



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE  
INVESTIGACION Y ENSEÑANZA**

**PROGRAMA MANEJO INTEGRADO DE  
RECURSOS NATURALES**

**AREA DE MANEJO DE CUENCAS**



**RENARM**  
MANEJO DE CUENCAS

---

**PUBLICACIONES DEL PROYECTO RENARM/MANEJO DE CUENCAS**

**EVALUACION DE LA EROSION HIDRICA Y ESCORRENTIA  
SUPERFICIAL, BAJO SISTEMAS AGROFORESTALES,  
EN TIERRAS DE LADERAS, TURRIALBA, COSTA RICA**

---

**HENRY GARZON  
JORGE FAUSTINO  
PEDRO FERREIRA  
DONALD KASS**

**CATIE, TURRIALBA  
AGOSTO, 1993**

**El Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) es una asociación civil sin fines de lucro, de acción regional y de carácter científico y educacional. Fundado en 1973, su mandato se centra en el campo de las ciencias agropecuarias y de los recursos naturales, en beneficio de las regiones del trópico americano. Sus países miembros son Costa Rica (1973), Panamá (1975), Nicaragua (1978), Honduras y Guatemala (1979), República Dominicana (1983), El Salvador (1987), México y Venezuela (1992).**

---

**Esta publicación se realizó con el apoyo del Proyecto Manejo de Recursos Naturales y del Medio Ambiente (RENARM), componente Manejo de Cuencas del CATIE, el cual es financiado por la Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos de América (USAID), a través de su Oficina Regional para Programas Centroamericanos (ROCAP).**

**EVALUACION DE LA EROSION HIDRICA Y ESCORRENTIA  
SUPERFICIAL, BAJO SISTEMAS AGROFORESTALES, EN  
TIERRAS DE LADERAS, TURRIALBA , COSTA RICA**

*HENRY GARZON (1)*

*JORGE FAUSTINO (2)*

*PEDRO FERREIRA (3)*

---

*DONALD KASS (3)*

*(1) Estudiante de maestría.*

*(2) Profesor Consejero.*

*(3) Miembros del Comité Asesor de Tesis.*

## PRESENTACION

*El proceso de la degradación de los recursos naturales se incrementa día con día y aunque se realizan esfuerzos importantes para su control, existen impedimentos para llegar a la práctica efectiva de las alternativas disponibles en cada ámbito natural, económico y sociocultural.*

*Por lo tanto se considera de vital importancia, conocer las ventajas y limitantes de las alternativas, para el manejo apropiado de los recursos naturales. En el caso de la conservación de suelos, los sistemas agroforestales pueden lograr efectos importantes en este sentido, que se deben valorar, determinando la forma más pragmática para realizarla. Una orientación importante es el mejoramiento de la capacidad productiva de la tierra, para la rehabilitación de laderas, y sobre todo para hallar formas sostenibles, con base en los intereses y capacidades reales de los agricultores.*

*Como estudio de caso, esta publicación trata sobre los cultivos en callejones como un tipo de los sistemas agroforestales, asociando la producción de granos básicos como maíz y frijol, con árboles capaces de ofrecer aportes nutrimentales y protectivos al suelo, a través del follaje aplicado sobre el terreno cultivado.*

*Al presentar este artículo se reconoce el esfuerzo conjunto que realizan los Proyectos Arboles Fijadores de Nitrógeno y RENARM/Manejo de Cuencas, del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza-CATIE, y en esta etapa inicial de la investigación (periodo 1990-91) se valora el trabajo realizado por el Ing. Henry Garzón, estudiante de Maestría del CATIE en el Manejo de Cuencas.*

# CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCION	2
2. MATERIALES Y METODOS.....	3
2.1. Descripción general del área de estudio.....	3
2.2. Descripción del experimento.....	3
2.3. Escorrentía y erosión.....	6
2.4. Niveles de fertilidad.....	7
2.5. Diseño y análisis estadístico.....	7
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	8
3.1. Características de las lluvias y su poder erosivo.....	8
3.2. Relaciones entre la capacidad erosiva de las lluvias y el material erosionado.....	8
3.3. Relación entre la escorrentía superficial y el rendimiento del frijol.....	10
3.4. Relación entre la escorrentía superficial, material erosionado y el rendimiento en grano del maíz.....	11
3.5. Características fisicoquímicas del suelo, del material erosionado y pérdida de nutrimentos..	14
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	16
5. LITERATURA CONSULTADA.....	17

**EVALUACION PRELIMINAR DE LA EROSION HIDRICA Y LA  
ESCORRENTIA SUPERFICIAL BAJO SISTEMAS AGROFORESTALES,  
EN TIERRAS DE LADERA, TURRIALBA COSTA RICA**

**Palabras clave:** Erosión hídrica, escorrentía superficial, capacidad de erosión, "mulch", cultivo en callejones.

**RESUMEN**

Se investiga el comportamiento de las prácticas agroforestales y de cultivos, y su incidencia en la conservación de los suelos. El experimento se ubica en San Juan Sur, Turrialba, Costa Rica y cuantifica la escorrentía superficial y el material erosionado mediante "parcelas de escorrentía".

