las cuales se pueden definir como las cantidades y formas en las que un suelo puede retener el agua, siendo las de mayor interés la capacidad total de retención de agua, la capacidad de campo, punto de marchitez permanente y la humedad disponibles.

### 2.8.6 Conductividad Hidráulica

La gran mayoría de los suelos en su estado natural, son capaces de absorber el agua de precipitación cuando estos tienen intensidades bajas o moderadas, además depende de la humedad antecedente. Ésta inicialmente puede ser alta y luego desciende hasta una tasa constante llamada tasa de infiltración final, que está estrechamente relacionada con la conductividad saturada del suelo.

También llamada conductividad hidráulica, es definida por Forsythe (1980), como la habilidad del suelo saturado para permitir el paso del agua, la cual es el factor de proporcionalidad de la ley de Darcy ( $K$ ), que trata del flujo



viscoso del agua en el suelo. A través de esta variable se puede cuantificar la porción de la precipitación que el suelo puede absorber aún en condiciones de saturación y estimar la que saldría del sistema en forma de escorrentía.

## 2.9 Efecto de la escorrentía y la erosión en la capacidad productiva de los suelos

Entre los daños que la erosión causa a los terrenos deben considerarse la materia orgánica y los elementos nutritivos que se pierden en las aguas de escorrentía y en el suelo erodado.

La materia orgánica que es el centro de casi todas las actividades biológicas, también influye en la resistencia de los suelos a la erosión a través de su papel fundamental en el comportamiento de los procesos físicos y químicos del suelo. Su contenido es un buen indicador de su fertilidad, principalmente por su potencial para proporcionar nutrimentos como Nitrógeno, Fosforo, Azufre, etc a los cultivos. Además su contenido indica la capacidad relativa de los suelos de retener nutrimentos, contra las pérdidas por lixiviación; el movimiento del agua, la aereación, sobre la estabilidad de su estructura y su susceptibilidad a la erosión, entre otros (Kass y Díaz-Romeu, 1990).

Knoblauch y colaboradores (1942), plantean que las pérdidas de materia orgánica depende de la erosión del suelo. A la vez reportaron que las pérdidas de 397 Kg/ha/año en suelos francos arenosos de Collington, Estado Unidos, protegidos por una cobertura muerta; mientras que en las parcelas sin cobertura las pérdidas alcanzaron 1,287 Kg/ha/año.

Duley determinó los elementos nutritivos perdidos en el suelo erosionado en parcelas de 3% de pendiente con

diferentes cultivos. Encontró que el suelo desnudo perdió de esa forma 98,8 Libras de nitrógeno por acre; 47,4 de fósforo y 379,3 de calcio; el potrero perdió 0,5 libras de nitrógeno por acre; 0,09 de fósforo y 0,6 de calcio; el terreno sembrado de maíz perdió 40,3 libras de nitrógeno por acre; 8,10 de fósforo y 103,30 de calcio. Las cifras de nitrógeno y fósforo corresponden a dos años y las de calcio a un año. En ese sentido Knoblauch informa sobre pérdidas anuales por acre, en terrenos sembrados de papas, de 23 libras de nitrógeno total, 50 libra de fósforo y 153 libras de potasio total, con cobertura y abono de establo se logró una reducción en las pérdidas (Suárez de Castro, 1980).

#### 2.10 La degradación de los recursos naturales en el distrito de La Suiza, cuenca del Río Tuis.

En la zona de "La Suiza" se observan signos de erosión laminar y en surcos, principalmente en las zonas bajo uso intensivo de café y caña de azúcar. A esto contribuyen factores como la fuerte meteorización de los suelos, la alta pluviosidad, la compactación y pérdidas de infiltración y las prácticas inadecuadas de uso y manejo de las tierras; cabe resaltar la siembra del café en el sentido de la pendiente, con el suelo limpio de hierbas y rastrojos, además de la existencia de plantaciones sin sombra. Esto ha sido referenciado en ciertos cafetales de la vertiente norte, en las Colonias y Tuis al sur, asociados a suelos con mucha pendiente (Bermúdez, 1980).

En un estudio sobre adaptabilidad del cultivo de café en la provincia de Cartago, se encontró que el distrito de La Suiza presenta condiciones limitantes o deficitarias que lo hacen moderadamente recomendables, según Gómez citado por Pérez (1990).

De las 1.018 fincas del distrito, un alto porcentaje obtenía en 1974 muy bajo rendimiento de cosecha (934 kg/ha) frente al rendimiento nacional (5,000 kg/ha) producto de la marginalidad agroclimática del cultivo.

Se estima que fincas cafetaleras pequeñas en áreas de fuertes pendientes y con prácticas tradicionales de manejo, así como fincas de tecnología media en plantaciones viejas están obteniendo rendimientos de cosecha de 32 fanegas/ha/año. En contraste, fincas de alta tecnología con cultivos en contorno producen rendimientos de cosecha de hasta 60 fanegas/ha/año, el cual es alto con relación al promedio nacional de 39 fanegas/ha/año. La inexistencia de obras de conservación es considerada un factor importante para los bajos rendimientos de la zona.

## 2.11 Problemática Social de la Conservación de Suelos y Aguas.

Ultimamente los especialistas en conservación de suelos han reconocido y redefinido el problema de la erosión del suelo, más como un problema social que técnico. (Lovejoy, y Napier, 1986). En este sentido se señalan como causas fundamentales respecto al deterioro de los recursos y/o la apropiación de los principios básicos de las técnicas conservacionistas (Neves, 1988; Faustino, 1988).

- El excesivo crecimiento demográfico en el mundo y particularmente en los países tropicales en desarrollo, se traduce como una excesiva presión sobre los recursos naturales ya tan escasos, lo que sitúa a los ecosistemas en su capacidad de carga, e incluso la sobrepasa, aún respecto de los insumos y la tecnología aplicada (Neves, 1988).

- Organización y políticas inapropiadas: las cuales se manifiestan en una planificación deficiente que implica que

el individuo o grupo no llega a solucionar los problemas. En ocasiones esta planificación deficiente, poco coherente y adaptada a la realidad puede llegar a agravar los problemas en el sentido que puede provocar mayores desajustes de tipo social, cultural, ambiental y económico (Neves, 1988).

- Falta de motivación: ésta se desarrolla fundamentalmente en torno al régimen de tenencia y al tamaño de la unidad de producción.

- Falta de conocimientos: en nuestros países ésta es una de las mayores dificultades, el agricultor por lo general no sabe cómo enfrentar la degradación. Entre las causas de esto pueden figurar, el aislamiento geográfico y social, falta de vías de acceso y de canales de comunicación; inadecuada asistencia técnica, desconocimiento por parte de los técnicos de los principios básicos de la conservación de suelo, falta de recursos económicos y otros (Neves, 1988).

Por otro lado muchos proyectos tienen como estrategia la extensión y transferencia; que en particular en nuestros países goza de poca eficiencia, no lográndose vender la idea y necesidad de conservar, cancelando así la posibilidad de la apropiación de los principios básicos de las prácticas de conservación de suelo por parte del agricultor. Esto se proyecta en una falta de continuidad de las acciones; el proceso dura mientras subsista el proyecto o mientras los técnicos están presentes en la comunidad o finca (Faustino, 1988).

Hay que considerar que la adopción de las prácticas de conservación de suelos está basada en el cambio a nivel de grupo y/o individuo para responder a la hora de tomar las decisiones sobre conservación. Tres son los aspectos que pueden contribuir en la adopción:

- Incentivos públicos o restrictos; o en su ausencia las subvenciones y/o concesiones.
- Mayor y mejor información con respecto a los efectos de la erosión.
- Disminución o eliminación de contrastes entre agricultura y sistemas de uso de la tierra sobre los cuales se toman las decisiones (Neves, 1988).

- 2.12 Antecedentes y perspectivas sociales del control de la erosión y la escorrentía en la zona.

En La Suiza la actividad principal es la agricultura. Su población es de 3.229 habitantes, de los cuales el 70% del PEA es agrícola y estacional; o sea que está ubicada predominantemente en dos cultivos: el café y la caña de azúcar (Pérez, 1990).

El 90% de las fincas son propias y en su mayoría el tamaño varía entre 1-20 has. El uso de fertilizantes es alto, los rendimientos de los cultivos son bajos con respecto al promedio nacional, esto por los problemas de fertilidad natural de los suelos. La mayoría de los predios cultivan en el sentido de la pendiente con densidades muy bajas. Se percibe un conocimiento de la existencia de diversos tipos y escalas de erosión, tanto a nivel de finca, como a nivel de la cuenca. Esto resulta muy positivo, porque además conocen algunas medidas, prácticas y obras de conservación en fincas; quienes las aplican han observado beneficios. Casi la totalidad está interesada en capacitarse en la construcción y manejos de estas medidas.

Estas características, pueden ser un resultado de los cursos de extensión y comunicación y a través de los días de campo en la finca La Selva que el PRMC ha realizado, para que los agricultores de la cuenca se familiaricen con

algunas técnicas sencillas de conservación de suelos y aguas.

El 70% de los entrevistados por Pérez (1990), consideran malo o inexistentes el servicio de apoyo del estado a sus fincas. COOPESUIZA, R.L. le brinda asistencia técnica y crédito al 70% de los agricultores de la zona, la cual ellos consideran como buena. La cooperativa tiene afiliado el 76 % de los agricultores de la zona, lo cual unido a sus fines la convierten en eje central para el manejo de los recursos naturales de la zona e incorporar la conservación de suelos entre los incentivos que brinda a los agricultores; pero para lograrlo requiere asesoría en la capacitación y transferencia de tecnología.

### 3 MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Información general de la finca "La Selva"

##### 3.1.1 Localización y extensión

La zona de estudio se encuentra ubicada en el distrito de La Suiza, situada a unos 10 km del centro de Turrialba. La investigación de las técnicas de manejo a evaluar en este trabajo se realizó en la finca experimental "La Selva" establecida mediante convenio CATIE/NEW MEXICO STATE UNIVERSITY. La finca está localizada a unos 2 km del poblado de La Suiza (figura 1), en la microcuenca de la quebrada La Selva. Cartográficamente se encuentra entre las coordenadas de 9º 45' - 9º 53' 30" latitud norte y 83º 33' 30" - 83º 38' 40" de longitud oeste, del mapa base de Tucurrique, a una altitud promedio de 672 m.s.n.m. La finca tiene una extensión de 13,6 has (Faustino et al, 1987).

##### 3.1.2 Clima

La precipitación en esta área está vinculada a la latitud y la orografía, presentando una media anual para la estación La Suiza de 2.503 mm; esta estación está ubicada en una posición muy similar a la finca La Selva. Los meses de alta pluviosidad comprenden desde abril hasta febrero con rangos entre 95,2 y 300,9 mm; el mes más seco es marzo con un promedio de lluvia de 51,1 mm. Los meses de enero y abril son de transición entre los períodos de alta y baja pluviosidad. Estos datos son para un período de 27 años. La temperatura media anual de La Suiza es de 23,5 °C, poco variable a través del año, pero si una mayor entre el día y la noche (Clarkin, 1983). De acuerdo con el sistema de clasificación para zonas de vida de Holdridge el área corresponde a Bosque muy Húmedo Tropical Transición a Premontano (Holdridge, 1967 y Tosi, 1969).

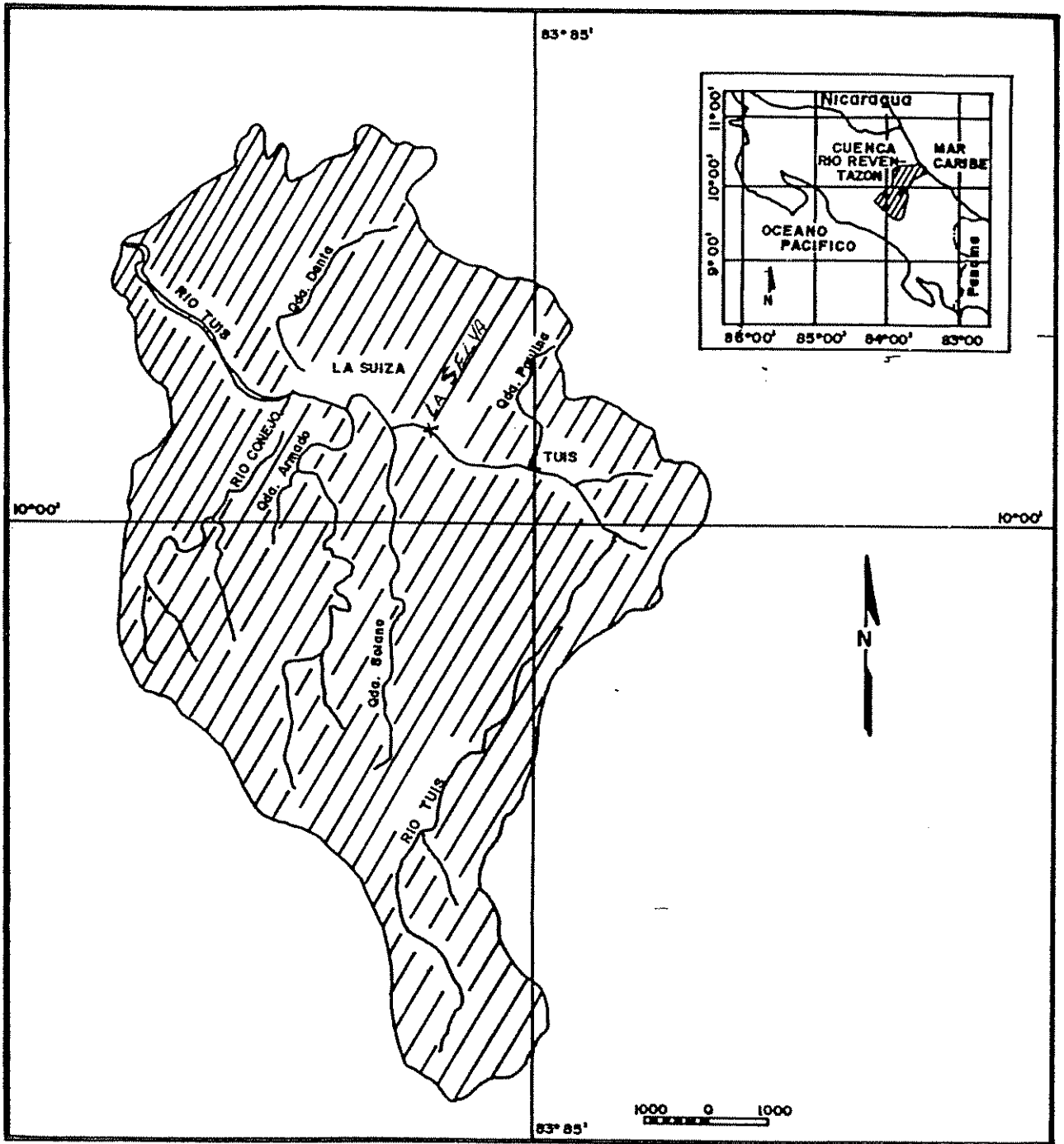


Figura 1. Localización de la zona del estudio en la finca "La Selva", La Suiza, Costa Rica.



### 3.1.3 Vegetación

Existe una cobertura predominante de charral y bosque secundario; una pequeña área habilitada para desarrollar áreas demostrativas de consevación de suelos (cultivos de café, cítricos, piña, forestales). La *Erythrina poeppigiana* es la especie arborea predominante como árbol de copa; en el sostobosque se pueden mencionar la *Paramentira macrophylla* y *Coffea arabica* var. caturra, que es un cultivo abandonado. En general la finca mantiene buena cobertura tanto en densidad como en distribución de especies.

### 3.1.4 Geología y Suelos

En la finca según Bilt (1984), citado por León (1990), reporta afloraciones rocosas de origen volcánico perteneciente a las formaciones geológicas de Doán, en la parte alta de la finca y la Tuis en la parte inferior de la misma. Las pendientes son complejas escarpadas con un ambito entre 40% y 110%, presentando el escarpe una marcada disección por efecto de las pequeñas quebradas que la atraviesan en sentido sur- oeste.

Sus suelos son clasificados como typic humitropepts, suelos relativamente juvenes con alto contenido de materia orgánica, horizonte argílico no muy bien definido y materiales en proceso de meteorización, (perfiles 1 y 2 en las parcelas 5, 6, 7 y 8) y ultic hapludalf con un horizonte argílico definido, porcentaje de saturación de bases mayor al 35% y con un régimen de humedad údico (perfil 3 en las parcelas 1, 2, 3 y 4) (Anexo 1), de acuerdo con León (1990). En general, Nuñez (1984), encontró que los suelos presentan un patrón común: deficientes en potasio y con bajos contenidos de fósforo.

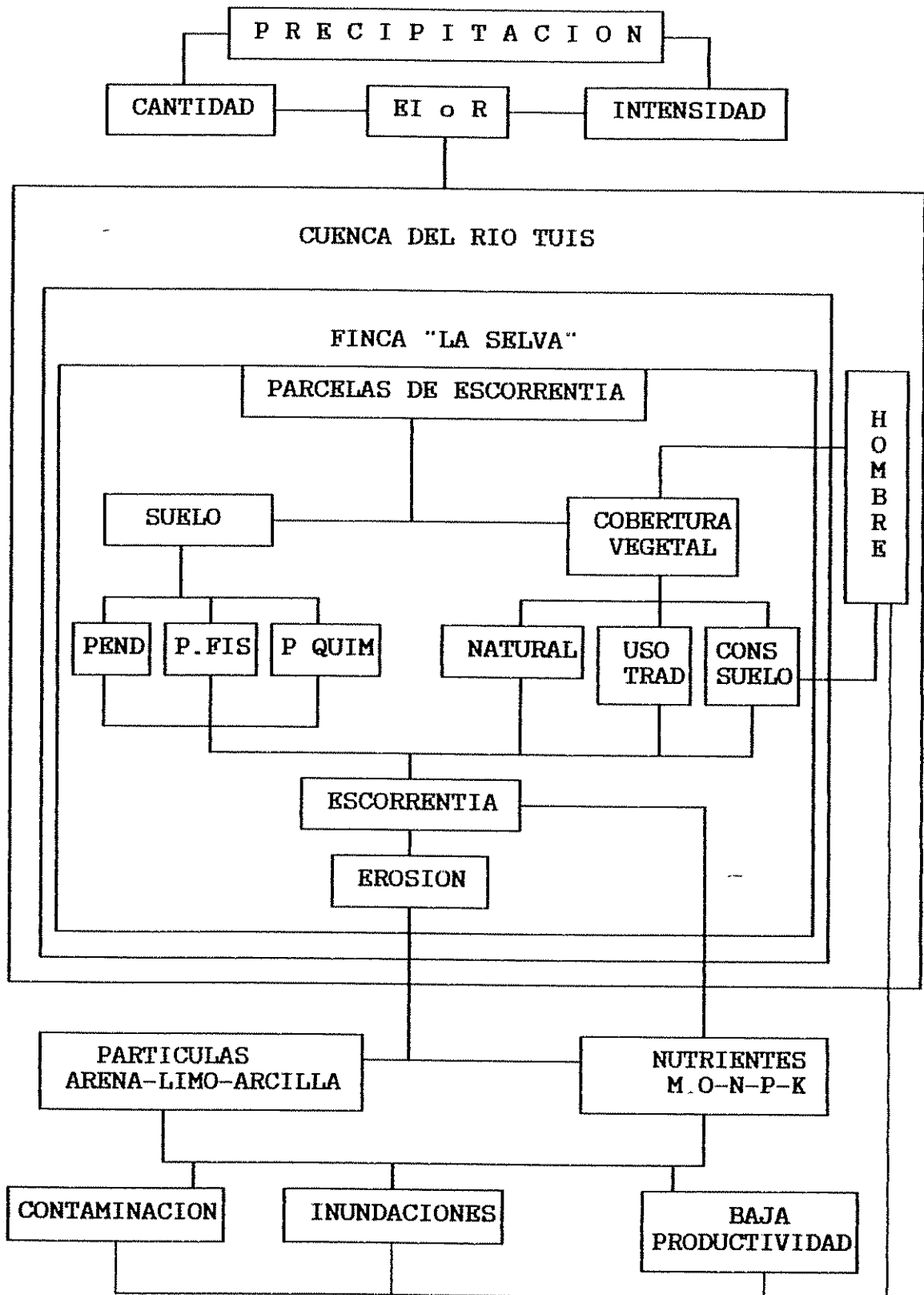


Figura 2. Procedimiento metodológico de la investigación.