El experimento se realizó en suelos Andisol Typic Fulvudán, degradados con saturación de aluminio de 50-60 %, la precipitación anual promedio es de 2.636 mm. Las parcelas se establecieron en un diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones y seis tratamientos en cada una. Cada bloque comprende los siguientes grados de pendiente de 15, 25 y 35 %.

Los tratamientos incluyen monocultivo (rotación frijol-maíz); cultivo en callejones de maíz (Zea mayz variedad Tuxpeño) y frijol (Phaseolus vulgaris variedad Negro Huasteco) asociados con Erythrina fusca; y estos mismos cultivos con aplicaciones de "mulch" de Erythrina fusca e Inga edulis.

En el ciclo del maíz los tratamientos con "mulch" fueron los mejores en controlar la erosión. Los cultivos en callejones se comportaron de manera similar al monocultivo. La menor escorrentía, ocurre en el tratamiento con "mulch" de Inga edulis.

En el ciclo del frijol, al evaluar el control de la erosión; no se observaron diferencias significativas entre tratamientos. Las mayores producciones correspondieron al tratamiento del cultivo con mulch de Inga edulis (1.969,1 y 2.931,1 kgxh<sup>-1</sup>) para frijol y maíz respectivamente.

## 1. INTRODUCCION

En América Central, el maíz y el frijol se cultivan solos o asociados con otras especies agrícolas. En otras regiones, existen técnicas de asociarlo con árboles, en forma de cultivo en callejones, utilizando árboles o arbustos que pueden contribuir en la fertilidad del suelo y mantener una producción estable del cultivo (Yamoah, Agboola, Wilson y Mulongoy, 1986).

En el cultivo en callejones, los árboles otorgan un servicio al cultivo asociado, aportan o substituyen fuentes nitrogenadas y se constituyen en gran potencial para laderas de cierta marginalidad dentro del ámbito agroforestal (Hawkins et al, 1990). En los sistemas agroforestales las especies leñosas perennes pueden contribuir al incremento de materia orgánica mediante el "mulch" (\*), influyendo activamente en la utilización y reciclaje de nutrimentos y en la fijación o solubilidad del nitrógeno atmosférico (leguminosas). Generan nutrimentos y formas no muy disponibles de nutrimentos, como fosfatos, mediante la interacción microbiológica o micorrísica en el suelo (Young, 1989).

Es importante señalar que siempre se ha cuantificado la pérdida de suelo en sistemas de producción tradicionales como cultivos, pastos y bosques, pero existen pocas evaluaciones de la pérdida de suelo y sus consecuencias en sistemas agroforestales y menos aún en cultivo en callejones en tierras de laderas.

Este estudio analiza la pérdida de suelo por la erosión hídrica en un sistema de rotación frijol-maíz, y trata de:

- (i) Cuantificar la escorrentía superficial y pérdida de suelo bajo prácticas de tipos de cobertura, incluyendo cultivos en callejones, en suelos de ladera.
- (ii) Relacionar la escorrentía y pérdida de suelo con rendimientos y pérdida de nutrimentos de la rotación frijol-maíz.

Finalmente, se quiere señalar que los resultados se consideran preliminares, dado que comprende un año de observación para un horizonte de estudios de 6 años; sin embargo el aporte es necesario y valioso por cuanto corresponde al período de estabilización, posibilitando la identificación de ajustes del experimento.

(\*) "Mulch", se refiere al mantillo de cobertura vegetal compuesta de hojas, tallos pequeños y elementos de fácil biodegradación.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1. Descripción general del área de estudio

El área se ubica en la Estación Experimental del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), en el Huerto Latinoamericano de Árboles Fijadores de Nitrógeno, Distrito San Juan Sur, Cantón de Turrialba, Costa Rica. Las coordenadas geográficas representativas son 83° 38' longitud oeste y 09° 53' de latitud norte; a 950 msnm. Datos de la estación meteorológica del CATIE, estiman la precipitación y la temperatura en 2.636 mm x año<sup>-1</sup> y 20,5 °C; la zona de vida corresponde a Bosque muy húmedo-Premontano (bmh-P).

Los suelos, según Aguirre (1971) son de la serie Birrisito, Orden Inceptisol, Suborden Andept; profundos, bien desarrollados y drenados, de topografía montañosa y pendientes de 15 a 35 %. Kass (comunicación personal, 1991) lo clasifica como Andisol Typic Fulvudand, con mucha materia orgánica, pero no de color oscuro. La textura es Franco-Arcillosa, con alto contenido de material alófono.

### 2.2. Descripción del experimento.

Después del levantamiento altimétrico se definieron tres pendientes promedio (35, 25 y 15 %) y se determinaron los bloques para el diseño estadístico. Las parcelas se establecieron en 3 por 22 m. y 7 por 22 m. (para tratamientos con árboles); mediante láminas de zinc de hierro galvanizado, se confinó una parcela útil para medir escorrentía y pérdida de suelo (parcela de escorrentía de 44 m<sup>2</sup> con 2 m de ancho por 22 m de largo). En la parte inferior se ubicó el sistema de conducción y almacenamiento de agua y sedimento. Las mediciones de agua y sedimentos se hicieron todos los días a una misma hora de la mañana.

El experimento utiliza diseño de bloques completamente al azar con tres repeticiones y seis tratamientos por réplica, cada bloque corresponde a diferentes grados de pendiente. Los tratamientos son:

- a) Frijol o maíz + vegetación natural (no arbórea) (monocultivo).
- b) Frijol o maíz + Erythrina fusca distanciado 4 metros (CCallejón - 4H).
- c) Frijol o maíz + Erythrina fusca distanciado 6 metros (CCallejón - 6H).
- d) Frijol o maíz + "mulch" de Inga edulis (C+MInga).
- e) Frijol o maíz + "mulch" de Erythrina fusca (C+MErythrina).
- f) Suelo desnudo (control) (S. desnudo).

Se utilizó Erythrina fusca, en forma de acodos enraizados, de los clones 2675 y 2649 del Proyecto AFN/CATIE, y se sembró a .5m entre plantas. Las parcelas con cultivos en callejones tienen 16 y 24 árboles para distanciamientos de seis y cuatro metros respectivamente, la siembra se realizó en septiembre de 1990.