### 3.2 Información social de la zona

Se planificó detectar el nivel de percepción que tienen los caficultores de la zona sobre la degradación de los suelos, la aplicación de medidas, prácticas u obras para su control y el nivel de apoyo que reciben por parte de las instituciones oficiales, no gubernamentales, comunales e internacionales de la zona para implementarlas; haciendo énfasis en el efecto de los cursos, charlas, días de campo y programas radiales realizados por el personal del CATIE y estudiantes de las promociones 1987-89 y 1988-90. Esto nos permitiría evaluar el efecto demostrativo de las parcelas de escorrentía difundido a través de un proceso informal de promoción.

Las metas arriba planteadas se alcanzarían por medio de la realización de entrevistas informales con una muestra del 10% de los agricultores de las zona aledañas a la finca. Sin embargo se presentaron limitantes para desarrollar esta etapa debido a los efectos del terremoto del 22 de abril de este año, lo cual nos alteró el plan establecido; principalmente por los derrumbes y prioridades sociales de los agricultores de la zona. Esto nos llevó a utilizar la información levantada por Segundo Marín en su trabajo de tesis de maestría. Partes de los datos de Marín nos permiten satisfacer los objetivos planteados sobre este particular.

Utilizando un muestreo aleatorio estratificado Marín (1991) entrevistó un total de 74 agricultores (10% de la población total de los que le entregaban sus cosechas de café a la COOPESUIZA, R.L.) de los poblados de La Suiza, Tuis y Tayutic, próximos a la finca La Selva.

### 3.3 Las parcelas experimentales

#### 3.3.1 Descripción y manejo de las parcelas de escorrentía

Los ocho tratamientos los investigados son los siguientes:

##### PARCELA 1

Parcela con café (*Coffea arabica* var. caturra) y cobertura vegetal en el suelo, con 15 plantas en pequeñas gavetas y una barrera viva de zacate-limón (*Cymbopogon citratus*) en curvas de nivel. Pendiente promedio de 81%, cobertura de 95% y bajo sombra de poró (*Erythrina poeppigiana*). Se le realizan chapías cada vez que la cobertura baja presenta una altura promedio de 30 cm dejandose los residuos en la superficie del suelo. Se realizó una poda en el mes de febrero para combatir el mal del hilacho (*Pellicularia koleroga*).

##### PARCELA 2

Parcela con 12 plantas de café en pequeñas gavetas sembradas a curvas de nivel sin cobertura vegetal en el suelo. Pendiente promedio de 79%, cobertura de 65% y bajo sombra de poró (*Erythrina poeppigiana*). Se limpiaban continuamente con machete y pala (raspado y desbasurado además de la aplicación de herbicidas. Al igual que todas las parcelas de café se le realizó una poda en febrero.

##### PARCELA 3

Parcela con 16 plantas de café sembradas a curvas de nivel con cobertura vegetal en el suelo y una barrera viva de zacate-limón (*Cymbopogon citratus*). Pendiente promedio

de 41%, cobertura de 95% y sin sombra. Fue manejada como la parcela 1.

#### PARCELA 4

Parcela con 13 plantas de café sembradas a curvas de nivel sin cobertura vegetal en el suelo, pendiente promedio de 41%, cobertura de 60% y sin sombra. Se manejó de igual manera que la parcela 2.

#### PARCELA 5

Parcela con 30 plantas de café sembrada en el sentido de la pendiente sin cobertura vegetal en el suelo. Pendiente promedio de 69%, cobertura de 60% y sin sombra; sembrado en forma tradicional por el agricultor. Igual manejo que las parcelas 2 y 4.

#### PARCELA 6

Parcela con siembra de frijol "tapado" con suelo desnudo sin ninguna práctica conservacionista. Pendiente promedio de 69% y cobertura de 56%. El frijol solo se sembraba un vez al año, es decir, que aproximadamente 9 meses del año se le aplicaba el mismo control de maleza que a la parcelas sin cobertura baja (2, 4 y 5).

#### PARCELA 7

Parcela con charral (tierra abandonada, antes cultivada). Pendiente promedio de 62%, cobertura de 98%.

#### PARCELA 8

Parcela sin cobertura vegetal (desnuda). Pendiente promedio de 58%. En esta parcela primero se le realizó la

limpieza con machete y pala, luego se aplicó herbicidas con una frecuencia aproximada de una vez cada dos meses, dependiendo de la regeneración de la maleza.

#### PUNTO 1A

Ubicado entre las parcelas 1 y 2. Ha sido manejado de forma muy similar a la parcela 1. Su cobertura baja es denominada por el Zacate limón (*Cymbopogon citratus*).

#### PUNTO 3A

Localizado entre las parcelas 3 Y 4, siendo manejada de igual manera que la parcela 3.

#### PUNTO 5A

Situado entre las parcelas 5 y 6. Presenta especies de la familia Gramineae como cobertura entre ellas principalmente el Zacate limón (*Cymbopogon citratus*).

#### PUNTO 7A

Este punto se encuentra en el lado sur de la parcela 7 (Charral) y está en circunstancias idénticas a esta última.

#### PUNTO 8A

Está situado en lado oeste de la parcela desnuda (8) y su cobertura es muy similar a la del punto ubicado entre la parcela del café tradicional (5) y la otra en donde se siembra el frijol (6).

#### PUNTO 9A

Localizado en la misma vertiente de las parcelas 1 y 2, pero al oeste de estas. Su cobertura es pasto abandonado; predomina el Zacate limón (*Cymbopogon citratus*).

En cada una de las parcelas se realiza el manejo conveniente para mantener la condición ideal de diseño procurando que esta alcance su "estatus" de estabilizada.

La cobertura que se menciona en las primeras cinco parcelas y manejada a nivel del suelo contiene especies de maleza de las familias gramineae, cyperaceae, compositae, lo beliaceae, leguminosae, umbeliferae, solanaceae, comme-liacaceae, y piperaceae.

El charral contiene las siguientes especie de plantas:

Especies de copa: (*Erythrina poeppigiana*).

Especies de sotobosque: *Paramentira macrophylla*, *Coffea arabica* var *caturra*, *Citrus spp*, *Piper spp*, *Miconia spp*, *Heliconia spp* y las familias: *Urticaceae*, *Compositae*, *Euphorbiaceae*, *Saurinacaceae*, *Flacoustricaceae* y *Rubiaceae*.

El manejo mencionado por parcela ha sido constante desde el establecimiento hasta la fecha, con la excepción de la poda.

### 3.3.2 Tamaño y forma

Debido a pendientes muy inclinadas y de larguras limitadas, se utilizaron parcelas de 2 m de ancho por 12 m largo adoptando la forma rectangular, con el eje longitudinal orientado hacia la pendiente (Fig 1A), lo que no permitió establecerlas con las medidas convencionales. Se considera que el tamaño de las parcelas depende del objetivo del estudio y sobre todo de las características fisiográficas y climáticas de la zona en donde se llevará a cabo el estudio.

### 3.3.3 Sistema colector de aguas de escorrentía y sedimentos

La captación del agua de escorrentía y los sedimentos se realiza mediante una canoa al pie de la parcela y conectadas a ella por manguera una caja metálica con capacidad para 25 litros, que se une a un estañón (tanque) de 100 litros con un sistema de cinco orificios, de los cuales uno está unido a otro estañón de igual capacidad mediante una manguera plástica. Los diferentes colectores están dispuestos de forma escalonada con un gradiente de altura. Además se verificó constantemente que los estañones y los orificios estuvieran en posición horizontal.

### 3.4 Cuantificación de la escorrentía

El volumen de agua escurrida de las parcelas se midió después de cada evento pero antes de medirla se verificó en el pluviógrafo que no hubo precipitación en las últimas 6 horas. Esto basado en la consideración de cada evento debe estar separado en un período de tiempo no menor a 6 horas y tener una precipitación no menor a 1,0 mm; además, no se puede medir la escorrentía durante tiempo lluvioso, a no ser que sea anotado.

La medición se realizaba con una regla graduada en la caja y en los estaños apesar de estar graduados cada 10 litros. Estas mediciones se realizaban con una exactitud de un milímetro, lo cual se consideraba igual a 0,1 litro; pero cuando la escorrentía era menor a 10 litros se cuantificaba con una bureta. El dato se totalizó al sumar la capacidad máxima de la caja y el segundo estañón más el producto del contenido del segundo estañón por el número de orificios del estañón anterior.



### 3.5 Medición de los sedimentos arrastrados

Los sedimento eran recolectados de los recipientes de cada parcela en bolsas previamente pesadas e identificadas, luego se pesaban y con una alícuota se determinó el contenido de humedad del sedimento. Se expresaron estas mediciones en kg de suelo seco por parcela.

### 3.6 Evaluación de la cobertura en las parcelas

Para esta evaluación se construyó un aparato que constaba de dos láminas paralelas de 2 metros con 20 orificios de 0,5 cms de diámetro y con las patas de 1 metro extensibles hasta 3 metros. La cobertura se mide por la cantidad de orificios con cobertura en diferentes sitios arbitrarios.

### 3.7 Medición y análisis de la precipitación

La precipitación fue medida en forma directa mediante un pluviómetro de lecturas diarias y también por un pluviógrafo Hellman de bandas mensuales, distribuidas para lecturas de horas y medias horas exactas. Este último funcionó hasta enero de 1991, utilizándose entonces otro pluviógrafo Hellman pero de bandas diarias con altura de 10 mm y dividida para lecturas mínimas de 10 minutos. Los pluviógrafos se ubicaron casi a la misma altura de las parcelas muy próximas a las áreas de café. Para el análisis de la precipitación se compilaron los datos generados desde el 4 de mayo de 1987 hasta el 19 de julio de 1991.

Con la finalidad de facilitar el análisis de los datos se elaboró el programa "LLUVIOSAS" con el paquete estadístico "SAS". Este programa nos permitió determinar la energía cinética instantánea por intensidad ( $E_{ci}$ ) y por evento ( $E_c$ ); precipitación total por evento ( $pti$ ), día ( $ptd$ ), mensual

(ptm), anual (Pta), además del promedio mensual (ptm $\frac{1}{2}$ ), anual (Pta $\frac{1}{2}$ ) y general (PT). También las intensidades para 15 (I15) y 30 (I30) minutos; igualmente el factor R de Wischmeier.

Además se determinó el índice de erosión selectiva (TRI), con base en el cociente de los resultados del análisis granulométrico de los sedimentos y de los suelos de las parcelas. Este índice se correlacionó con los valores del R15 (comunicación personal con el Dr. Jean Collinet).

### 3.8 Muestreo de suelo

Para realizar la caracterización de las propiedades físicas y químicas en las parcelas, fueron escogidos en forma sistemática cuatros puntos de muestreo, para lo cual se dividió está cada tres metros. Para los puntos fuera de las parcelas se tomaron a las mismas alturas de las parcelas colindantes y en lugares equidistante entre ellos. Todas estas determinaciones se realizaron en los laboratorios de suelos del CATIE.

### 3.9 Determinación de las características físicas de los suelo por parcela

Todos estas determinaciones se realizaron siguiendo los procedimientos descritos por Forsythe (1985).

#### 3.9.1 Densidad aparente

La densidad aparente se determinó siguiendo la técnica descrita por Forsythe (1985), que consiste en la determinación de la masa de un volumen dado de suelo.

$$D_a = \frac{\text{peso del suelo secado al horno}}{\text{volumen del suelo}} = \text{g.cm}^{-3}$$

### 3.9.2 Porosidad total

Se calculó con base en la densidad aparente determinada para cada parcela y la densidad real o de partículas determinada por León (1990) mediante el método del Kerosene para los tres perfiles.

$$E = [1 - (D_a/D_p)] * 100$$

donde:

E = Porosidad total en porcentaje

D<sub>a</sub> = Densidad aparente en g.cm<sup>-3</sup>

D<sub>p</sub> = Densidad de partículas en g.cm<sup>-3</sup>

### 3.9.3 Distribución del tamaño de las partículas

Se utilizó el método expuesto por Bouyoucos y descrito por Forsythe (1985).

### 3.9.4 Curva de retención de humedad

Esta variable se determinó por el método de desabsorción de agua (Danielson y Sutherland, 1986), mediante el uso de anillos especiales de 3,5 cm de diámetro y 1,0 de largo para la muestra de suelo sin alterar y platos de cerámica para determinar el contenido de agua volumétrica a las presiones de 1, 10, 33, 100, 500 y 1500 Kpa.

### 3.9.5 Contenido de humedad

En cada parcela se instalaron 8 tensiómetros para medir la humedad, colocando 4 en las partes alta y baja a 15, 45, 75, 100 cm de profundidad, igual como los estableció Rocha en su experimento, pero debido al mal funcionamiento se descartaron. Luego se determinó la humedad antecedente y siguiente a la ocurrencia de algunos eventos, utilizando el método gravimétrico.

También se calculó la capacidad de agua disponible (AWC), al sustraer el contenido de agua volumétrica a 1500 Kpa (punto de marchitez permanente) al contenido de agua volumétrica a 33 Kpa (capacidad de campo).

### **3.9.6 Conductividad hidráulica saturada**

Se realizó por el método del permeámetro de carga constante, utilizando un muestreador tipo Uhland con cilindro de 7,5 cm de diámetro y 7,5 cm de largo para tomar las muestras no disturbadas (Klute y Dirsén, 1986; Forsythe, 1985).

## **3.10 Determinación de las características químicas**

### **3.10.1 Materia orgánica**

La determinación de la materia orgánica se realizó de acuerdo con la técnica propuesta por Saiz del Río y Bornemisza (1967) basado en el método de digestión húmeda de Walkley y black.

### **3.10.2 Capacidad de intercambio catiónico**

La determinación del calcio, magnesio, sodio y potasio cambiables se realizó mediante la metodología de Bower y colaboradores y descrita por Díaz Romeau y Valerdi (1969).

### **3.10.3 pH**

Se hizo de acuerdo a la metodología descrita por Díaz Romeau y Hunter (1982).

### 3.10.4 Estimación de la pérdida de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio

La estimación de las pérdidas de nutriente se le realizaron a las muestra de suelo erodado por cada evento en el año 1991 y fueron determinadas de acuerdo a los métodos tradicionales de análisis de laboratorio. A continuación se detallan los elementos determinados con sus respectivas técnicas:

- **Materia orgánica (M.O.)**, se siguió el mismo procedimiento que para el análisis de su contenido en las parcelas (Sainz del Río y bornemiza, 1961).
- **Nitrógeno total (Nt)**, se determinó de acuerdo con la técnica propuesta por Díaz (1977) (método semi-micro-kjeldahl) basado en el método micro-kjeldahl de Bremer (1967).
- **Fósforo (P) y Potasio (K)**, su determinación se realizó utilizando el método de olsen modificado (Díaz-Romeu, 1990).

### 3.11 Análisis estadístico de las variables en estudio

No fue posible la realización de un análisis estadístico del efecto de los tratamientos. Los tratamientos no tenían diseño, ya que se orientan a la demostración; se pueden establecer comparaciones simples ya que, cada parcela tiene un tratamiento diferente en por lo menos un factor, como lo es el caso de las parcelas con café, cuya única diferencia es la pendiente. Por lo tanto no fue posible distinguir el efecto de los tratamientos (cobertura, práctica, etc..) del efecto de las parcelas (suelo orientación, etc.).

No obstante realizamos el análisis de las tendencias de las variables a estar relacionadas de forma definida, correlacionando la escorrentía y la pérdida de suelo con las otras variables en estudio. En cuanto a la precipitación además de la mencionado se analizará su distribución en el

tiempo de estudio y también se determinará cuál (es) índice (s) explica (n) mejor su agresividad.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSION.

##### 4.1 Características de los suelos por parcela

En los anexos 1, 2 y 3 se presentan las características generales de los suelos de la finca y en el cuadro 1A los resultados de las variables evaluadas.

##### 4.1.1 Características físicas -

De acuerdo con la distribución granulométrica de los horizontes superficiales en los suelos de las parcelas, las clases texturales varían desde franco, franco arcilloso hasta arcilloso, según los resultados del cuadro 1A. En el mismo se presentan valores de 16,61% a 46,95% para la fracción arena, de 26,88% a 34,86% para el limo. En el caso del contenido de arcilla, la misma fluctúa entre 25,21% y 52,12%. Como se observa en la figura 3 el menor contenido de arcilla (27,93%), se encontró en la parcela 3 (café con 95% de cobertura y 41% de pendiente) y el máximo (52,12%) en la parcela 2 (café con 65% de cobertura y 79% de pendiente).

En cuanto a los resultados de densidad aparente ( $D_a$ ), los mismos variaron de 0,96 g/cc a 1,19 g/cc, con una ligera tendencia a aumentar con el contenido de arcilla y la pendiente (ver figura 3 y 4). Dicha tendencia se reduce al aumentar el nivel de cobertura vegetal, coincidiendo con los resultados obtenidos por Estribí en Turrialba (1984) y por Watters y Bascones en Venezuela (1971).

Por otro lado la porosidad total (E) varía de manera inversa a la densidad aparente con relación a los factores mencionados anteriormente; fluctuando de 55,47% a 63,77%. Dichos valores se encuentran dentro del rango establecido por Forsythe (1985) para los suelos Ultisoles y Alfisoles.

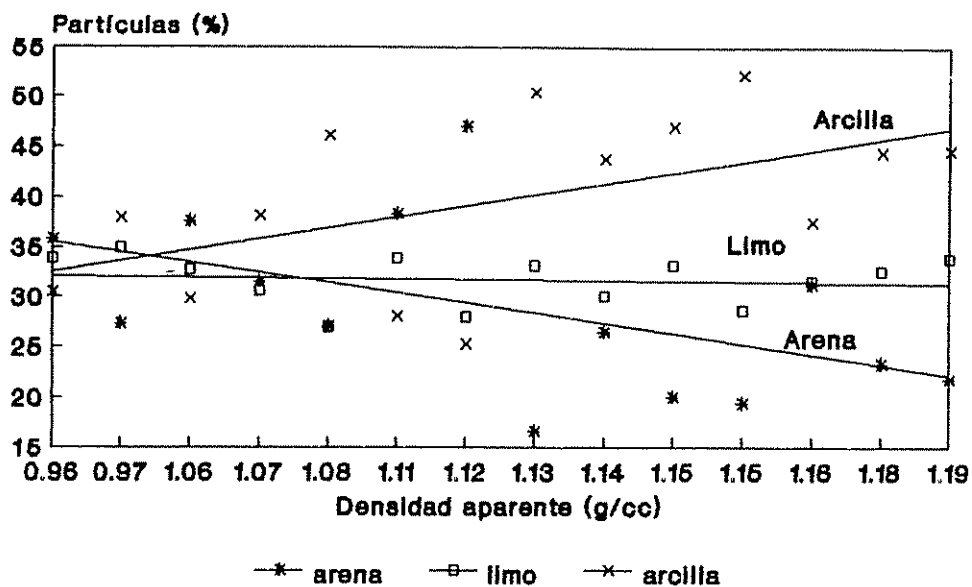


Figura 3. Relación entre el contenido de Partículas granulométricas y la densidad aparente por parcela.

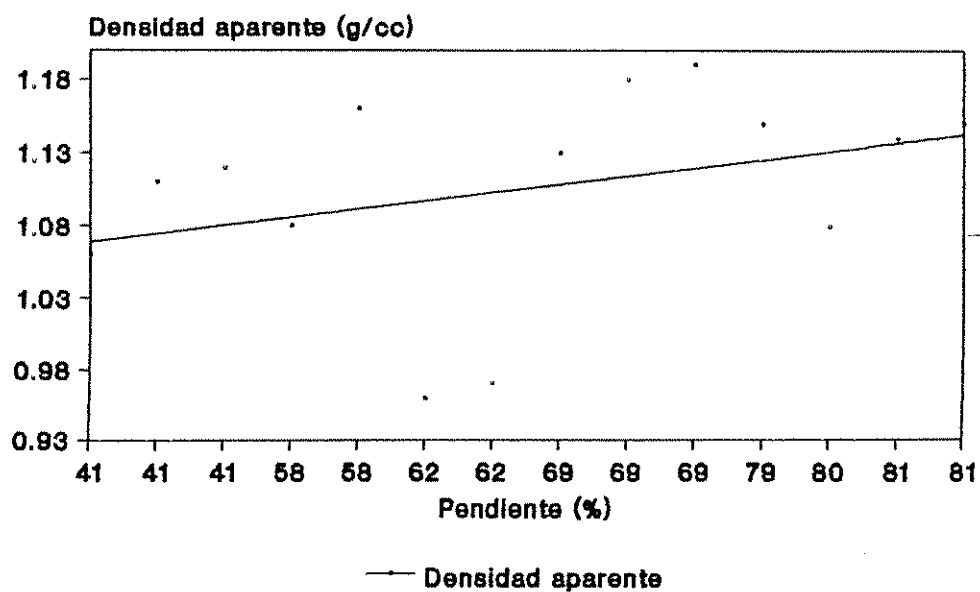


Figura 4. Relación entre pendiente y la densidad aparente por parcelas.