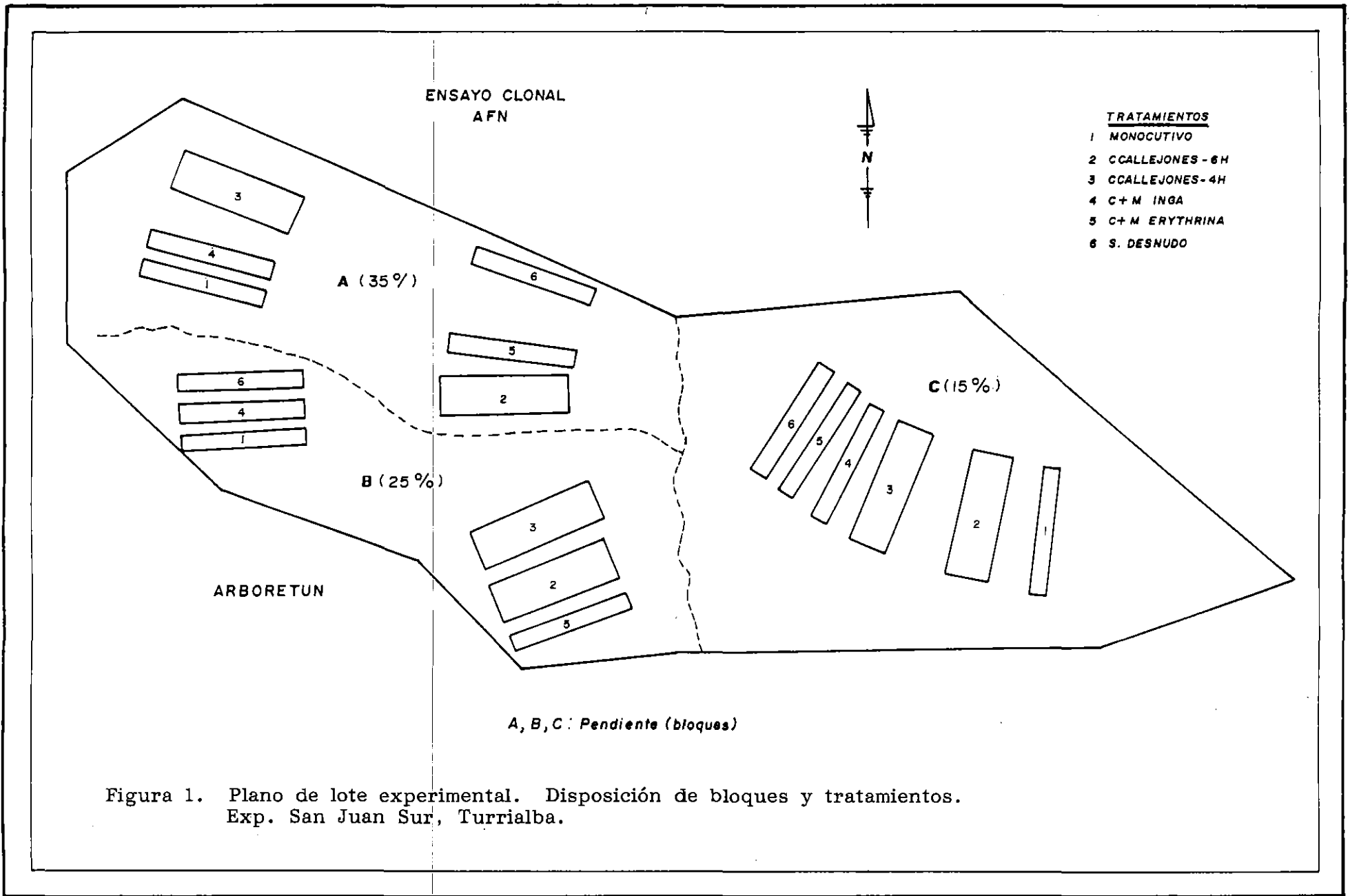


Figura 1. Plano de lote experimental. Disposición de bloques y tratamientos.  
Exp. San Juan Sur, Turrialba.

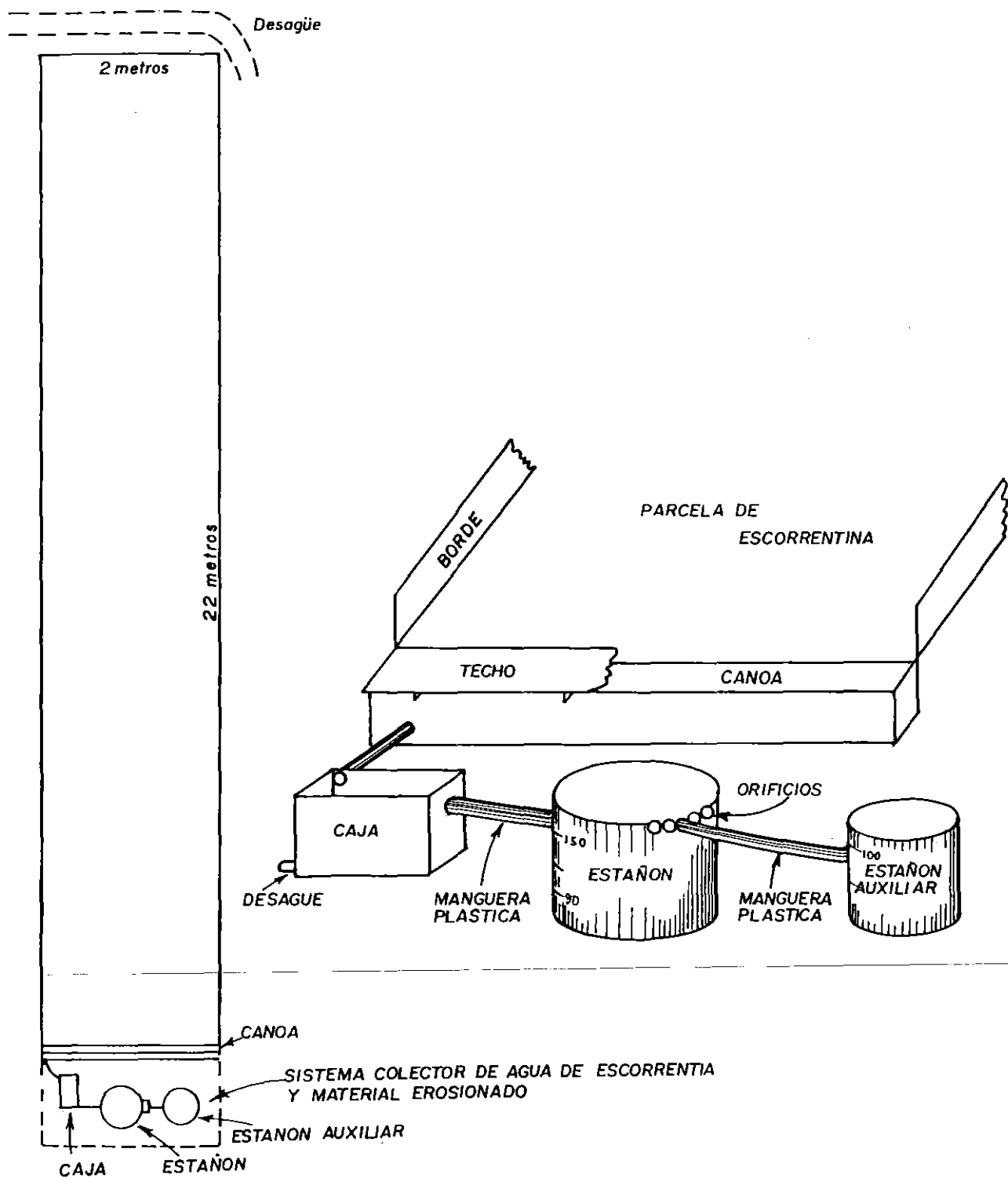


Figura 2. Parcela de escorrentía y el sistema colector.  
Exp. San Juan Sur, Turrialba.

El frijol (variedad Negro Huasteco) se sembró a distancias de .25 m entre plantas y .4 m entre hileras, dejando dos plantas al raleo. El maíz (variedad Tuxpeño) se sembró a .5 m entre plantas y .75 m entre hileras, dejando dos plantas al raleo. El "mulch" se aplicó al inicio de los cultivos, en dosis de  $16 \text{ tm} \times \text{ha}^{-1}$ , tanto de Erythrina. fusca como de Inga edulis. La siembra de cultivos y árboles fue en contorno. En los cultivos de frijol y maíz se procuró dar manejo cultural con uso mínimo de labranza y agroquímicos.

Al cultivo del frijol se aplicó una dosis de  $50-50-50 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$  de N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  y  $\text{K}_2\text{O}$  respectivamente; se utilizó urea, triple superfosfato y cloruro potásico. No se aplicó fertilización para el cultivo del maíz, ésto sobre la base de utilizar el mínimo de insumos. El control de malezas, al inicio del ensayo y en el mantenimiento del suelo desnudo, se hizo con Round-up (2 litros/ha). Para evitar el ataque de plagas en los cultivos, se aplicó Volatón (10 %), también se aplicó Furadán al momento de la siembra de los cultivos. El análisis de suelos realizado antes del ensayo registró un pH promedio de 4,3 y alta saturación de aluminio (80 %) por lo que al inicio del primer tratamiento se aplicaron  $2 \text{ tm}$  de cal.

### 2.3. Escorrentía y erosión.

Durante el período del 15/12/90 al 25/09/91, después de cada día lluvioso se midió la lámina de agua colectada; este valor se transformó a  $\text{m}^3 \times \text{ha}^{-1}$ . Luego se determinó el volumen generado por la lámina de precipitación caída para el área de la parcela y se obtuvo el coeficiente de escorrentía (E) en porcentaje. Las cantidades de "material erosionado" (S), se pesaron ( $\text{ton} \times \text{ha}^{-1}$ ) después de haberse secado al horno.

Adjunto al ensayo se instaló un pluviómetro y un pluviógrafo de bandas mensuales que permitió leer intensidades de lluvias a diferentes intervalos, hasta de 60 minutos. El índice de capacidad erosiva de la lluvia ó índice de erosión, se calculó con base en el análisis pluviográfico, utilizando el criterio de Wischmeier y Smith (1978), que consideran lluvias independientes a aquellas que se separan por un mínimo de seis horas y entre las cuales no haya caído una cantidad superior a un milímetro.

A nivel diario o por evento, se calcularon índices de erosión  $\text{EI}_{30}$  de Wischmeier y Smith (1978) y  $\text{KE} > 1$  de Hudson (1982). Se calculó la energía cinética de la lluvia  $E_c = 1.214 + 0.890 \log I$ , según Roose (1977).  $E_c$  está en  $\text{tm} \times \text{km}^2^{-1}$  e  $I$  en  $\text{mm} \times \text{h}^{-1}$ . Luego se calculó la energía cinética total o sumatoria del producto de la precipitación  $P$  por  $E_c$ , y finalmente el valor de  $R$  fue dado por la fórmula  $R = (E_c \times I \times P) 173,6^{-1}$ . Un aspecto comparativo consistió en determinar la variación de escorrentía y material erosionado en los tres grados de pendientes (15, 25 y 35 %).