La relación de la porosidad total con la densidad aparente es explicado en un 96,4% por el modelo lineal presentado en la figura 5.

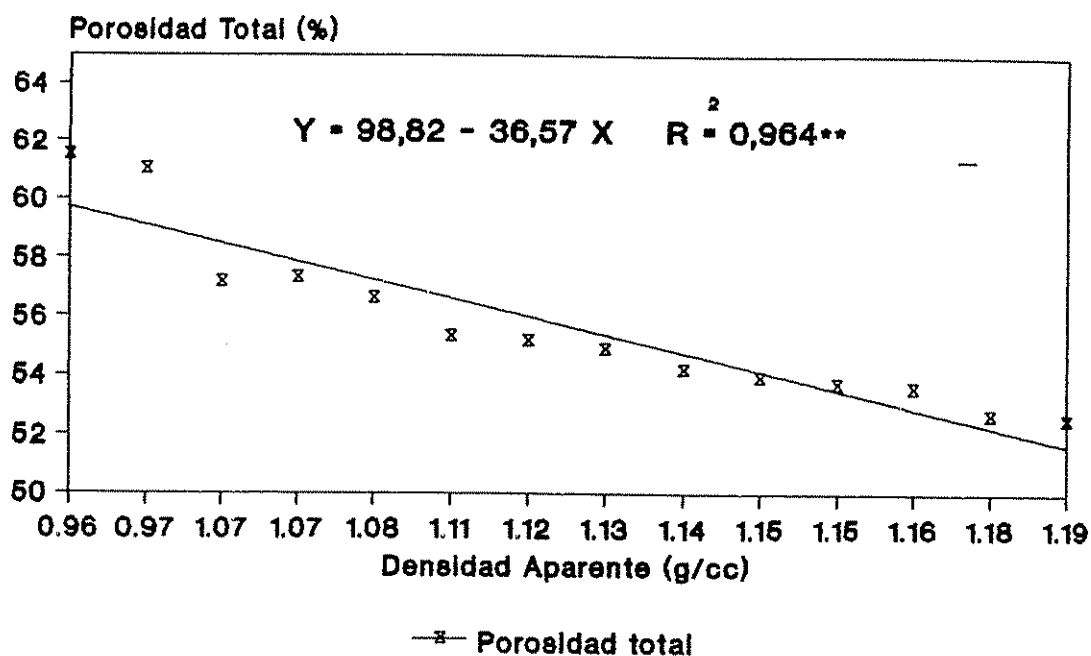
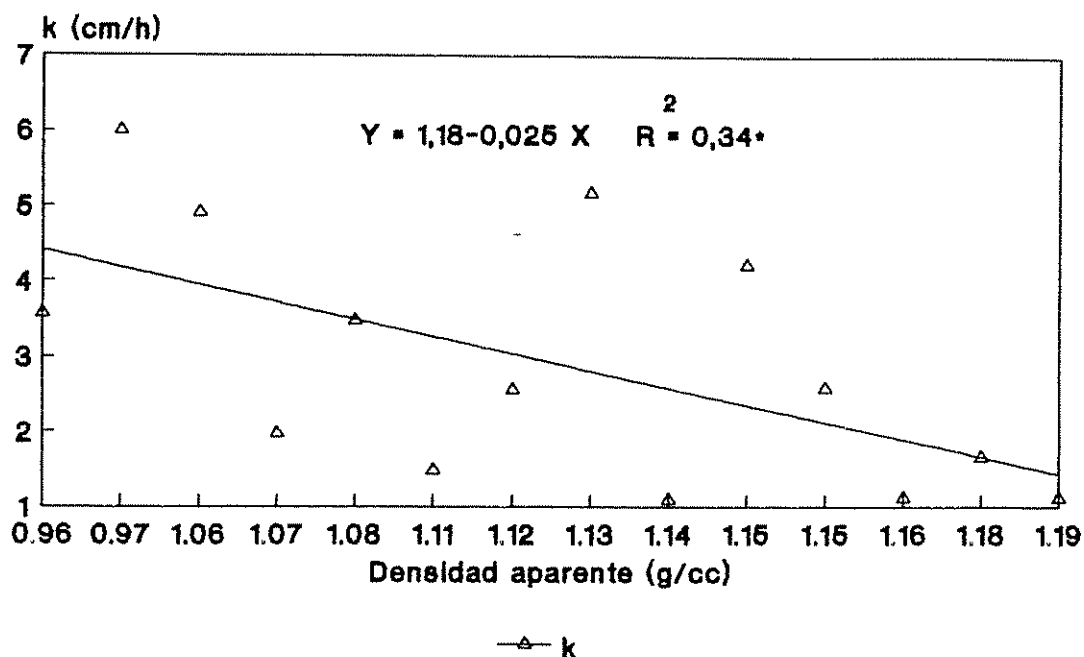


Figura 5. Relación entre densidad aparente y porosidad total por parcela.

Para la conductividad hidráulica (K) se determinó que el flujo vario de moderadamente lento a moderado, encontrándose valores de 1,09 cm/h a 5,99 cm/h (parcelas 7 y 5 respectivamente). La desviación estándar fue de 1,63, lo cual significa que no se desvía en mayor grado de la media general (2,92). También se obtuvo una correlación negativa (-0,59) de esta variable con la densidad aparente, a un nivel de significativa del 5 %. Estos datos concuerdan con los obtenidos por Hill y Summer (1967). El modelo que mejor se ajustó a esta relación fue el lineal ( $R^2=0,34$ ) (ver figura 6).



**Figura 6. Relación entre la densidad aparente y la conductividad hidráulica (K).**

Como se puede observar en las Figuras 7, 8, 9, y en el cuadro 1A la retención de humedad fluctuó de 54,96% a 76,55% (parcelas 1 y 8 respectivamente) para una presión de 1 Kpa, mientras que a 1500 Kpa los valores variaron de 33,82% a 53,26% para las parcelas 7 (charral) y 8 (desnuda). La retención de humedad de estos suelos se considera muy alta, pues es superior al 20% a 1500 Kpa de presión, de acuerdo con Luna (1969) y Sánchez (1981). Este último menciona que la alta capacidad de retención es una característica propia de los Ultisoles y Alfisoles. A pesar de lo anteriormente expresado, estos suelos tienen un contenido de humedad disponible que varía de bajo a medio (9,30% en la parcela 4 y 15,13% en la parcela 2, ambas con café tradicional pero con diferente grado de pendiente y contenido de arcilla), Forsythe, Gavande y González (1969).

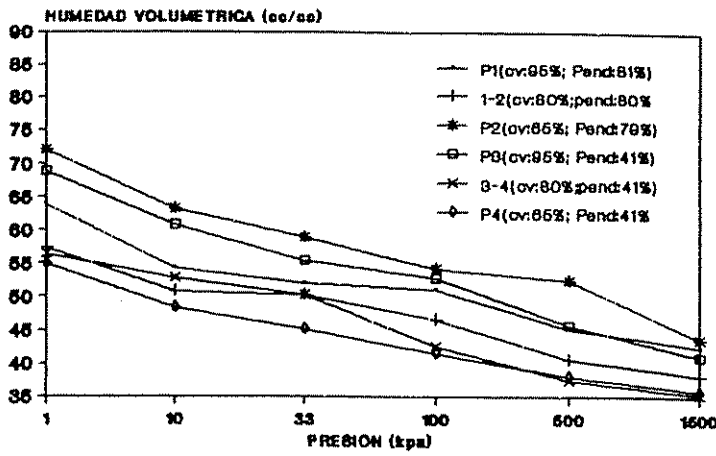


Figura 7. Curvas de retención de humedad del suelo para las parcelas 1, 2, 3, 4 y sus puntos intermedios.

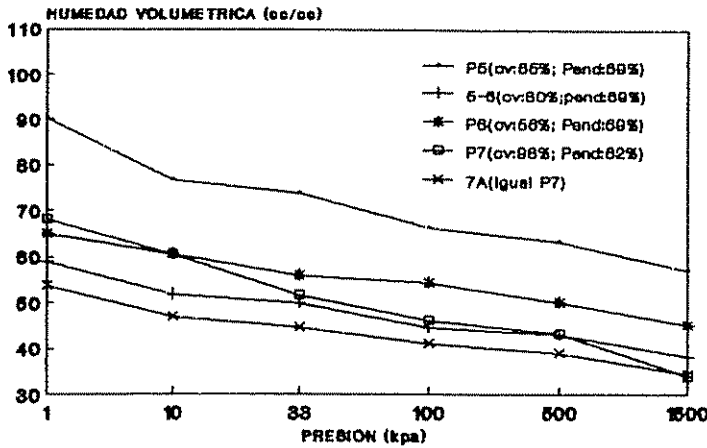


Figura 8. Curvas de retención de humedad para las parcelas 5, 6, 7 y los puntos 5-6 y 7A.

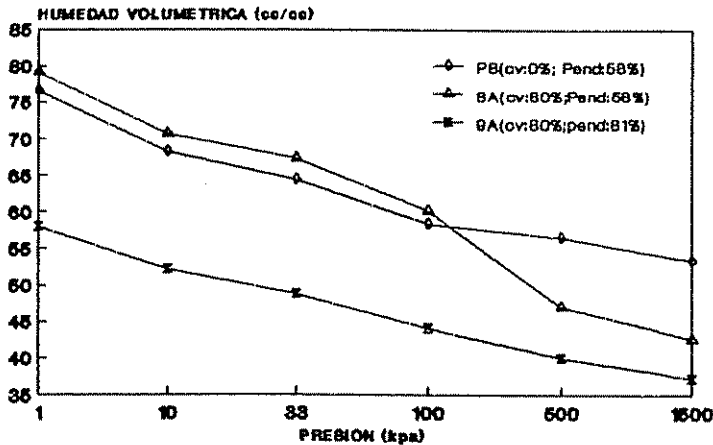
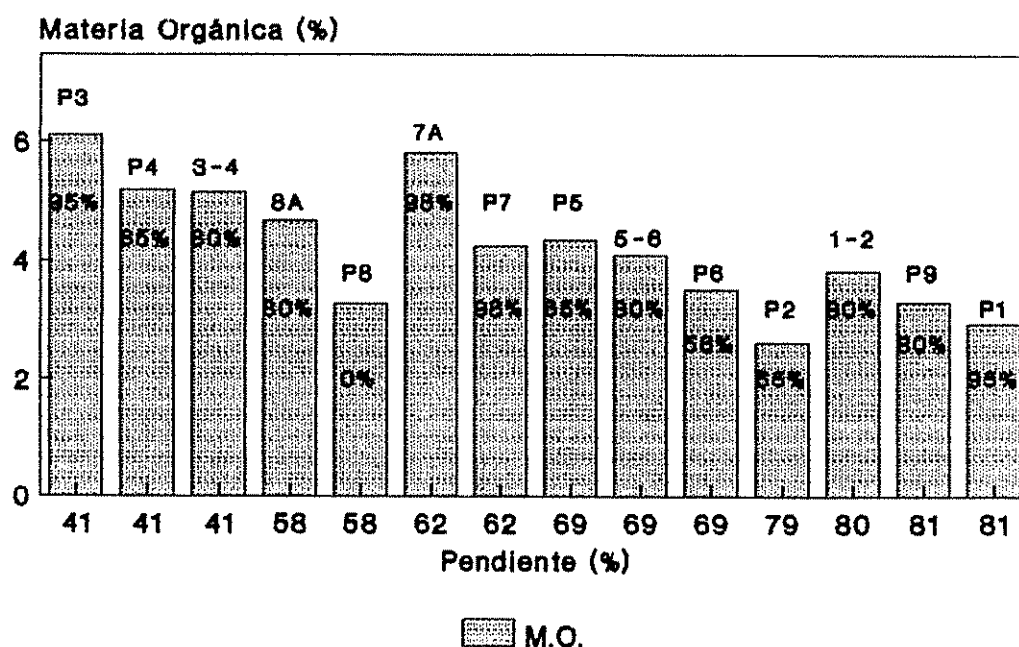


Figura 9. Curvas de retención de humedad para la parcela 8, los puntos 8A y 8A.

#### 4.1.2 Características químicas

El pH que se determinó en agua varío de 4.5 en la parcela 5 (café tradicional) a 5,48 en el punto 9 (pasto) (ver cuadro 2A). Por lo tanto estos son suelos ácidos, lo que indica que ha habido un lavado marcado de bases al menos en la capa superficial de los mismos. Palencia, citado por Estribí (1984) y Estribí encontraron resultados similares en suelos volcánicos de Centroamérica (Estribí, 1984).



**Figura 10. Comparación entre el contenido de materia orgánica, pendiente y cobertura vegetal por parcela.**

Por otro lado el contenido de materia orgánica fluctuó de bajo (2,59% en la parcela 2) a alto (6,12% en la parcela 3), con una tendencia a reducirse con relación a la pendiente y el contenido de arcilla como se puede observar en las figuras 10, 11 y 12; en estos gráficos se presentan los modelos con mejor ajuste para explicar la relación entre estas variables. Kobo, citado por Estribí (1984), considera

que la acumulación de humus está relacionada con la alta capacidad de retención de humedad, la presencia del complejo arcillo-húmico y la acidez de dichos suelos. En ese sentido Fassbender (1987) plantea que en los suelos ácidos, con un pH menor de cinco, se limita la acción de las bacterias y de la macroflora. Esto favorece la reproducción de hongos, dándose como consecuencia una menor eficiencia en la mineralización y humificación (estabilización) y la respectiva acumulación de la materia orgánica. Según Bornemisza y Pineda (1969) la mineralización de la materia orgánica presenta una relación inversa al contenido de alófana, característica inherente de los suelos de origen volcánico.

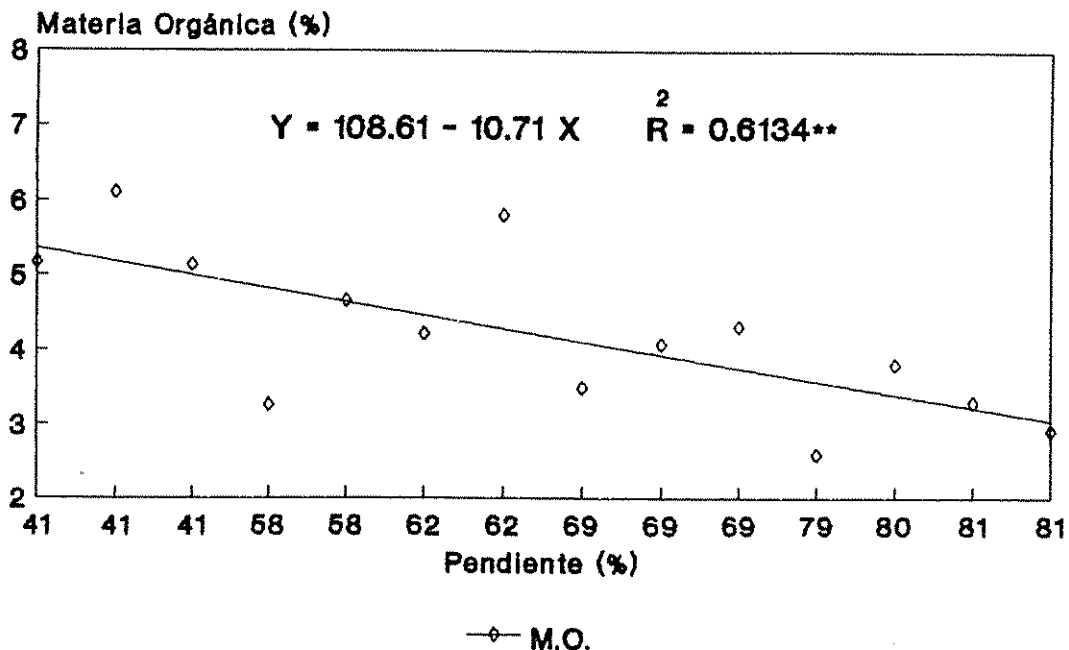


Figura 11. Relación entre la pendiente y el contenido de materia orgánica por parcela.

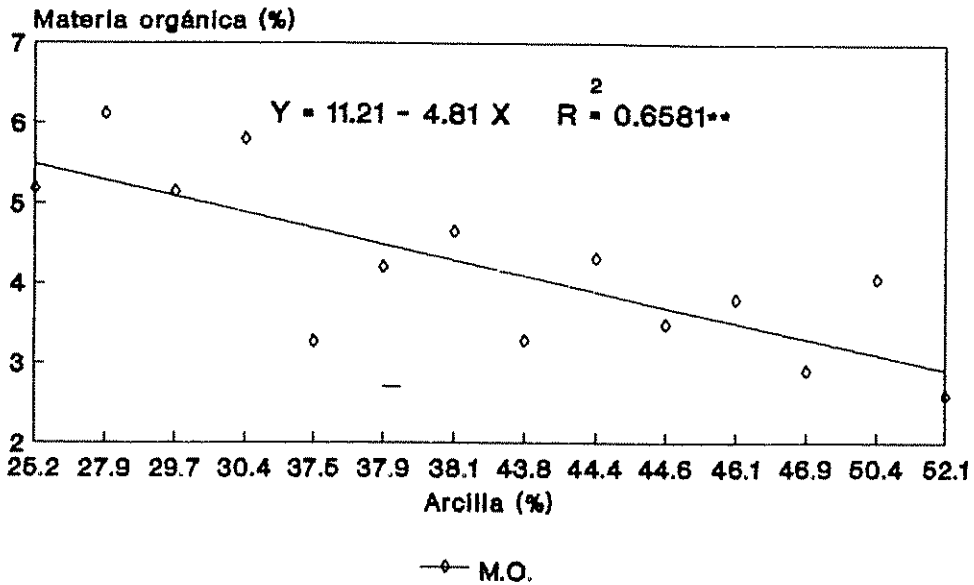


Figura 12. Relación entre el contenido de arcilla y materia orgánica por parcela.

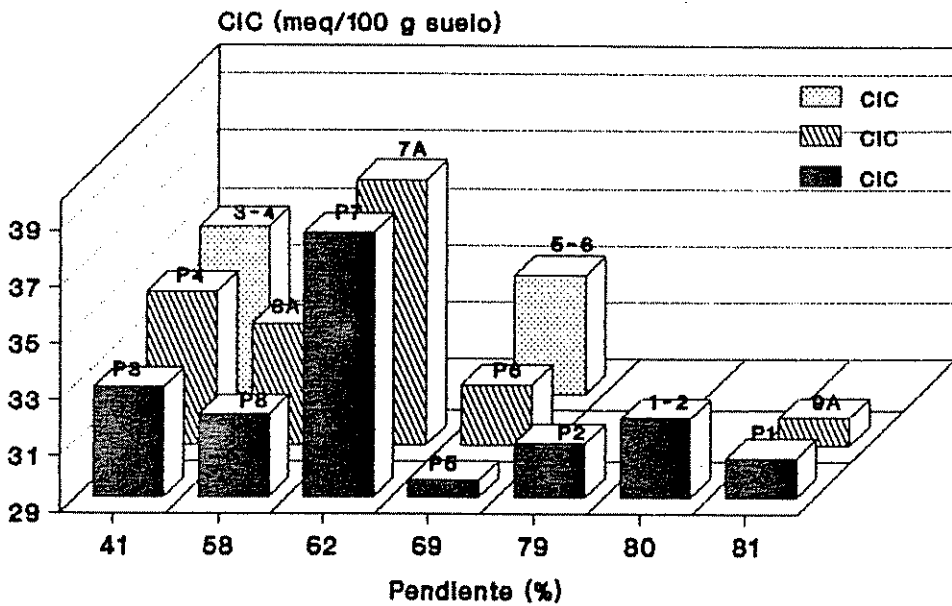


Figura 13. Relación entre la capacidad de Intercambio catiónico y la pendiente por parcela.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es alta para todas las parcelas, variando de 29,61 a 38,37 meq/100 g suelo como se muestra en el cuadro 2A. Al igual que la M.O, la CIC tiende a bajar con relación al incremento de la pendiente. Esta tendencia es explicada en un 37% por el modelo lineal presentado en la figura 13.