## 2.4. Niveles de fertilidad.

Con base en los análisis de fertilidad realizados al inicio del ensayo, durante la rotación frijol-maíz y al final de la misma, y habiendo transformado dichas concentraciones en  $\text{kg} \times \text{ha}^{-1}$  en función de la densidad aparente; se establecieron las diferencias promedios de reservas para cada tratamiento, entre los períodos señalados. Asimismo se consideró la variación porcentual de reservas de nutrientes en los diferentes períodos.

## 2.5. Diseño y análisis estadístico

Para evaluar el efecto de los tratamientos sobre las variables del coeficiente de escorrentía (E) y material erosionado (S), se consideró el diseño de bloques al azar con tres repeticiones, mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = M + B_i + T_j + E_{ijk}$$

donde:

- $Y_{ijk}$  = es la  $ijk$  ésima observación en el bloque  $i$ , con tratamiento  $j$ .
- $M$  = media anual
- $B_i$  = efecto del bloque  $i$ , para  $i = 1$  a  $3$ .
- $T_j$  = efecto del tratamiento  $j$ , para  $j = 1$  a  $6$ .
- $E_{ijk}$  = error asociado a la  $ijk$ -ésima observación.

Para analizar el índice de erosión y de escorrentía se utilizó el concepto de parcelas divididas en el tiempo con el siguiente modelo y análisis de varianza (ANDEVA):

$$Y_{ijk1} = M + B_i + T_j + E_{ijk} + D_1 * TD_{j1} + E_{ijk1}$$

donde:

- $Y_{ijk1}$  = es la  $ijk1$ -ésima observación en el bloque  $i$ , con tratamiento  $j$ , y evento  $k$ .
- $E_{ijk}$  = error de parcela grande ( $B \times T_{ij}$ )
- $D$  = efecto del evento  $1$ .
- $M$  = media general.
- $E_{ijk1}$  = error de parcela pequeña,
- $B_i$  = efecto del bloque  $i$ , para  $i = 1$  a  $3$ .
- $T_j$  = efecto del tratamiento  $j$ , para  $j = 1$  a  $6$ .
- $TvD_{j1}$  = interacción tratamiento  $j$  por evento  $1$ .

### **3. RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **3.1. Características de las lluvias y su poder erosivo.**

En el período diciembre/90 - abril/91, ciclo del frijol, se obtuvieron 10 eventos de sólo escorrentía y para el período mayo-setiembre/91, ciclo del maíz, se obtuvieron 60 eventos y en sólo 18 hubo material erosionado.

Mediante programas elaborados en un sistema de análisis estadístico (SAS), se calcularon a nivel diario o por evento, los índices de erosión  $EI_{30}$  de Wischmeier y Smith (1978) y  $KE > 1$  de Hudson (1982).

El Cuadro 1 muestra datos del ciclo de maíz y se observa que los índices de erosión son variables en ese período, el que mejor explica la pérdida de suelo es el  $EI_{30}$ . Además, el acumulado anual del índice  $KE > 1$  es mucho mayor, explicando que se refieren a lluvias muy erosivas.

#### **3.2. Relaciones entre la capacidad erosiva de las lluvias ó índice de erosión y el material erosionado.**

El análisis de varianza, para comparar los efectos que podían tener sobre la pérdida de suelo, los diferentes tratamientos y los eventos en que sucedieron las lluvias erosivas, considerando las fechas, en un arreglo de parcelas divididas en el tiempo, demostró que hay un efecto muy significativo ( $P < 0,003$ ) debido a los tratamientos que protegen el suelo.

Es también de gran significación ( $P < 0,0001$ ) la pérdida del suelo en función del evento, lo cual se asocia con el  $EI_{30}$ , el estadio del cultivo y a la condición de antecedente de humedad entre un evento y otro.

El análisis demostró que es altamente significativa la interacción del evento por tratamiento; concluyéndose que los eventos inciden de manera diferenciada en los tratamientos. (Cuadro 2)

Se construyeron dos índices de erosión, uno dado por el logaritmo promedio del material erosionado, denominado LSM, como un estimativo más directo, y otro dado por la pendiente "b" o coeficiente de regresión de LSM en  $EI_{30}$ , que explica cómo una unidad de incremento en  $EI_{30}$  influye en aumentar en el material erosionado.

**Cuadro 1. Índices de erosión para los eventos observados durante el ciclo del maíz (may.24-sept.25/91). Exp. San Juan Sur, Turrialba.**

FECHA	INDICES DE EROSION FECHA		INDICES DE EROSION		
	El <sub>30</sub>	KE>1	El <sub>30</sub>	KE>1	
06-06-91	5,051	77,606	24-07-91	5,213	121,475
14-06-91	26,287	177,072	25-07-91	3,096	2,496
20-06-91	12,943	148,638	27-07-91	6,763	59,900
21-06-91	0,650	32,263	01-08-91	0,505	9,746
27-06-91	14,854	116,946	08-08-91	1,788	75,092
01-07-91	0,379	19,253	12-08-91	75,059	289,561
10-07-91	4,182	74,845	13-08-91	19,944	213,067
16-07-91	0,225	12,696	31-08-91	0,163	10,486
17-07-91	9,317	115,734	06-09-91	20,631	122,656
<b>Total de El<sub>30</sub> y KE&gt;1</b>			<b>207.050</b>	<b>1739.408</b>	

**Cuadro 2. Análisis de varianza para el material erosionado (en log), correspondiente a un diseño de parcelas divididas en el tiempo, para el ciclo del maíz (may.24-sept.25/91), Exp. San Juan Sur, Turrialba.**

F. de Var	GL	SC	CM	P>F
Bloque	2	257,2806	28,6403	0,0001
Tratamientos	5	250,2984	50,0576	0,0003***
BlxTratam E(a)		1036,4511	3,6451	0,0007
Evento Ev	17	414,4444	24,3790	0,0001***
Tratam. x Evento	85	164,0966	1,9304	0,0011***
Bl x Trat. {Ev} E(b)	204	230,1019	1,1279	0,0001

Se hicieron dos análisis de varianza que resultaron significativos y además pruebas de Duncan que se muestran en el Cuadro 3. El índice LSM está muy relacionado con el nivel erosivo de las lluvias en el período de estudio. El coeficiente de regresión resulta menos dependiente de dicho nivel y más factible de comparación entre tratamientos o épocas.

Del Cuadro 3 se deduce que los mejores tratamientos son aquellos con aplicaciones de mulch, por la mayor superficie cubierta del suelo y donde se ha demostrado mejor efectividad del "litter" en el control de erosión, ya que amortigua el impacto de las gotas lluvias (Wiersum, 1984, Nair, 1985). Es posible que este material contribuya a una mejor agregación del suelo al interactuar las arcillas con los productos mineralizados, mejorando la infiltración y disminuyendo los niveles de erodibilidad.

**Cuadro 3. Comparación de los índices de erosión LSM y b asociados a los tratamientos del Exp. San Juan Sur, ciclo del maíz (may.24 - set25/91, Turrialba.**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO LSM	PROMEDIO b
6 S. desnudo (Control)	4,0335 a	0,0953 a
2 CCallejón	3,1413 b	0,0610 abc
1 Monocultivo	2,9522 bc	0,0650 abc
3 CCallejón-4H	2,3544 bc	0,0673 ab
4 C+MInga	2,0993 c	0,0317 c
5 C+MEryrhina	1,2363 d	0,0517 bc

Letras iguales no difieren al 5 %, según la prueba de Duncan.

Los tratamientos con cultivos en callejones producen menor grado de protección del suelo contra la erosión y no difieren mucho del monocultivo. Esto se puede atribuir al estado juvenil de los árboles y a la poca cantidad de "mulch" aportada por la poda (4 ton x ha<sup>-1</sup> de materia fresca para cada bloque), comparada con la aplicación de mulch para las otras parcelas (16 ton x ha<sup>-1</sup>). La correlación entre el material erosionado (S) y su logaritmo LS = ln (S+1) muestra que el índice El<sub>30</sub> (0,472) explica mejor la pérdida.

El índice de erosión acumulado de El<sub>30</sub> (extrapolado a un año) con base en el tiempo observado sería aproximadamente de 620, comparable con las experiencias de Roose (1977) en Babau (1983) para Africa Occidental.

### 3.3. Relación entre la escorrentía superficial y el rendimiento del frijol.

En este período no hubo material erosionado y los coeficientes de escorrentía, respecto a la precipitación diaria varían entre 0,14 a 6,27 %; valores similares a los reportados por Bermúdez (1980), Apolo (1980) y Sancho (1991); y bajos según los reportados por Verbraeken (1988), pero éstos son para pendientes mayores.

El promedio para 10 eventos, en el tratamiento con "mulch" de *Inga edulis* + cultivo del bloque C, es de 0,72 % y para el monocultivo del bloque A, es de 1,92 %. Al comparar los coeficientes de escorrentía entre tratamientos, no existen diferencias significativas.