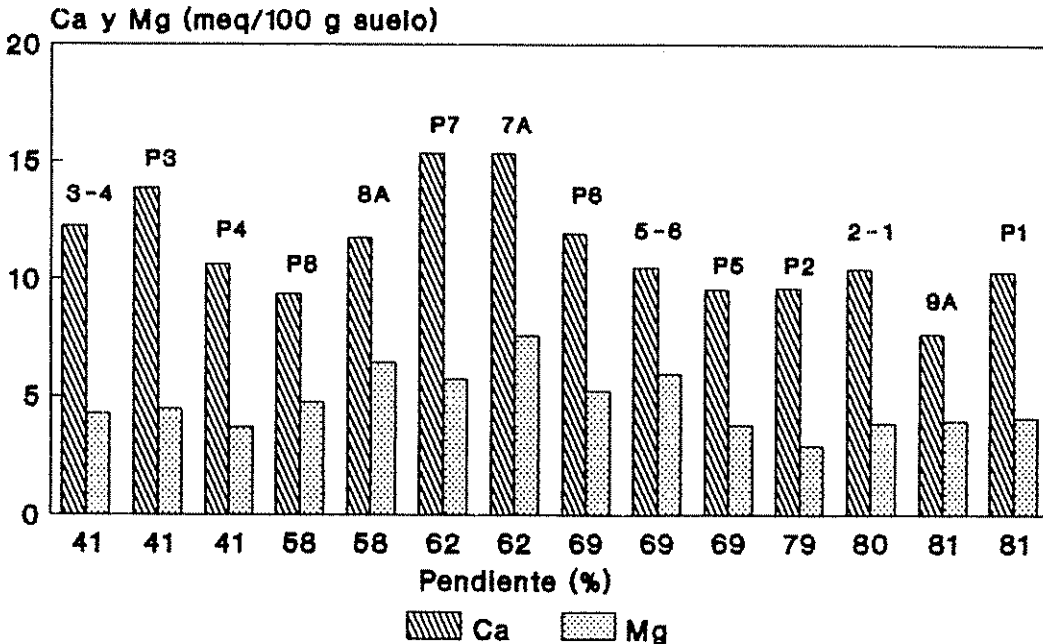
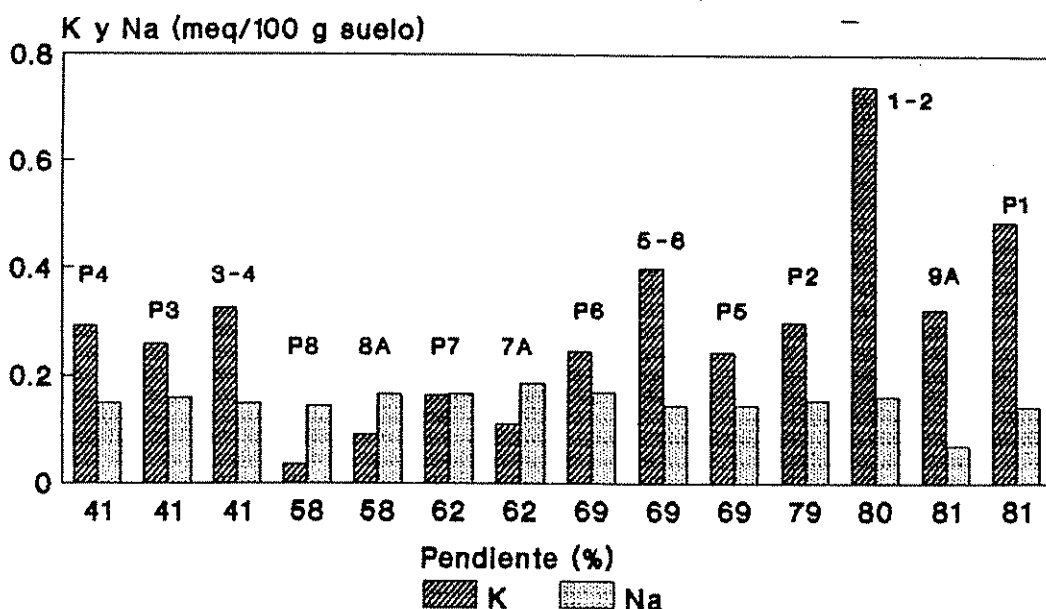


Figura 14. Relación entre el contenido de Ca y Mg cambiabile y la pendiente por parcelas.

El Ca cambiabile varía de 7,63 meq/100 g suelo en el punto 8a a 15,33 meq/100 g suelo para la zona aledaña a la parcela 7 (charral) tendiendo a reducirse con la pendiente. El Mg cambiabile fluctúa de 2,90 meq/100 g suelo a 7,94 meq/100 g suelo para la parcela 2 (café tradicional, cobertura de 65% y pendiente de 79%) y en el punto 7A (charral) (ver figura 14). Mientras que para el K (el cual presenta un ligero incremento al aumentar la pendiente del terreno, como se puede observar en la figura 15) y Na cambiabile se determinaron valores de 0,04 meq/100 g suelo (Parcela 8) a 0,74 meq/100 g suelo (punto 1-2) y de 0,07

meq/100 g suelo en el punto 9A (pasto) a 0,19 meq/100 g suelo para el área aledaña al charral, respectivamente. clasificandose estos contenidos como medio para el Ca, de medio a bajo para el Mg, de medio a alto para el K y el nivel de Na es considerado como bajo, características propias de los suelos de regiones húmedas, especialmente Ultisoles y Alfisoles.



**Figura 15. Relación entre el contenido de K y Na cambiante y la pendiente por parcela.**

#### 4.2 Relación entre las variables edáficas

Haciendo una comparación con los análisis realizados en este experimento en 1987 y 1989 (ver cuadro 3A) y los reportados en este estudio se observa un cambio en las propiedades físicas y químicas. En cuanto a las variables físicas se detectó una transformación en el contenido granulométrico de los suelos, presentando la variación más marcada en el contenido de limo, el cual se redujo de 42% y 43,80% en el 1987 a 30,50% y 26,88% en 1991 tanto en el perfil 2 como en el 3. Mientras que el contenido de arena



varió de 10,40% a 31,38% (perfil 2) y de 16,20% a 27,01% (perfil 3). En ese sentido el porcentaje de arcilla bajó 9,88% y aumentó 6,11%, pasando la clase textural de arcillo limoso y franco arcillo limoso a franco arcilloso y arcilloso para los perfiles 2 y 3 respectivamente, lo cual de acuerdo con Sánchez (1981), es típico en los suelos Ultisoles y Alfisoles infiriéndole esto su susceptibilidad a la erosión.

Por su parte se encontró una reducción en la densidad de partículas ( $D_r$ ) de 2,72 g/cc y 2,62 g/cc a 2,50 g/cc, lo cual unido a una clara tendencia a aumentar en la densidad aparente, nos permite suponer una reducción en el espacio aéreo, en la capacidad de retención de humedad y por ende en la conductividad hidráulica.

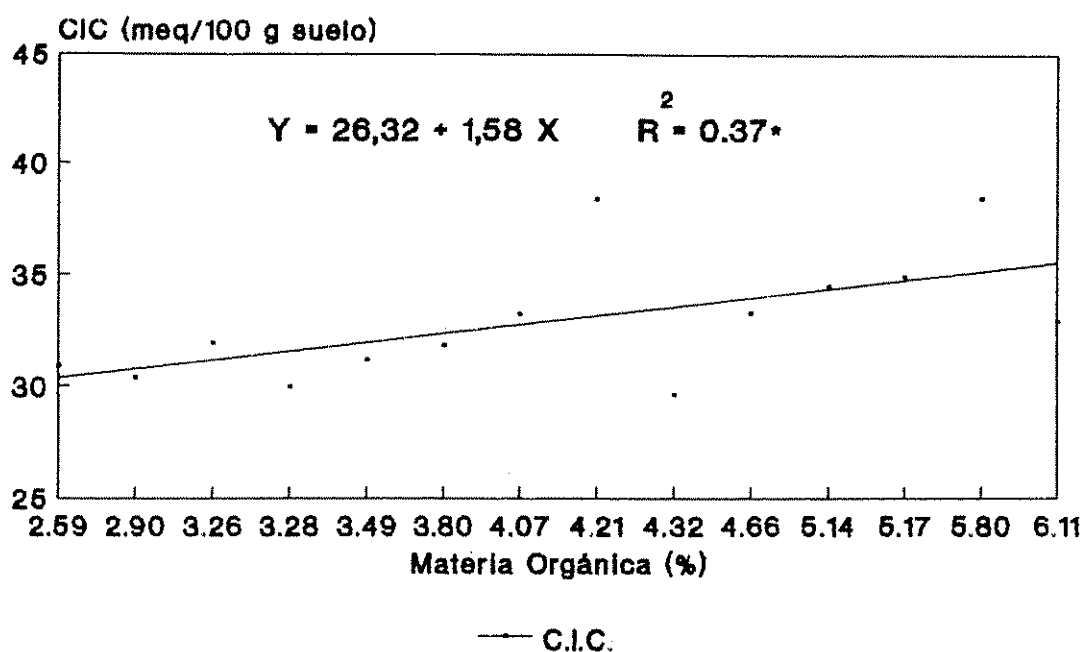


Figura 16. Relación entre la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico por parcela.

Para las características químicas se encontró una ligera diferencia entre la CIC reportada por Faustino (1987) (ver

cuadro 3A) (32,6 meq/100 g suelo y 35,6 meq/100 g suelo) y la determinada cinco años después ( 33,27 meq/100 g suelo y 31,81 meq/100 g suelo para los perfiles 2 y 3 respectivamente). En 1987 la CIC del perfil 2 se determinó mediante el método de extracción con BaCl<sub>2</sub>-TEA a pH 8,2. Este método sobreestima la capacidad real del suelo de retener cationes, por lo tanto se puede concluir que el incremento en este perfil fue mayor que el reportado. Esto puede estar asociado al cambio en el contenido de arcilla y materia orgánica, como producto de la erosión hídrica.

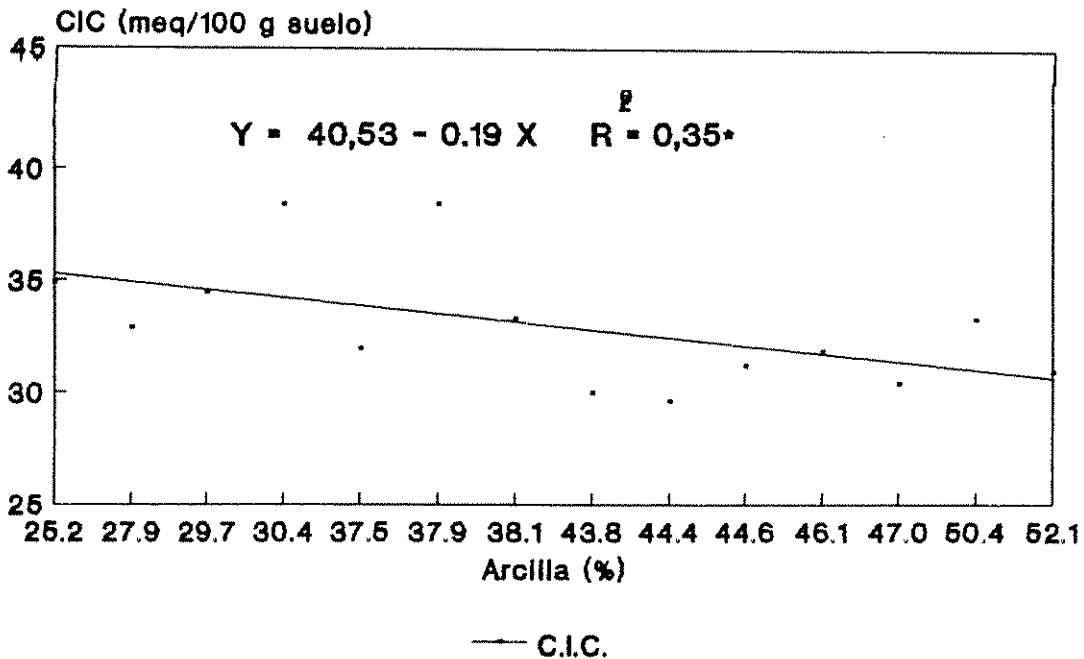
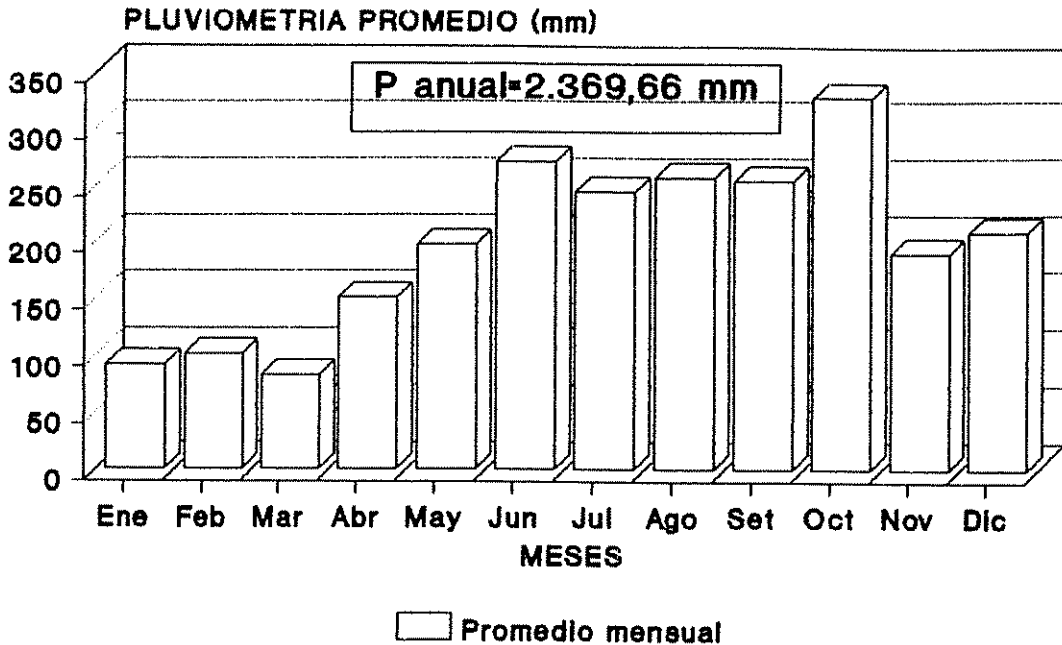


Figura 17. Relación entre el contenido de arcilla y la capacidad de Intercambio catiónico (CIC) por parcela.

#### 4.3 Precipitación

En el cuadro 4A se presentan los valores de precipitación mensual y anual para el periodo de enero de 1987 al 15 de julio de 1991. Los meses sin información fueron estimados con base en los datos de la estación ICE/IMN no. 07344, ubicada en La Suiza a 2 Km de distancia de las

parcelas evaluadas. La misma se encuentra localizada a igual altura que la estación de la finca "La Selva".

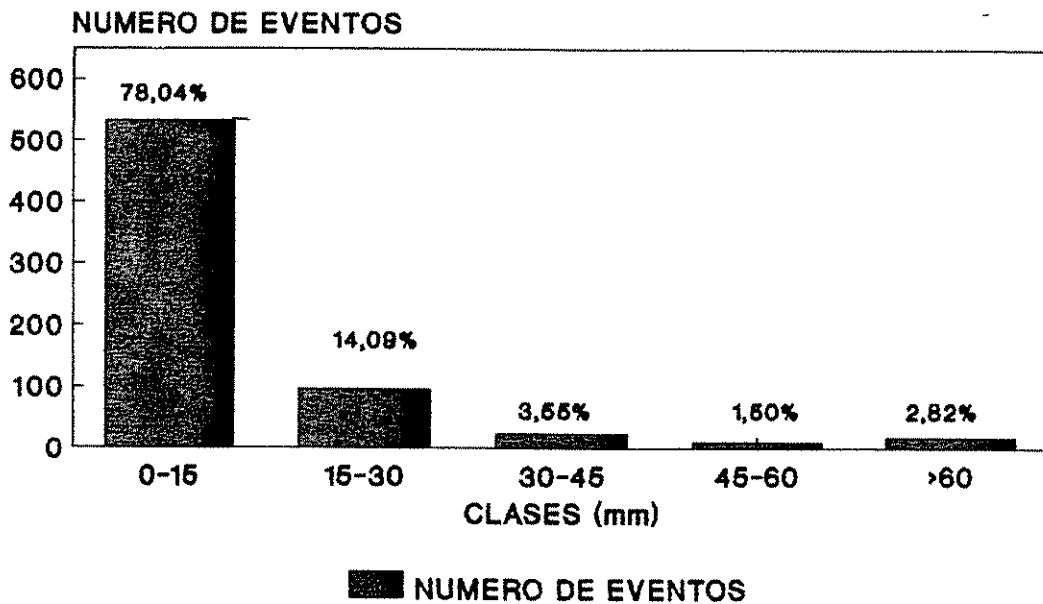


**Figura 18. Precipitación promedio mensual para los años 1987-91 en finca "La Selva", La Suiza, C.R.**

Se obtuvo una precipitación promedio anual de 2.369,66 mm, presentándose valores extremos en los meses de octubre de 1987 y junio de 1991 (ver figura 18). Como se puede observar en el cuadro 4A, los primeros meses del año son los de menor precipitación, mientras que los de más lluviosos se dan de mayo a diciembre.

En total se registraron 682 eventos de los cuales el 78,04% fueron menores de 15 mm de precipitación (ver figura 19 Y cuadro 5A), intensidad menor de 15 mm/h e isoerosividad menor a 1 Kgm/m<sup>2</sup>\*mm/h. Resultados similares fueron obtenidos por Apolo (1980) en La Suiza, Bermúdez (1980) en Florencia Sur, Cáceres (1981) y Estribí (1984) en Balalaica. Esto se ajusta al comportamiento general de las lluvias tropicales,

donde el mayor porcentaje de las mismas está representado por lluvias ligeras (Súarez de Castro, 1979).



**Figura 19. Distribución de la precipitación durante los 1987-91 en finca "La Selva", La Suiza, C.R.**

Con respecto a la intensidad de la lluvia se encontró que esta variable en 15 minutos fue mayor que la calculada en 30 minutos. Lo mismo sucedió con los índices de isoerosividad de la precipitación R15 y R30, como se observa en las figuras 20 y 21. El R15 promedio anual fue de medio a bajo (835,38 Kgm/m<sup>2</sup>\*mm/h), duplicando el valor del R30. Los meses de agosto y octubre mostraron los mayores índices de isoerosividad (ver cuadros 6A y 7A).

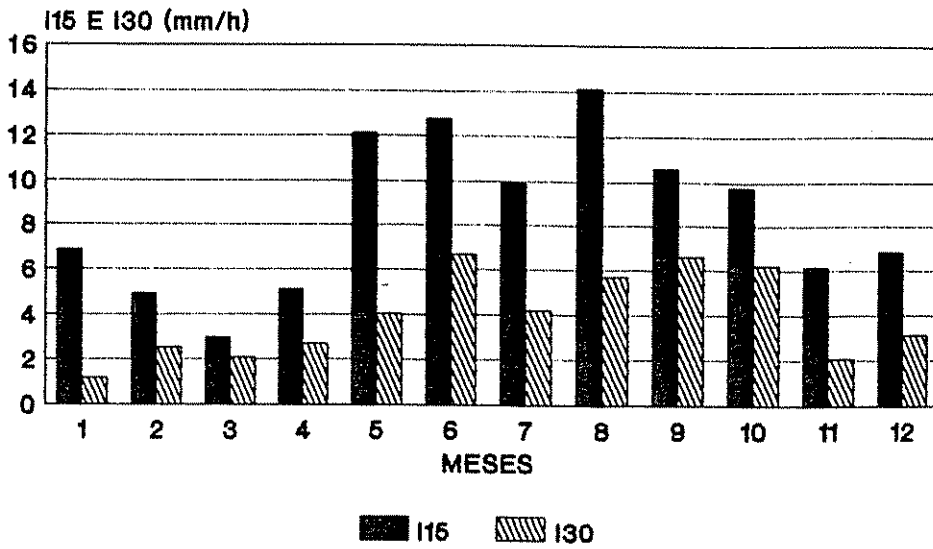


Figura 20. Valores promedio mensuales de la intensidad de la lluvia en 15 y 30 minutos para los años 1987-91.

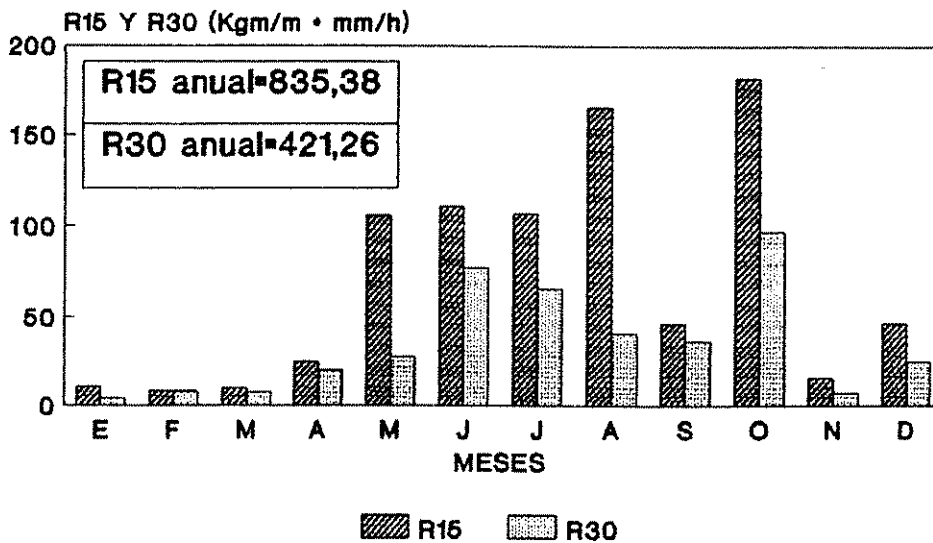


Figura 21. Valores mensuales de R15 y R30 para el período de 1987-91 en finca "La Selva", La Suiza, Costa Rica.

#### 4.4 Escorrentía superficial

Como se observa en el cuadro 3, las parcelas con cultivo de café y con medidas de conservación de suelo (3 y 1), presentaron los menores valores de escorrentía (3,74% y 5,43% de la precipitación total). Por el contrario las parcelas 4, 5 y 2 con café tradicional y con menor cobertura vegetal mostraron los mayores valores de escorrentía (7,71%, 6,57% y 10,06% de la precipitación total, respectivamente). Tal como se esperaba las parcelas 6 (frijol) y 8 (desnuda) registraron los más altas tasas de escorrentía (12,06% y 19,45% de la lluvia total) (ver fig 22). Estos valores son considerados altos al compararlos con los obtenidos por otros autores (Bermúdez, 1980; Cáceres, 1981 y Estribí, 1984) para la región de Turrialba, con la excepción de Apolo (1980), quién reporta un valor promedio de 7,42%.

CUADRO 3. Volumen, índice de escorrentía y número de eventos totales por parcela en la finca "La Selva, La Suiza, C.R., 1987-1991.

PARCELA No.	VOLUMEN DE ESCORRENTIA (mm/m <sup>2</sup> )			INDICE ESC(%)	NUMERO EVENTOS
	TOTAL	PROMEDIO	MAXIMA		
1	423,37	1,18	15,60	5,43	284
2	622,30	2,02	26,11	10,06	289
3	234,35	0,70	15,63	3,74	244
4	389,93	1,34	11,46	7,71	271
5	511,21	1,46	19,85	6,57	287
6	674,30	2,24	17,08	12,06	279
7	325,44	1,57	10,71	8,49	233
8	1.217,41	4,26	26,08	19,45	286

Por otro lado, la cobertura vegetal presenta una mejor relación con los niveles de escorrentía ( $R^2=0,815$ ) en comparación con la pendiente y las variables edáficas. Como se puede observar en el cuadro 10A, la característica pluviométrica que en mayor grado se relacionó con el agua

escurrida fue la precipitación total. Esto coincide con los datos obtenidos por otros autores (Rocha, 1977; Apolo, 1980; Bermúdez, 1980) en estudios realizados en esta zona. El factor R15 calculado con base en una intensidad de 15 minutos, explicó el comportamiento de la escorrentia mejor que el R30, igual resultado reportó Adiopodumé citado por Roose (1976) en Africa. El modelo logaritmico fue el que mejor ajuste presentó para expresar dichas relaciones.

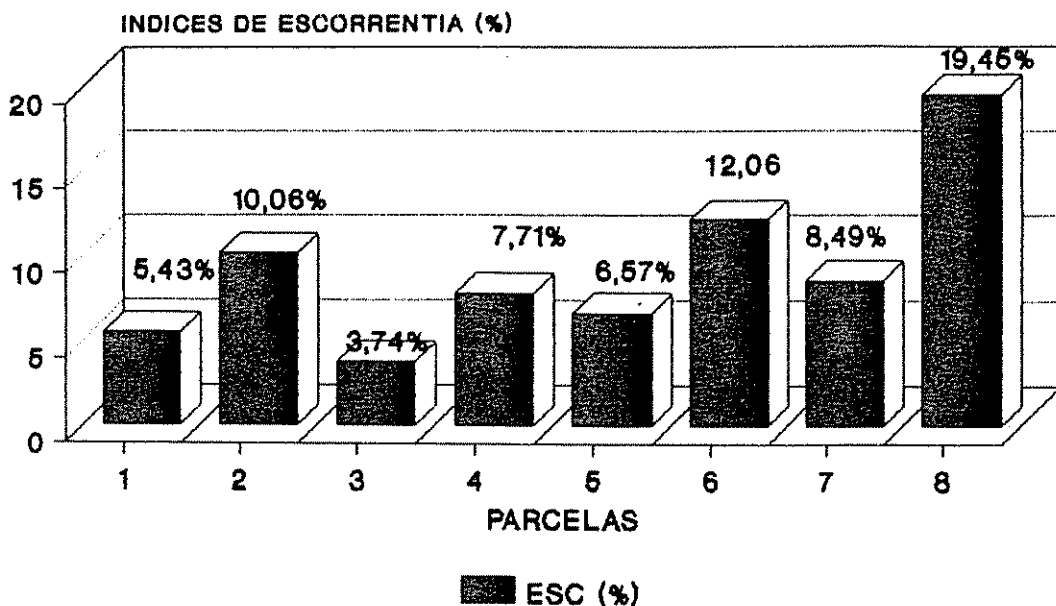


Figura 22. Porcentaje de la precipitación total que escurre por parcela, "La Selva", C.R. Años 1987-91.

#### 4.5 Pérdida de suelo.

La pérdida de suelo por erosión hídrica, se cuantificó para los eventos ocurridos del 1ro de enero al 2 de julio de 1991. Se produjeron un total de nueve eventos erosivos entre el 3 de junio y el 2 de julio. El mes de junio para este año presentó una precipitación extrema de 381,90 mm.

La figura 23 muestra los niveles de erosión determinados para cada parcela. Las parcelas que presentaron las mayores cantidades de suelo arrastrado debido a la escorrentía, fueron la 6 (frijol) y la 8 (desnuda) cuyos niveles de cobertura son menores. Mientras que las menores cantidades de suelo erodado fueron encontradas en las parcelas con medidas de conservación de suelo (1 con 6,87 Kg/ha y 3 con 10,73 Kg/ha), en comparación con las parcelas con el sistema de manejo tradicional. Los totales de suelo erodado resultaron ser menores que los reportados por Uribe (1970) para un cafetal sin sombra y en un suelo con 60% de pendiente. Además, el mismo autor indicó que con el empleo de coberturas de *Indigophera* spp en plantaciones de café se reduce la erosión en un 85%. Por su parte Bermúdez (1980) - quien estudió la erosión en cafetales con y sin sombra - encontró un valor promedio de de suelo perdido de 170 kg/ha para un período de seis meses. Esto coincide con los datos reportados por Sancho (1991).

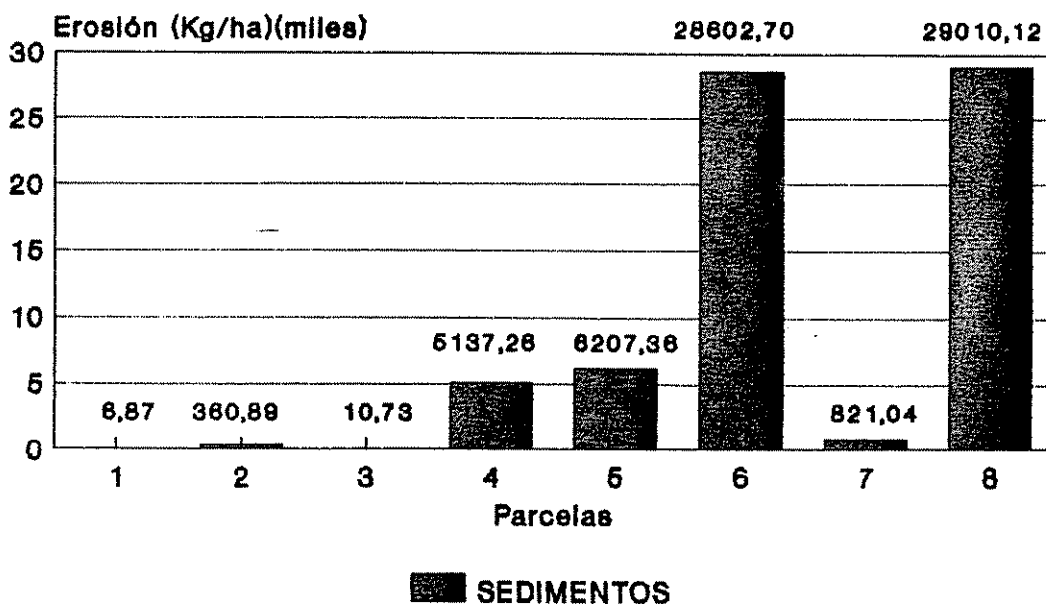
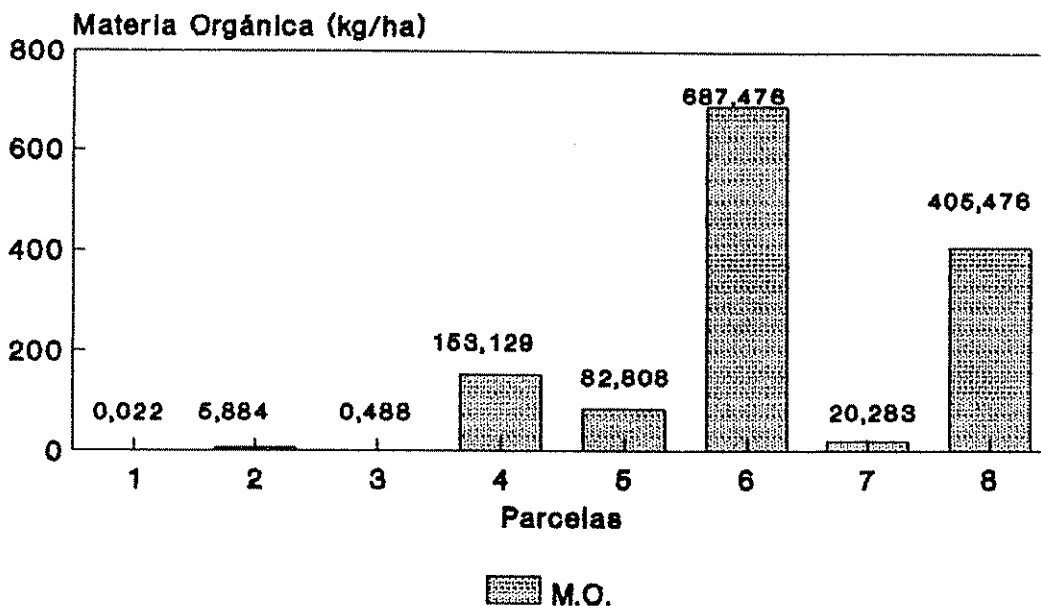


Figura 23. Pérdida de suelo (Kg/ha) por parcela en la finc "La Selva", La Suiza, Costa Rica. mayo-julio 1991.



#### 4.5.1 Pérdida de materia orgánica

Como se observa en el cuadro 9A y en la figura 24, los valores de pérdida de materia orgánica, oscilan de 0,320 kg/ha para la parcela 1 (café con medidas de conservación de suelo) y 687,476 kg/ha para la parcela 6 (frijol). Esto muestra que los niveles de pérdida de esta variable, dependen tanto de su contenido en los suelos de las parcelas como en el suelo erodado, como lo mencionan Knoblauch y colaboradores (1942). Además, Guerrero y Gamboa (1972) reportaron pérdidas de materia orgánica entre 22,80 ton/ha y 114,80 ton/ha. También Estribí (1984), encontró que el suelo cubierto con pasto presentaba una disminución en el contenido de materia orgánica de un 30,47% con respecto al bosque. Esto representó una pérdida de 24,07 ton/ha. Se puede decir por lo tanto, que no sólo existe un efecto del grado de cobertura sobre la pérdida de materia orgánica, sino también del tipo y altura de la misma. Lo expresado anteriormente se evidencia al comparar los datos de pérdida de esta variable en las parcelas evaluadas.



**Figura 24. Pérdida de M.O (Kg/ha) en el suelo erodado por parcela en finca "La Selva", La Suiza, C.R. 1991.**

#### 4.5.2 Pérdida de nitrógeno, fósforo y potasio

Los datos de pérdida de macronutrientes se muestran en el cuadro 9A y la figura 25. Como se puede notar el potasio presenta los mayores valores de pérdida, fluctuando de 2.151,575 kg/ha a 323,162 kg/ha. El fósforo por su parte osciló de 146,81 kg/ha a 25,448 kg/ha, mientras que el nitrógeno varió de 2,198 kg/ha a 4.301,414 kg/ha. Estos datos presentan un comportamiento similar al del contenido de materia orgánica, con relación al contenido de suelo erodado.

Los resultados anteriores superan los valores encontrados por otros autores (Suárez y Rodríguez, 1962; Uribe, 1966; Bermúdez, 1980 y Sancho, 1991). En este sentido, se puede señalar que la pérdida de macronutrientes fue menor en las parcelas con medidas de conservación de suelos que en aquellas carentes de las mismas (café tradicional).

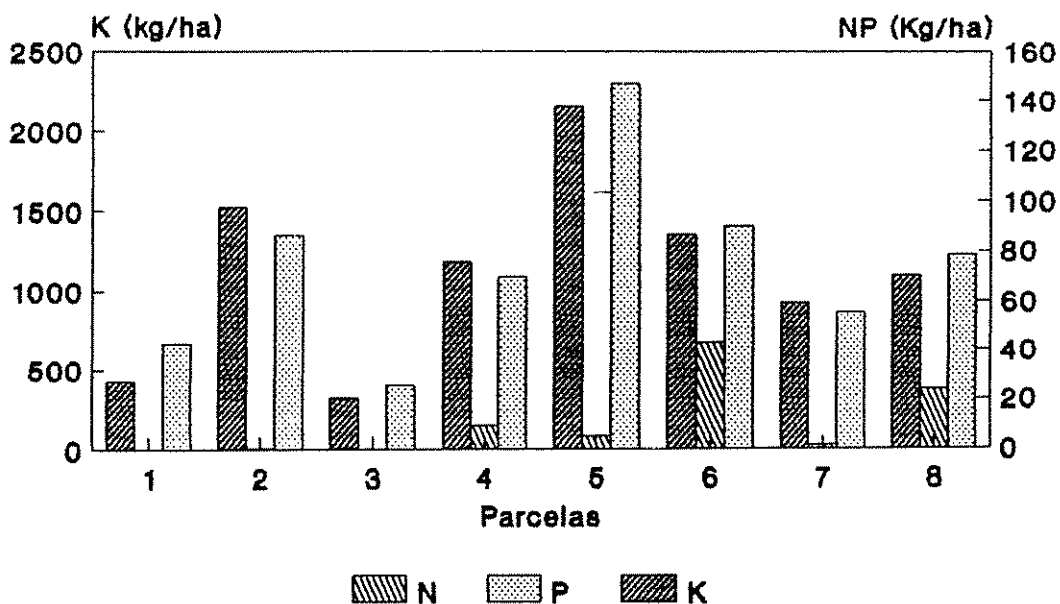


Figura 25. Pérdida de NPK (Kg/ha) en el suelo erodado por parcela en finca "La Selva", La Suiza, C.R. 1991.

#### 4.6 Perspectiva social de la erosión en la zona

Según Pérez (1990), en la zona de La Suiza la principal actividad es la agricultura, predominando dos cultivos, el café y la caña de azúcar. El 90% de las fincas de café son propiedad de los agricultores. Su tamaño varía de 1 a 20 has y la mayoría se cultivan en el sentido de la pendiente, con bajas densidades de siembra y con altas aplicaciones de fertilizantes químicos. Los rendimientos obtenidos son bajos (934 kg/ha) en comparación con el promedio nacional (5000 kg/ha), producto de la marginalidad agroclimática del cultivo (Gómez, 1974). En este aspecto se considera un factor importante la inexistencia de medidas de conservación de suelos.

Marín (1991), reportó que el 85% de los cafetales de la zona se manejan bajo el llamado sistema tradicional (similar al sistema de manejo aplicados a las parcelas 2, 4 y 5), que se caracteriza por la eliminación del mantillo para facilitar la cosecha y la siembra en el sentido de la máxima pendiente. Se encontró que el 85% de las plantaciones están en un rango de pendiente entre 41% y 80%.

Se percibe un conocimiento de la existencia de diversos tipos y grados de erosión (66% de los encuestados). Además, el 81% de los mismos respondieron que no han recibido cursos de conservación de suelos, coincidiendo esto con el bajo nivel de asistencia técnica en la zona. De acuerdo con Pérez (1990), COOPESUIZA, R.L. le brinda crédito y asistencia al 70% de los agricultores de la zona, quienes plantean que sólo le prestan para la renovación de los cafetales (63%) y para la compra de insumos (37%). Cabe resaltar que únicamente tres de los encuestados por Marín (1991) manifestaron conocer las parcelas de escorrentía establecidas en la finca "La Selva". Con base en lo anterior se puede suponer que el efecto demostrativo de las parcelas establecidas en la finca

"La Selva", fue bajo. Esto debido a la inexistencia de un programa estructurado de difusión y extensión de las medidas de conservación de suelos.

## 5. CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas y químicas del suelo presentaron un mejor balance en las parcelas con mayor densidad de cobertura y menor inclinación de la pendiente. Estas fueron la parcela 3 (con café sin sombra, 95% de cobertura - incluyendo a nivel del suelo- y 41% de pendiente) y la parcela 1, que solo difiere con la anterior en la pendiente (81%), superando a las demás; excepto a la ubicada en el charral.

2. Las lluvias de la zona se caracterizan por ser ligeras (menores de 15 mm) representando el 78% de los eventos ocurridos durante el período de estudio (1987-1991). Los meses de mayor intensidad se dan de mayo a diciembre (más de 200 mm e isoerosividad superior a los 50 Kgm/m<sup>2</sup>\*mm/h).

3. Las parcelas con medidas de conservación de suelo fueron las que presentaron los menores índices de escorrentía, con 3,74% de la lluvia total para el café sin sombra, 95% de cobertura vegetal, barreras vivas y 41% de pendiente. Se encontró que la característica de las parcelas que mejor se relacionó con esta variable fue la cobertura vegetal ( $R^2=0,815$ ), ajustándose mejor el modelo lineal.

4. Coincidiendo con Rocha (1977), Apolo (1980) y Bermúdez (1980), la característica de la lluvia que mejor se relacionó con la escorrentía fue la precipitación total. Siendo el modelo logarítmico el que mejor ajuste presentó (con  $R^2$  igual o mayor a 0,60). También se encontró una buena relación con el factor R. El mismo fue mejor cuando se calculó con base en una intensidad máxima de 15 minutos, a diferencia del calculado en 30 minutos. Esta característica es propia de las zonas con influencias atlánticas.

5. Al analizar la pérdida de suelo, su contenido de M.O. y de macronutrientes se encontró un comportamiento similar a la escorrentía. Observándose los menores valores en las parcelas con medidas de conservación de suelo (barreras vivas y cobertura baja). Estos niveles de pérdidas se consideran bajos para las parcelas con café, a pesar de ser cuantificados en un período caracterizado por eventos extremos.

6. Se determinó que las características de uso y manejo de las parcelas son similares a los sistemas implementados por los agricultores de la zona. Marín (1991) encontró que el 85% de los mismos siembran el café en el sentido de la pendiente (60% de promedio), con baja densidades, con el suelo limpio (eliminando el mantillo). Con base en lo anteriormente planteado y de acuerdo con los resultados de este estudio, existen indicios para aseverar que el sistema tradicional de cultivar el café podría ser una de las principales causas de los niveles de escorrentía y pérdida de suelo en la cuenca del Río Tuis.

7. A pesar de las actividades de extensión realizadas (días de campo, cursos, charlas y programas radiales, etc. ) el efecto demostrativo de las medidas implementadas en la finca "La Selva", fue bajo de acuerdo con los resultados de las encuestas realizadas por Pérez (1990) y Marín (1991). Influyendo en ello factores culturales, socioeconómicos y la inexistencia de un sistema de extensión estructurado que incluya la adopción de la conservación de suelo como uno de sus componentes.

## 6. RECOMENDACIONES

1. La región estudiada es definida como marginal desde el punto de vista agroclimático para el cultivo del café, clasificándose sólo con aptitud para bosque de protección. Se considera que esta condición puede cambiar con la implementación de medidas de conservación de suelo, basadas en el manejo de la cobertura vegetal.

2. Se recomienda la realización de estudio que identifiquen las cualidades del mantillo y de especies rastreras que puedan contribuir en la reducción de los efectos de la escorrentía superficial y la erosión del suelo.

3. Se reconocen las limitantes de este trabajo, principalmente la falta de diseño estadístico. Razón por la cual, se recomienda utilizar la información resultante de este estudio como una primera aproximación en el conocimiento de los efectos del uso y manejo de los recursos naturales en la zona.

4. Los organismos estatales y no gubernamentales deben incluir la asistencia técnica en conservación de suelo, con la finalidad de mejorar el sistema de manejo utilizado por los caficultores de la cuenca.

## 7. REFERENCIAS

- AHMAD, N. ; BRECKNER, E. 1976. Soil erosion in three Tobago soils. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 51(2): 3113-324.
- AMEZQUITA, E. ; FORSYTHE, W. 1975. Aplicación de la ecuación universal de pérdidas de suelo en Turrialba, Costa Rica. In Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 5ta, Medellin, Colombia. 30 p.
- APOLO, B. W. 1980. Evaluación de la escorrentía superficial y la erosión en un pastizal con árboles aislados en La Suiza, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 69 p.
- BATHIA, K. S.; SINGH, R. S. 1976. Evaluation a rainfall intensities and erosion index value for soil conservación. *The Indian Forester (India)* 102(10): 726-734.
- BERMUDEZ, M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema de café (*Coffea arabica* L.), poró (*Erythrina poeppigiana*) y laurel (*Cordia alliodora*) en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 74p.
- BHOLA, S. ; SINGH, G. ; DAYAL, R. 1969. Characteristics of two soils series. *Indian Forester (India)* 95(4): 253-262.
- BRADY, N. 1974. The nature and properties of soils. Mac Millan, New York. 639 p.
- CLARKIN, K. 1983. Inventario de los recursos naturales y características socioeconómicas de las subcuencas Danta Y Leona de la cuenca del Río Tuis, La Suiza, Turrialba, Costa Rica. 63 p.
- COSTA RICA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. 1985. Localización y valoración de la masa forestal en Costa Rica. Primera fase: Localización y caracterización. San José, Costa Rica. 67 p. (Documento de trabajo No. 34.)
- DIAZ-ROMEU, R. 1982. Determinación del nitrógeno total en suelos. Método semimicrokjeldahl. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 2 p.



- \_\_\_\_\_ ; BALERDI, F. 1969. Determinación de la capacidad de intercambio de cationes del suelo. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 3 p.
- \_\_\_\_\_ ; HUNTER, A. 1982. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal y de investigaciones en invernadero. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 62 p.
- DOUROJEANNI, M. J. 1982. Recursos naturales y desarrollo en América Latina y el Caribe. Lima, Perú, Universidad de Lima. 437 p.
- \_\_\_\_\_ ; PAULET, M. 1976. La ecuación universal de pérdida de suelo y su aplicación en el planeamiento del uso de las tierras agrícolas, estudio del factor de las lluvias en Perú. Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina. Publicación no. 2. 78 p.
- DREGNE, H. E. 1982. Historial perspective of accelerate erosion and effect on world civilization. In Determinants of soil loss tolerance (August, 1979, Fort Collins, Colorado). Proceedings. p 1-14 ASA S.P.45.
- ELLISON, W. 1944. Soil erosion. Soil Science Society Proceedings (EE. UU.) 11(12): 479-484.
- EL-SWAFY, S. 1977. Susceptibilities of certain tropical soil to erosion by water. In GREENLAND, D. and LAL, R. eds. Conservation and Management in the Humid Tropics, Ibadan, Nigeria. June 1975. John Wiley & Sons, New York. pp. 71-80.
- ELWELL, H. ; STOKING, M. 1975. Parameters for estimating annual runoff and soil loss for agricultural land in Rhodesia. Water Resources Research 11(4): 601-605.
- ESTRIBI, C. 1984. Cambios edáficos e hidrológicos de la conversión de bosque a pasto y charral (pasto abandonado) en una zona montañosa húmeda de Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 139 p.
- FAO. 1967 La erosión del suelo por el agua. Colección FAO: Fomento de tierras y agua no.7. FAO, Roma. 207 p.
- \_\_\_\_\_. 1978 La erosión del suelo por el agua. Colección FAO: Fomento de tierras y agua no.7. FAO, Roma. 207 p.

- \_\_\_\_\_. 1983. Mantengamos viva la tierra : Causas y remedios de la erosión del suelo. FAO. Boletín de suelos no. 50. 79 p.
- FAUSTINO, J. 1986. Erosión potencial y erosión actual. Turrialba, C.R., CATIE. 47 p. (Presentado en: Curso de posgrado Conservación de Suelos y Aguas)
- \_\_\_\_\_. 1990. Curso de conservación de suelos y aguas. CATIE, Turrialba, C.R.
- \_\_\_\_\_; SAUER, E.; LAATS,-H. 1987. Establecimiento de parcelas de escorrentía en la finca "La Selva", Cuenca del Río Tuis, Costa Rica. Informe General de la Etapa I de Investigación. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 62 p.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. 1975. Manual de conservación de suelos de ladera. Chinchiná, Colombia. Centro Nacional de Investigaciones de Café. 267 p.
- FORSYTHE, W. 1980. Manual de laboratorio de física de suelos. IICA, Turrialba, C.R. 212 p.
- \_\_\_\_\_. 1985. Física de suelos. Manual de laboratorio. IICA, Turrialba, C.R. 212 p.
- FOURNIER, F. 1974. Conservación de suelos. Traducido del francés por Edis. Mundi-Prensa, Madrid. 254 p.
- GAVANDE, S. 1976. Física de suelos, principios y aplicaciones. México, Limusa. 351 p.
- GILMOUR, D.A. Hydrological investigation of soil and vegetation type on the lower coter catchement. Australian Forestry (Australia) 3(40): 243-256.
- GREENLAND, D. 1977. Soil structure and erosion hazard. In GREENLAND, D. and LAL, R. eds. Conservation and Management in the Humid Tropics, Ibadan, Nigeria. John Wiley & Sons, New York. 1977. pp. 49-46.
- GUTIERREZ, M. 1987. Determinación del índice de erosividad de las lluvias y su relación con la cobertura vegetal y pendientes, para la cuenca del río grande de Térraba, C.R. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 121 p.

- HERNANDEZ, H. 1985. Determinación del índice de erosividad de la lluvia para la zona sur-occidental de Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos. 44 p.
- HIBBERT, A. 1971. Increase streamflow after coverting chaparral to grass. Water Resources Research 5(3): 634-640.
- HILL, J, ; SUMMER, M. 1967. Effect of bulk density on moisture characteristic of soil. Soil Science 103(4): 234-238.
- HOLDRIDGE, L. 1978. Ecología basada en zonas de vida. Traducido de la 1a. ed. inglesa por Humberto Jiménez Saa. San José, Costa Rica, IICA. 216 p.
- HUDSON, N. 1981. Soil conservation. Ithaca, New York, Cornel University press. 324 p.
- \_\_\_\_\_. 1982. Conservación de suelos. Traducido de la 1a. ed. inglesa por José María García Ruiz y Juan Pablo Martínez Rico. Barcelona, España, Reverté. 333 p.
- INSTITUTO SALVADOREÑO DE INVESTIGACIONES DEL CAFE. 1976. Manual técnico del cultivo del café en El Salvador. Santa Tecla, El Salvador. Depto. de Información agropecuaria. MAG. 267 p.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR ENVIROMENTAL AND DEVELOPMENT. 1985. Natural resource and economic in Central America: a regional enviromental profile executive summary. Washington D.C., U.S.A. 27 p. (mimeografiado).
- IVES, N. 1951. Soil and water runoff studies a tropical region. Turrialba (C. R.) 1(5): 240-244.
- KASS, D.; DIAZ, R. 1990. Curso de manejo de suelos del trópico. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- KIRBY, M. ; MORGAN, P. 1984. Erosión de suelos. Traducido de la 1a. ed. inglesa por José Hurtado Vega. México, D.F., Mexico, McGraw-Hill. 386 p.
- KNOBLAUCH, H. 1944. Erosion losses of mayor plant of nutrients and organic matter from Colington sandy loan. Soil science 53: 369-378.

- LAL, R. 1977. Analysis of factors affecting rainfall erosivity and soil ecodivility. *In* GREENLAND, D. and LAL, R. eds. Conservation and Management in the Humid Tropics, Ibadan, Nigeria. John Wiley & Sons, New York. 1977. pp. 49-46.
- LEDESMA, R. 1985. Uso de la tierra en la cuenca de Ocoa: Agente causal de la degradación del recurso suelo. *In* Seminario Internacional de Conservación de Tierras y Aguas. (1, 1985, Santo Domingo, R.D.). {Informe}. S.E.A., Santo Domingo, R.D. 14 p.
- LEON, R. 1990. Medición de la hidroerosión laminar, utilizando varillas metálicas asociadas a parcelas de escorrentia. La Suiza, cuenca del río Tuis, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 153 p.
- LEONARD, H. D. 1986. Recursos naturales y económicos en América Central; Un perfil ambiental regional. Trad. por Geraldo Budowsky y Tirso Maldonado. CATIE, San José, C.R. 268 p.
- LOVEYJOY, S. B.; NAPIER, T. L. 1986. Conserving soil: Socioecological insights. *Journal of Soil and Water Conservation* (EE. UU.) 41(5): 304-310.
- LUGO, M. A. 1963. Características del suelo que determinan su resistencia o susceptibilidad a la erosión. *Revista de Agricultura de Puerto Rico* 50(2): 91-92.
- LUNA, C. 1969. Aspectos genéticos de "Andosoles" en Colombia. *In* Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, FAO/IICA A-3. pp. 1-13.
- MARIN, S. 1991. Proceso de adopción de las prácticas de conservación de suelos de los productores de café en la cuenca del río Tuis. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 98 p.
- MENDIETA, J. A. 1983. Influencia del cultivo de papa y zanahoria sobre la erosión de ladera en la región del volcán Barú, Panamá. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 102 p.

- MORA, I. 1987. Evaluación de la pérdida de suelo mediante la ecuación universal (EUPS): Aplicación para definir acciones de manejo en la cuenca del Río Pejibaye, Vertiente Atlántica, C.R. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 104 p.
- MORRON, T. M. 1967. Conservación de suelos a través del bosque. Revista Nacional de Agricultura (Colombia) 61(478): 339-344.
- NEVES, H. 1988. Factores sociales y sus consideraciones para evaluar la efectividad social de las prácticas de conservación de suelos. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 20 p.
- NUNEZ, J. 1986. Estudio semidetallado de suelos en el área sur de la cuenca del Río Tuis. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 310 p.
- OLAYA, A. 1985. Metodología para determinar prioridades de manejo integral de cuencas hidrográficas y su aplicación en Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica, UCR/CATIE. 196 p.
- PAULET, I. M. 1974. Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvias del Perú. Universidad Agraria La Molina. Depto. de Recursos de Agua y Tierra. Publicación no. 5. 55 p.
- PEREZ, L. A. 1990. Manejo institucionalizado hacia la sostenibilidad del uso de la tierra en cuencas pequeñas: La cuenca del Río Tuis, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 175 p.
- POPENOE, H. 1960. Effects of shifting cultivation on natural soil constituents in Central America. Thesis Ph. D. University of Florida, Florida, U.S.A. 156 p.
- ROCHA, J.A. 1977. 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. 182 p.

- ROOSE, E. J. 1975. Erosion et ruissellement en Afrique de l'ouest. Ving années de mesure en petites parcelles expérimentales. ORSTM, Laboratoire de pédologie. Abidjam, Costa de Marfil. 72 p.
- \_\_\_\_\_.; LELONG, F. 1976. Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique Tropicale. Etudes sur petite parcelles expérimentales de sols. Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique 18(4): 365-347.
- SAENZ, M. A.; QUESADA, M. C. 1974. Algunos aspectos básicos agrológicos de Costa Rica. San José, Costa Rica, MAG. 291 p.
- SAIZ DEL RIO, J.; BORNEMISZA, E. 1961. Análisis químicos de suelo, método de laboratorio para diagnosis de fertilidad. Turrialba, Costa Rica. 107 p.
- SANCHO, F. 1991. Medición de pérdidas de suelo a través del empleo de parcelas de escurrimiento. In Taller de Erosión de suelos (julio, 1991, Heredia, C.R.). {informe}. Heredia, C.R., UNA. 14 p.
- SINGH, A. ; VERMA, K. 1975. Effect of rainfall intensity and surface condition on water erosion in foothill soil of the punjab. Journal of the Indian Society of Soil Science 23(10): 27-30.
- \_\_\_\_\_.; SHAH, C. M. ; KAMANNAVAR, H. K. 1976. Rainfall erosivity analysis of soil conservation research center, vadad (Gujerat). Indian Forester 102(2): 126-132.
- SMITH, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. U.S.D.A. Agriculture Handbook no 537.
- SUAREZ DE CASTRO, F. 1952. Potencialidad erosiva de las lluvias dentro de un cafetal y al aire libre. Boletín Informativo. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Colombia) 3(32): 21-31.
- \_\_\_\_\_. 1980. Conservación de suelos. San José, Costa Rica, IICA. 321 p.
- \_\_\_\_\_.; RODRIGUEZ, A. 1962. Investigación sobre la erosión y la conservación de suelos en Colombia. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Bogotá. 473 p.

- URIBE, A. 1966. Conservación de suelos en plantaciones de café sin sombra. CENICAFE (Colombia) 22(1): 17-29.
- VALDEZ, A. 1979. Distribución geográfica y características de los suelos derivados de ceniza volcánica de Chile. A-1, 1-14 p.
- VILLAMIL, E. 1979. Estudio de planes de cultivo y riego en el Distrito de Riego "El Salto", Boquete. Tesis Ing. Agr. Universidad de Panamá. Centro Regional Universitario de David. David, Panamá. 103 p.
- WATTERS, R. ; BASCONES, L. 1971. The influence of shifting cultivation on soil properties at Altamira-Calderas, Venezuelan Andes. FAO. For Dev. paper 17. pp. 291-299.
- WILKINSON, G. 1975. Canopy characteristic of maize and the effect on soil in western Nigeria. Tropical Agriculture (Trinidad) 52(4): 289-297.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil Science Society American, Proceedings (EE. UU.) 23(3): 246-249.

**8. ANEXOS**



## ANEXO 1A

## Descripción del perfil 1.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A <sub>1</sub>	0 - 20	Pardo grisáceo muy húmedo (10 YR 3/2 húmedo); franco, estructura granular en bloques subangulares moderadamente fuerte; friable en húmedo y ligeramente adhesivos en mojado; muchos poros finos; raíces en cantidad moderada. No hay moteados; límite no muy definido con 5% de pedregosidad; pH de 5,3.
E <sub>1</sub>	20 - 32	Pardo oscuro (10 YR 3/4, húmedo) ; franco arcilloso; estructura en bloques fuertemente desarrollada; friable en húmedo y ligeramente adhesivo en mojado; poros finos abundantes; pocas raíces, muchas piedras, entre el 30% y 20% son grandes; límite no muy definido; pH de 5,2.
B <sub>1</sub>	32 - 108	Pardo (7,5 YR 4/4, húmedo); franco arcilloso; estructura masiva o prismática, relativamente fuerte; abundantes poros de muy finos a finos; friable en húmedo y plástico y adhesivo en mojado; muy pocas raíces, con diámetros entre 5 cm y 10 cm en proceso de meteorización; no hay moteados; límites no muy definido; pH de 5,3.
B <sub>2</sub>	108 - 140	Pardo rojizo (5 YR 4/4, húmedo); franco arcillo arenoso; estructura masiva fuerte en húmedo; muy pocos poros; no hay moteamiento; muy pocas raíces; 60% de volumen en piedras grandes, no tan meteorizada como la anterior; pH de 5,2.

## ANEXO 2A

## Descripción del perfil 2.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A <sub>1</sub>	0 - 22	Pardo rojizo oscuro (2,5 YR 3/4 en húmedo); franco; estructura blocosa blocosa a prismática; friable en húmedo y pegajoso en mojado; abundantes poros muy finos, finos y grandes; límite ondulado; 10% de volumen en piedras de 5 cm de diámetro, pocas raíces finas, ausencia de raíces grandes; moteados amarillo rojizos (5 YR 6/8 húmedo); pH de 5,3.
E <sub>1</sub>	22 - 70	Rojo oscuro (2,5 YR 3/6 en húmedo); franco arcilloso; estructura en bloques prismáticos quebrando a granular; friable en húmedo y no tan pegajoso en mojado; límite gradual, abundantes poros pequeños y medianos. 10% de piedras, en su mayoría pequeñas (menos que 5 cm de diámetro); muy pocas raíces; pH : 5,1.
B	mayor de 70	Rojo amarillento (5 YR 4/8, húmedo); de franco arcilloso a arcilloso; estructura masiva quebrando a granular; friable en húmedo y no muy pegajoso en mojado; límite gradual; pequeñas piedras en descomposición, aproximadamente en un volumen del 30% aumentando de tamaño con la profundidad; ausencia de raíces; pH de 5,2.

## ANEXO 3A

## Descripción del perfil 3.

Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
AE	0 - 30	Pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4, húmedo); de franco arcilloso a arcilloso; estructura en bloques subangulares a granular; friable en húmedo y pegajoso en mojado; límite ondulado y gradual; abundantes poros pequeños, medianos y grandes; muy poca pedregosidad; raíces finas en cantidad moderada; pH : 5,2.
B	30 - 100	pardo amarillento (10 YR 5/4, húmedo); arcilloso; estructura prismática blocosa y quebrando a granular; raíces escasas; pequeñas piedras en meteorización (5 YR 5/8, húmedo); abundantes poros; muy permeable; límite gradual; friable en húmedo y pegajoso en mojado; pH: 5,2.
C	mayor de 100	Pardo claro (2,5 YR 5/4, húmedo); franco arcilloso; estructura masiva prismática pero se quiebra a bloques; friable en húmedo y pegajoso en mojado; 80% del volumen ocupado por piedras de todo tamaño, en meteorización (5 YR 5/8, húmedo); pocos poros; raíces ausentes; límite gradual; pH de 5,3.

Cuadro 1A. Resumen de las propiedades físicas del suelo evaluadas en la finca "La Selva", La Suiza, Costa Rica. 1991.

PARCELA No.	Retención de Humedad (Kpa)						AMC (%)	Da (gr/cc)	K (cm/h)	POROS		GRANULOMETRIA (%)	
	1	10	33	100	500	1500				TOTAL(%)	Arena	Limo	Arcilla
1	63.84	54.28	52.00	51.01	45.09	42.39	9.61	1.15	4.21	56.60	20.01	32.99	46.99
1-2	57.34	50.68	50.14	46.62	40.56	38.13	12.01	1.08	3.48	59.25	27.01	26.88	46.11
2	72.01	63.14	58.78	54.07	52.41	49.66	15.13	1.15	2.58	56.60	19.38	28.50	52.12
3	68.76	60.69	55.36	52.81	45.63	40.86	14.50	1.11	1.47	58.11	38.27	33.80	27.93
3-4	56.45	52.77	50.20	42.49	37.45	35.29	14.91	1.11	2.55	57.92	46.95	27.84	25.21
4	54.96	48.31	45.04	41.50	37.88	35.75	9.30	1.06	4.90	60.00	37.58	32.70	29.71
5	90.34	76.76	73.79	66.31	63.33	57.02	16.77	1.18	1.65	55.47	23.26	32.37	44.37
5-6	58.98	51.82	49.85	44.51	42.97	38.16	11.70	1.13	5.15	57.96	16.61	32.98	50.42
6	65.05	60.52	55.96	54.22	49.98	45.20	10.76	1.19	1.10	55.09	21.67	33.74	44.58
7	68.21	60.61	51.56	46.12	43.30	38.82	17.74	0.97	5.99	63.40	27.23	34.86	37.92
7A	53.69	46.83	44.66	41.09	39.02	34.29	10.37	0.96	3.57	63.77	35.78	39.80	30.43
8	76.55	68.22	64.30	58.20	56.40	53.26	11.04	1.16	1.12	56.25	31.11	31.40	37.50
8A	79.16	70.62	67.16	59.98	46.88	42.49	24.67	1.07	1.96	59.62	31.98	30.50	38.12
9A	57.94	52.20	48.71	44.01	40.00	37.19	11.52	1.14	1.09	58.87	26.38	29.87	43.74

Cuadro 2A. Resumen de las propiedades químicas del suelo evaluadas en la finca "La Selva", La Suiza, Costa Rica. 1991.

PARCELA No.	C.I.C.	Ca	Mg	K	Na	M.O. (%)	pH/H <sub>2</sub> O 1:25
		meq/100 g suelo					
1	30.39	10.31	4.07	0.48	0.14	2.90	4.98
1-2	31.81	10.44	3.86	0.74	0.16	3.80	5.08
2	30.92	9.63	2.90	0.30	0.15	2.59	4.78
3	32.88	13.87	4.47	0.26	0.16	6.11	5.23
3-4	34.91	12.25	4.26	0.29	0.15	5.17	5.18
4	34.45	10.63	3.71	0.33	0.15	5.14	5.10
5	29.61	9.96	3.79	0.24	0.14	4.32	4.50
5-6	33.21	10.50	5.98	0.40	0.14	4.07	4.88
6	31.18	11.94	5.27	0.25	0.17	3.49	4.83
7	38.35	15.31	5.75	0.16	0.17	4.21	5.18
7A	47.31	18.50	7.97	0.14	0.19	5.80	5.40
8	31.94	9.38	4.78	0.04	0.14	3.26	4.85
8A	33.27	11.75	6.48	0.09	0.17	4.66	5.28
9A	30.00	7.63	3.96	0.32	0.07	3.28	5.48

Cuadro 3A. Evolución de las propiedades físicas y químicas para los suelos de la Finca La Selva en el período de 1987 a 1991, La Suiza, Costa Rica.

TIPO ANALISIS	- PERFIL 2		PERFIL 3	
	1987	1991	1987	1991
pH (H <sub>2</sub> O)	5,27	5,28	5,73	5,08
M.O (%)	5,70	4,66	6,50	3,80
CIC*	32,26	33,27	35,60	31,81
Ca	7,23	11,75	12,28	10,44
Mg	2,54	6,48	4,61	3,86
K	0,26	0,09	0,16	0,74
Na	0,33	0,17	0,39	0,16
ARENA (%)	10,40	31,38	16,20	27,01
LIMO (%)	42,00	30,50	43,80	26,88
ARCILLA (%)	48,00	38,12	40,00	46,11
CLASE TEXTURAL	A/AL	FA	FAL/AL	A
DENSIDAD REAL (g/cc)	2,72	2,50	2,62	2,50
PENDIENTE (%)	58	58	79	79

\* CIC perfil 2 (1987) Extracción con BaCl<sub>2</sub>-TEA a pH 8,2  
 Otros Extraídos con NH<sub>4</sub>OAc a pH 7,0

CUADRO 4A. Precipitación mensual y anual (mm) para los años 1987-91 en finca "La Selva", La Suiza, Costa Rica.

MES	1987	1988	1989	1990	1991	PROMEDIO
Enero	131,3 <sup>a</sup>	124,8 <sup>c</sup>	63,9	114,5	25,4	91,99
Febrero	95,2 <sup>a</sup>	97,8 <sup>c</sup>	141,7	41,5	128,8	101,00
Marzo	56,3 <sup>a</sup>	132,2	84,5	100,6	37,4	82,20
Abril	298,0	124,4 <sup>c</sup>	114,6	37,9	176,3	150,25
Mayo	150,6	174,7	203,7	216,7	238,8	196,90
Junio	295,4	300,9 <sup>c</sup>	138,4	234,7	381,9	270,27
Julio	273,3	261,9 <sup>c</sup>	230,2	210,3	117,0 <sup>b</sup>	243,93
Agosto	299,9	323,3	124,8	276,3	**a	256,08
Setiembre	286,9	154,6	279,4 <sup>c</sup>	291,5	**a	253,10
Octubre	526,8	235,9	271,2 <sup>c</sup>	275,9	**a	327,58
Noviembre	98,9	111,3	262,9 <sup>c</sup>	281,9	**a	188,76
Diciembre	164,4	175,0	231,4	259,6	**a	207,60
TOTAL	2.677,0	2.216,7	2.146,7	2.341,4	1.105,6	
<b>PROMEDIO ANUAL</b>						<b>2.369,66</b>

<sup>a</sup> Meses fuera del periodo de estudio.

<sup>b</sup> Periodo del 1-15 del mes de julio de 1991.

<sup>c</sup> Periodo sin información.

CUADRO 5A. Distribución de los eventos agrupados de acuerdo a la lluvia precipitada durante los años 1987-91 en finca "La Selva", La Suiza, Costa Rica.

CLASE (mm)	No. EVENTOS	PORCENTAJE (%)
0 - 15	532	78,04
15 - 30	96	14,09
30 - 45	24	3,55
45 - 60	10	1,50
> 60	19	2,82
TOTAL	682	100,00

Cuadro 6A. Total mensual de la energía cinética, R15 y R30 de la precipitación ocurrida en la Finca "La Selva" durante el período de 1987 a 1991, La Suiza, Costa Rica.

MES	Ec Kgm/m <sup>2</sup> /mm	R15 -----Kgm/m <sup>2</sup> *mm/h-----	R30
Enero	105,24	11,06	3,71
Febrero	104,28	8,28	8,37
Marzo	130,52	9,65	7,73
Abril	194,10	24,74	19,98
Mayo	371,79	106,13	27,67
Junio	405,07	111,31	77,59
Julio	433,54	107,20	66,20
Agosto	421,60	165,32	41,49
Setiembre	243,42	46,87	37,00
Octubre	698,49	181,65	97,80
Noviembre	134,63	15,83	7,84
Diciembre	236,99	47,30	25,87
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>3.529,69</b>	<b>835,38</b>	<b>421,26</b>

Cuadro 7A. Promedio de las características de la precipitación ocurrida en la Finca "La Selva" durante el período de 1987 a 1991, La Suiza, Costa Rica.

MES	I15 -----(mm/h)---	I30	EC (Kgm/m <sup>2</sup> )	R15 (Kgm/m <sup>2</sup> *mm/h)	R30
ENE	6.86	1.20	8.37	0.95	0.24
FEB	4.89	2.53	16.20	1.30	1.36
MAR	2.98	2.09	11.02	0.79	0.65
ABR	5.10	2.69	14.89	1.88	1.35
MAY	12.12	4.03	22.82	6.71	1.81
JUN	12.78	6.68	27.86	7.46	4.98
JUL	9.91	4.17	21.20	5.36	2.98
AGO	14.12	5.68	26.21	9.47	2.65
SEP	10.58	6.59	26.27	4.81	3.65
OCT	9.76	6.21	32.27	8.55	4.42
NOV	6.17	2.11	9.41	1.04	0.49
DIC	6.82	3.11	19.03	3.07	1.60



Cuadro 8A. Sedimento total, contenido de partículas y nutrientes por parcela en la finca "La Selva", La Suiza, Costa Rica. Período de mayo 31 a Julio 2 de 1991.

PARCELA No.	SEDIMENTOS		NT (Kg/Ha)	P (ppm)	P (Kg/Ha)	K (ppm)	POTASIO (Kg/Ha)	ARENA (Kg/Ha)	LIMO (Kg/Ha)	ARCILLA (Kg/Ha)
	M.O. (Kg/Ha)	(Kg/Ha)								
1	6.870	0.320	0.022	19.500	42.413	195.500	425.213	*	*	*
2	360.892	5.884	0.351	39.700	86.348	699.890	1522.261	*	*	*
3	10.728	0.488	0.034	11.700	25.448	148.580	323.162	*	*	*
4	5137.259	153.129	9.329	92.000	69.600	543.490	1182.091	0.788	0.653	0.558
5	6207.355	82.808	5.012	67.500	146.813	989.230	2151.575	1.292	1.674	2.034
6	28602.704	687.476	43.014	41.500	90.263	621.690	1352.176	1.594	1.878	2.527
7	821.036	20.283	1.253	25.500	55.463	426.190	926.963	1.229	1.091	1.680
8	29010.122	405.476	24.008	36.000	78.300	504.390	1097.048	1.248	1.600	2.152

\* Tamaño de la muestra no permitia la realización del análisis.

Cuadro 9A. Sedimento promedio, contenido de partículas y nutrientes por parcela en la finca "La Selva", La Suiza, Costa Rica. Período de mayo 31 a julio 2 de 1991.

PARCELA No.	SEDIMENTOS (Kg/Ha)	M.O. (Kg/Ha)	Nt (Kg/Ha)	P (ppm)	P (Kg/Ha)	K (ppm)	POTASIO (Kg/Ha)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)
1	6.870	0.320	0.022	19.500	42.413	195.500	425.213	*	*	*
2	43.784	2.942	0.176	19.850	43.174	349.945	761.130	23.325	36.950	39.725
3	10.728	0.480	0.034	11.700	25.448	148.580	323.162	*	*	*
4	1027.452	51.043	1.866	10.667	23.200	181.163	394.030	39.406	32.671	27.922
5	775.919	13.801	0.835	11.250	24.469	164.872	358.596	25.841	33.487	40.672
6	3575.338	114.579	7.169	6.917	15.044	109.615	225.363	26.569	31.308	42.123
7	164.207	5.071	0.251	6.375	11.093	106.548	185.393	30.721	27.272	42.007
8	3626.265	67.579	4.001	6.000	13.050	84.065	182.841	24.959	31.996	43.045

\* Tamaño de la muestra no permitía la realización del análisis.

**Cuadro 10A. Modelos de regresión simple con mejor ajuste para la relación de las características de la lluvia con la escorrentía y la pérdida de suelo por parcela. 1987-1991.**

Parcela 1.

1) Esc & Pt

$$a) \text{Ln } Y = -2,20 + 1,59 \text{ Ln } X$$

$$R^2 : 0,60; CV = 28\%; 1 \%$$

2) Esc & I15

$$a) \text{Ln } Y = -0,411 + 1,04 \text{ Ln } X.$$

$$(R^2 = 0,506; CV = 46,21\%; 5 \%)$$

3) Esc & R15

$$a) \text{Ln } Y = 1,09 + 0,65 \text{ Ln } X.$$

$$(R^2 : 0,579; CV = 42,77\%; 5 \%)$$

Parcela 2.

1) Esc & Pt

$$a) \text{Ln } Y = -3,23 + 1,92 \text{ Ln } X$$

$$R^2 : 0,67; CV = 32,48\%; 1 \%$$

2) Esc & I15

$$a) \text{Ln } Y = -0,216 + 1,171 \text{ Ln } X$$

$$R^2 : 0,549; CV = 37,94\%; 5 \%$$

3) Esc & R15

$$a) \text{Ln } Y = 1,37 + 0,763 \text{ Ln } X$$

$$R^2 : 0,655; CV = 33,15\%; 1 \%$$

Parcela 3

## 1) Esc &amp; Pt

$$a) Y = 30,92 - 5,495 X + 0,207 X^2 - 0,002 X^3$$

$$R^2 : 0,79; CV = 95,73%; 1 \%$$

## 2) Esc &amp; I15

$$a) \ln Y = 0,044 + 0,052 X$$

$$R^2 = 0,546; CV = 84,53%; 5 \%$$

## 3) Esc &amp; R15

$$a) \ln Y = 0,388 + 0,0353 X$$

$$R^2 = 0,583; CV = 80,97%; 5 \%$$

Parcela 4.

## 1) Esc &amp; Pt.

$$a) \ln Y = -6,05 + 3,18 \ln X - 0,04 X$$

$$R^2 = 0,844; CV = 24,39%; 1 \%$$

$$b) \ln Y = -3,28 + 1,89 \ln X$$

$$R^2 = 0,812; CV = 25,69%; 1 \%$$

$$c) \ln Y = 1,06 + 0,05 X$$

$$R^2 = 0,658; CV = 34,51%; 1 \%$$

$$d) Y = 100,90 - 14,93 X + 0,61 X^2 - 0,006 X^3$$

$$R^2 = 0,85; CV = 70,80%; 1 \%$$

## 2) Esc &amp; I15.

$$a) \ln Y = -0,77 + 1,28 \ln X$$

$$R^2 = 0,757; CV = 29,11%; 1 \%$$

$$b) \ln Y = -0,21 + 0,88 \ln X + 0,22 X$$

$$R^2 = 0,777; CV = 29,15%; 1 \%$$

$$c) \ln Y = 1,28 + 0,06 X$$

$$R^2 = 0,699; CV = 32,37%; 1 \%$$

## 3) Esc &amp; R15.

a)  $\text{Ln } Y = 1,16 + 0,78 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,849; \text{ CV} = 22,95\%; 1 \%$ .

b)  $\text{Ln } Y = 1,19 + 0,703 \text{ Ln } X + 0,005 X$

$R^2 = 0,851; \text{ CV} = 23,77\%; 1 \%$ .

c)  $\text{Ln } Y = 2,36 - 0,803 (1/X) + 0,03 X$

$R^2 = 0,786; \text{ CV} = 28,53\%; 1 \%$ .

d)  $1/Y = 0,23 - 0,003 X$

$R^2 = 0,678; \text{ CV} = 33,52\%; 1 \%$ .

## 4) Loss &amp; Esc. N = 5.

a)  $\text{Ln } Y = 8,02 - 109,45 (1/X)$

$R^2 = 0,887; \text{ CV} = 12,89\%; 10 \%$ .

b)  $\text{Ln } Y = -1,84 + 1,80 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,82; \text{ CV} = 16,14\%; 10 \%$ .

Parcela 5.

## 1) Esc &amp; Pt. N = 14.

a)  $\text{Ln } Y = -1,88 + 1,58 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,63; \text{ CV} = 74,66\%; 1 \%$ .

b)  $Y = 208,74 - 30,03 X + 1,18 X^2 - 0,011 X^3$

$R^2 = 0,868; \text{ CV} = 74,66\%; 1 \%$ .

## 2) Esc &amp; I15.

a)  $\text{Ln } Y = 0,034 + 1,19 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,649; \text{ CV} = 28,38\%; 1 \%$ .

## 3) Esc &amp; R15.

a)  $\text{Ln } Y = 1,80 + 0,636 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,591; \text{ CV} = 30,64\%; 5 \%$ .

**Parcela 6. N = 15****1) Esc & Pt**

$$a) Y = 150,65 - 24,24 X + 1,10 X^2 - 0,11 X^3$$

$$R^2 = 0,834; CV = 71,18\%; 1 \%. \text{ (Nota: B1, Sig. 10 \%.)}$$

$$b) \ln Y = -2,97 + 1,92 \ln X.$$

$$R^2 = 0,566; CV = 39,34\%; 5 \%. \quad -$$

**2) Esc & I15.**

$$a) \ln Y = -0,58 + 1,40 \ln X$$

$$R^2 = 0,6349; CV = 36,06\%; 1 \%. \quad -$$

$$b) Y = -24,07 + 4,83 X$$

$$R^2 = 0,5939; CV = 102,41\%; 5 \%. \quad -$$

**3) Esc & R15**

$$a) \ln Y = 2,19 + 0,04 X$$

$$R^2 = 43,49; CV = 44,86\%; 5 \%. \quad -$$

$$b) \ln Y = 1,46 + 0,79 \ln X$$

$$R^2 = 0,5897; CV = 38,23\%; 5 \%. \quad -$$

**4) Loss & Esc. N = 8.**

$$a) \ln Y = 1,82 + 1,20 \ln X$$

$$R^2 = 0,5789; CV = 17,51\%; 10 \%. \quad -$$

$$b) \ln Y = 8,76 - 85,69 (1/X)$$

$$R^2 = 0,5875; CV = 17,33\%; 10 \%. \quad -$$

**Parcela 7. N = 13****1) Esc & Pt.**

$$a) Y = -0,12 + 0,21 X$$

$$R^2 = 0,6425; CV = 85,92\%; 5 \%. \quad -$$

$$b) \ln X = -1,60 + 0,075 X$$

$$R^2 = 0,5220; CV = 32,26\%; 5 \%$$

$$c) \ln Y = -4,17 + 1,68 \ln X$$

$$R^2 = 0,7346; CV = 24,04\%; 1 \%$$

$$d) \ln Y = 1,91 - 10,38 (1/X) + 0,027 X$$

$$R^2 = 0,7370; CV = 23,93\%; 1 \%$$

$$e) Y = -4,98 + 3,77 \ln X$$

$$R^2 = 0,5659; \bar{CV} = 94,68\%; 5 \%$$

## 2) Esc & I15

$$a) Y = -0,12 + 0,85 X$$

$$R^2 = 0,6425; CV = 85,92\%; 5 \%$$

$$b) Y = -0,72 + 1,14 X - 0,02 X^2$$

$$R^2 = 65,16; CV = 88,96\%; 5 \%$$

$$c) \ln Y = -1,85 + 1,68 \ln X$$

$$R^2 = 0,7346; CV = 2404,34\%; 1 \%$$

$$d) Y = 0,25 - 3,77 \ln X$$

$$R^2 = 0,5659; CV = 94,68\%; 5 \%$$

$$e) \ln Y = 1,91 - 3,26 (1/X)$$

$$R^2 = 0,7370; CV = 2393,45\%; 1 \%$$

## 3) Loss & Pt N = 13

$$a) \ln Y = 0,35 + 1,43 \ln X - 0,08 X$$

$$R^2 = 0,4518; CV = 42,92\%; 10 \%$$

## 4) Loss & I15 N = 13

$$a) \ln Y = 2,34 + 1,43 \ln X - 0,32 X$$

$$R^2 = 0,4518; CV = 42,92\%; 10 \%$$

Parcela 8 N = 15

## 1) ESC &amp; PT.

a)  $Y = -58,01 + 6,58 X$

$R^2 = 0,7233$ ; CV = 65,72%; 1 %.

b)  $\text{Ln } Y = 0,81 + 0,08 X$

$R^2 = 0,6546$ ; CV = 41,82%; 1 %.

c)  $\text{Ln } Y = -6,00 + 2,95 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,8082$ ; CV 31,16%; 1 %

d)  $Y = -510,43 + 205,19 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,7141$ ; CV = 66,79%; 1 %.

## 2) ESC &amp; I15

a)  $Y = -6,98 + 6,69 X$

$R^2 = 0,6511$ ; CV = 73,79%; 1 %

b)  $\text{Ln } Y = -1,42 + 1,80 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,6363$ ; CV = 42,91%; 1 %

c)  $Y = -212,38 + 132,85 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,8844$ ; CV = 78,54%; 1 %.

## 3) ESC &amp; R15

a)  $Y = 33,87 + 4,69 X$

$R^2 = 0,7414$ ; CV = 63,53%; 1 %.

b)  $\text{Ln } Y = 1,13 + 1,15 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,7594$ ; CV = 34,90%; 1 %.

c)  $Y = -21,34 + 83,11 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,7301$ ; CV = 64,90%; 1 % .

## 4) ESC &amp; R30

a)  $\text{Ln } Y = 1,96 + 0,97 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,2693$ ; CV = 60,83%; 10 %.



## 5) LOSS &amp; ESC N = 8.

a)  $\text{Ln } Y = 3,36 + 0,01 X$

$R^2 = 0,8519; CV = 13,97\%; 5 \%$

b)  $\text{Ln } Y = -4,15 + 2,09 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,7583; CV = 17,84\%; 5 \%$

c)  $\text{Ln } Y = 17,58 - 3,83 \text{ Ln } X + 0,04 X$

$R^2 = 91,64; CV = 11,49\%; 5 \%$  —  
(b1 NO ES SIG.; b2 ES SIG 10 % (t))

## 6) LOSS &amp; PT

a)  $\text{Ln } Y = 10,80 - 14,45 (1/X)$

$R^2 = 0,6029; CV = 22,86\%; 10 \%$

b)  $Y = -2310,97 + 120,40 X - 11,23 X^2$

$R^2 = 82,29; CV = 57,28\%; 10 \%$

## 7) LOSS &amp; I15

a)  $Y = -189,58 + 15,80 X$

$R^2 = 0,6616; CV = 72,26\%; 10 \%$

b)  $\text{Ln } Y = 4,05 + 0,08 X$

$R^2 = 0,5521; CV = 24,28\%; 10 \%$

c)  $\text{Ln } Y = -1,02 + 2,34 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,5571; CV = 24,15\%; 10 \%$

## 8) LOSS &amp; R15

a)  $\text{Ln } Y = 1,25 + 1,71 \text{ Ln } X$

$R^2 = 0,7374; CV = 18,59\%; 5 \%$

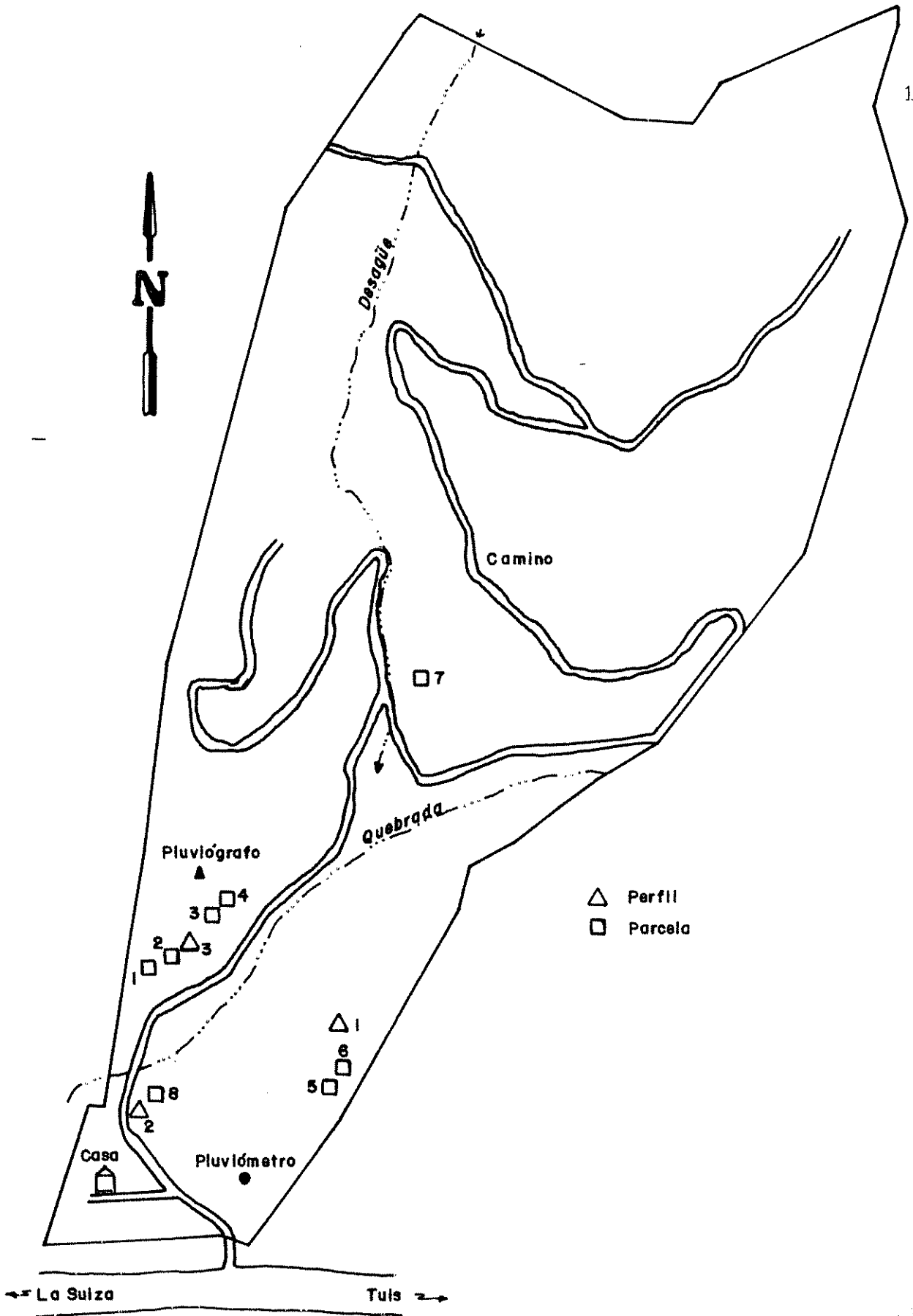


Figura 1A. Ubicación de las parcelas de escorrentía en la finca "La Selva", cuenca del Río Tuis, C.R.

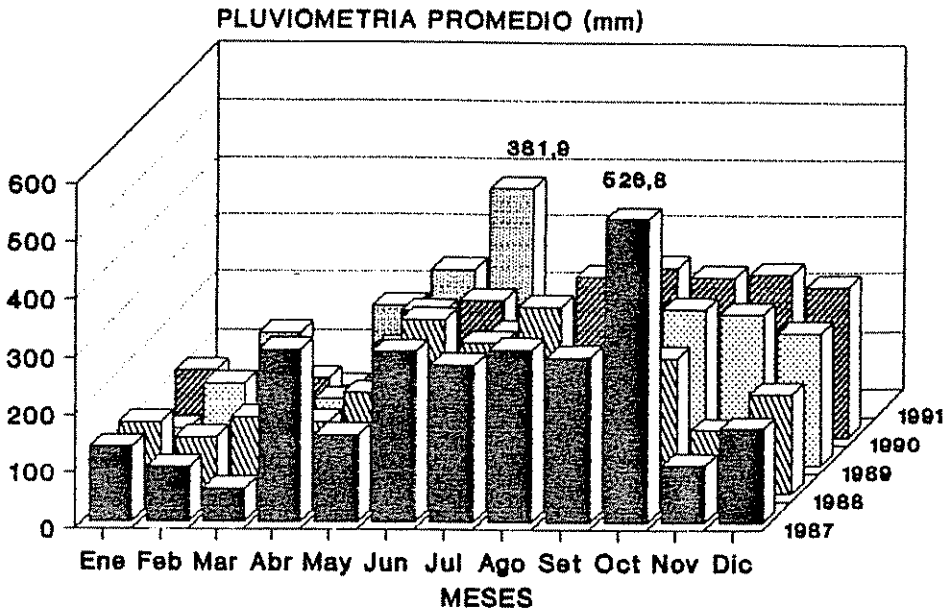


Figura 2A Precipitación mensual para los años 1987-91 en la finca "La Selva", La Suiza, Costa Rica.

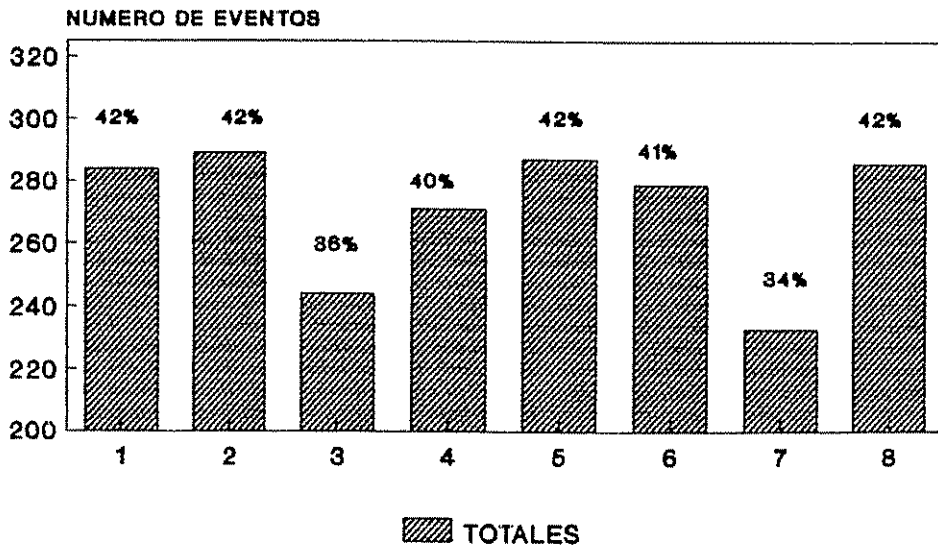


Figura 3A. Número de eventos que produjeron escorrentía por parcela en "La Selva", La Suiza, C.R. Años 1987-91.

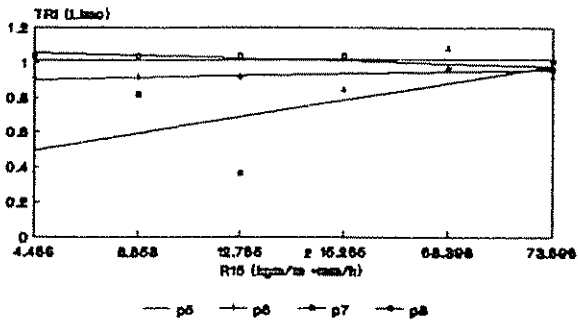


Figura 6A. Relación del factor R15 con el TRI para la fracción limo en las parcelas 5, 6, 7 y 8. 1991.

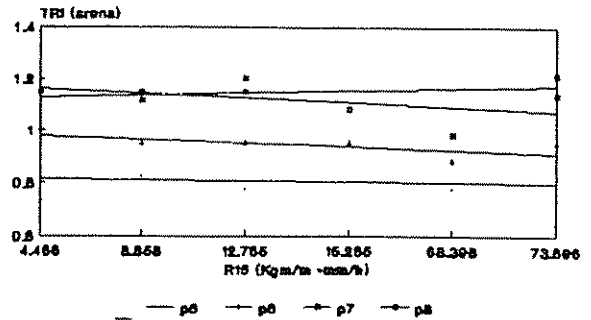


Figura 6A. Relación del factor R15 con el índice de erosión selectiva (TRI) para la arena, en las parcelas 5, 6, 7 y 8. 1991.

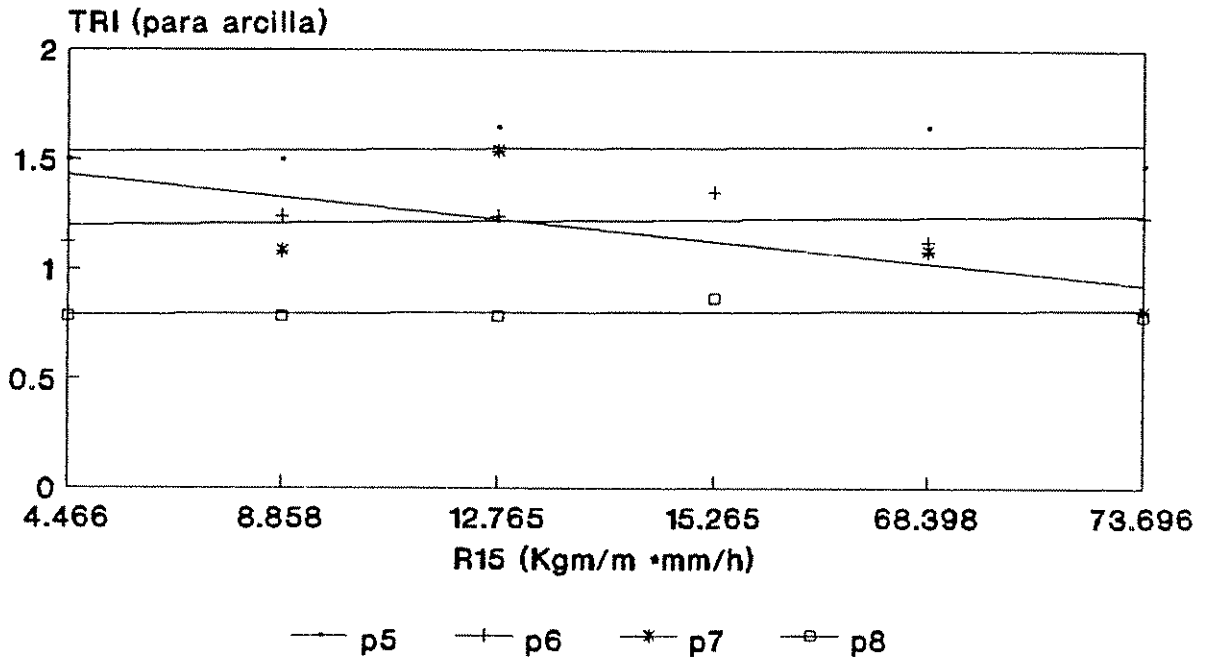


Figura 4A. Relación del factor R15 con el TRI para la fracción arcilla en las parcelas 5, 6, 7 y 8. 1991.

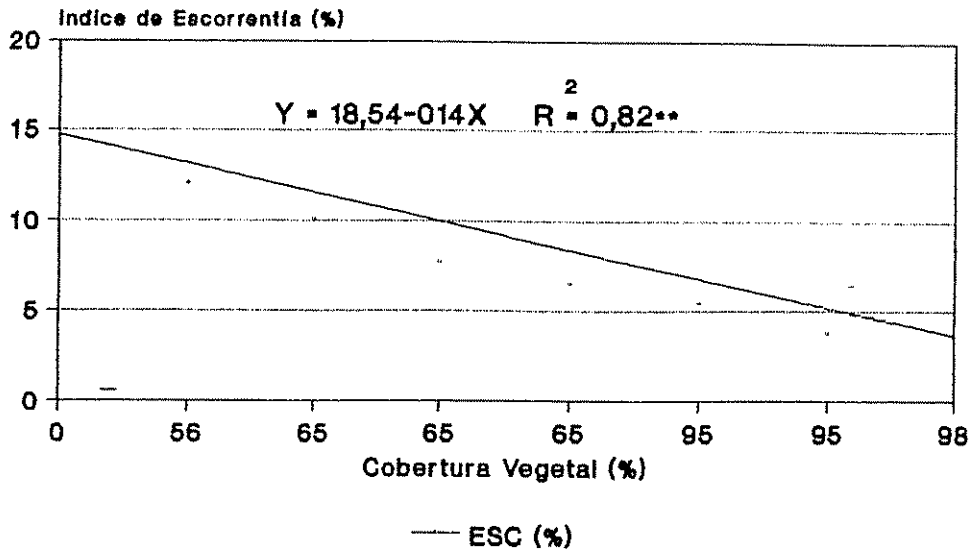


Figura 7A. Relación entre cobertura vegetal y Porcentaje de la lluvia que escurre, "La Selva", C.R. 1987-1991.

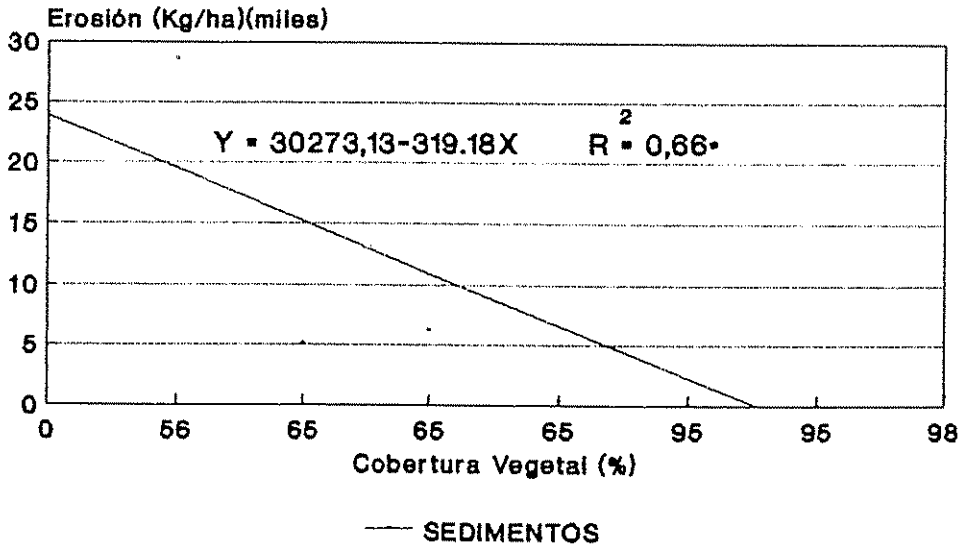


Figura 8A. Relación entre la cobertura vegetal y la pérdida de suelo, "La Selva", La Suiza, Costa Rica. 1991

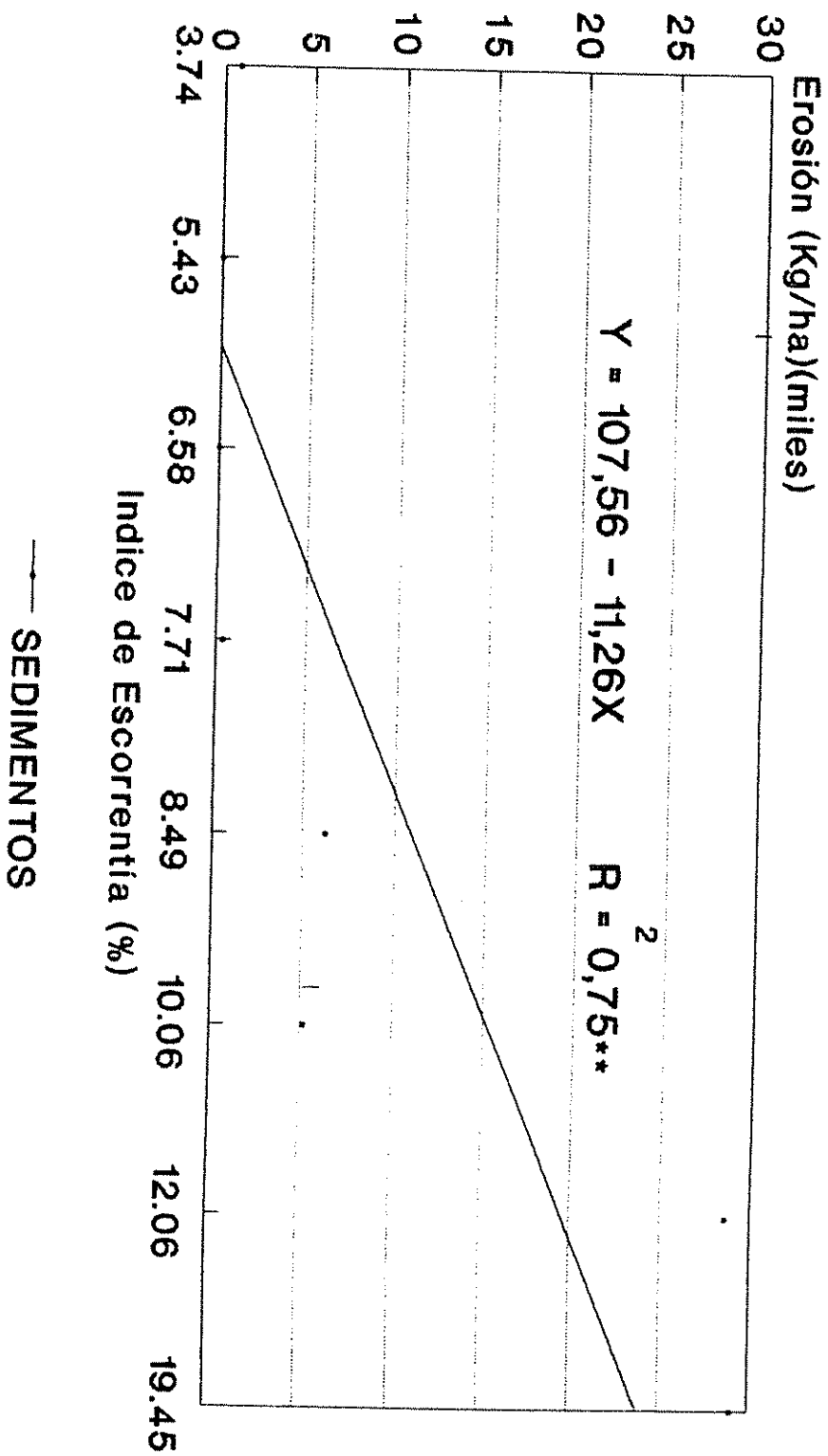


Figura 9A. Relación entre el índice de escorrentía y la pérdida de suelo. "La Selva", La Suiza, Costa Rica. 1991.