**Cuadro 4. Rendimiento promedio del frijol para diferentes tratamientos, periodo dic. 15/90-abril 15/91 del Exp. San Juan Sur, Turrialba.**

TRATAMIENTOS	PROMEDIOS (Kg/Ha)
4 C+MInga	1969,1 a
5 C+MErythrina	1823,3 a
1 Monocultivo	1679,9 a b
3 CCallejones-4H	1375,9 b
2 CCallejones-6H	985,5 c

\* Tratamientos con diferentes letras, difieren significativamente al 5 % de acuerdo con la prueba de Duncan

El ANDEVA para la variable rendimiento del cultivo mostró alta significación para bloques ( $P < 0,007$ ) y tratamientos ( $P < 0,001$ ). Además la prueba Duncan indica que los mejores rendimientos se obtienen para el cultivo con aplicaciones de "mulch" de Inga y Erythrina (Cuadro 4). El cultivo en callejones presentó menores rendimientos.

Los rendimientos superiores pueden considerarse lógicos, por el aporte de materia orgánica derivada del "mulch". De acuerdo con las observaciones de campo, en cada ciclo de cultivo estos descomponen un 50-70 % de su cobertura (E. fusca) y en un 20-30 % el I. edulis. La observación detallada de las tasas de descomposición y mineralización deben ser objeto de análisis posterior, información que contribuiría al análisis de reservas y transferencia de nutrimentos en el sistema.

La correlación entre las variables escorrentía y rendimiento en grano para el frijol no fue significativa. En este caso el análisis de varianza mostró que no existen diferencias significativas ( $P > 0,74$ ) entre tratamientos al comparar los porcentajes de escorrentías.

### 3.4. Relación entre la escorrentía superficial, material erosionado y el rendimiento del grano del maíz.

Los coeficientes de escorrentía en el ciclo del maíz son un poco mayores que en el frijol. Con excepción de los eventos del 12 y 13 de agosto, 14 de los 36 registrados (38,8 %) muestran coeficientes entre 3 - 6 % de la precipitación, en especial para los tratamientos con suelo desnudo, los cultivos en callejones y el monocultivo. El evento del 12 de agosto de 1991, tuvo una magnitud y cantidad total de lluvia precipitada de 150 mm y aproximadamente 166-200 mm x h<sup>-1</sup> de intensidad horaria con base en un registro de 3-6 minutos. El análisis de varianza para la escorrentía durante el ciclo del maíz (Cuadro 5) mostró efectos de bloques, tratamientos, eventos e interacción de eventos por tratamientos.



**Cuadro 5. Análisis de varianza para escorrentía superficial EM (en %), correspondiente a un diseño en parcelas divididas en el tiempo, ciclo del maíz (mayo 24 - septiembre 25/91). Exp. San Juan Sur, Turrialba.**

F. de Var.	GL	SC	CM	P>F
Bloque	2	19,1841	9,5920	0,0001***
Tratamientos	5	37,1651	7,4330	0,0001***
Bl x Tratam = E(a)	10	5,4104	0,5410	0,4166
Evento	17	182,7572	10,7504	0,0001***
Tratam x Evento	85	56,0322	0,6592	0,0001***
Error (b)	204	106,807	0,5236	0,0962

Al correlacionar el coeficiente de escorrentía E y el logaritmo de E (LE) con la intensidad máxima de 30 minutos  $I_{30}$ , y luego correlacionando la energía cinética EC con el índice de erosión  $EI_{30}$ ; resulta que existe mejor correlación entre  $I_{30}$  (0,89) y E. Se calcularon dos índices de escorrentía, uno dado por el valor promedio de la escorrentía (EM), y otro en función del coeficiente de la regresión, "b" o tasa de escorrentía (incremento del porcentaje de escorrentía ante un incremento unitario de  $I_{30}$ ). El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre tratamientos para ambos índices. La prueba de Duncan se presenta en el Cuadro 6.

El Cuadro 6 indica que la mayor protección contra la escorrentía está en el cultivo con "mulch" de Inga Edulis, y pueden influir, la mayor permanencia de la cobertura sobre el suelo, la naturaleza de su hoja y el grado de su descomposición.

**Cuadro 6. Comparación de los índices de escorrentía EM y b asociados a los tratamientos, Exp. San Juan Sur, ciclo del maíz (may. 24 - set.25/91) Turrialba.**

TRATAMIENTOS	PROMEDIO EM	PROMEDIO b
6 S. desnudo (Control)	4,0335 a	0,3167 a
2 CCallejón-4H	3,1413 b	0,3092 a
3 CCallejón-6H	2,9522 bc	0,2299 ab
5 C+MEryrhina	2,3544 bc	0,1861 ab
1 Monocultivo	2,0993 c	0,1354 ab
4 C+MInga	1,2363 d	0,0829 b

Letras iguales no difieren al 5 % según la prueba de Duncan.

En este mismo Cuadro se indica que los de menor protección son el suelo desnudo, cultivos en callejones y monocultivo.

El Cuadro 7 presenta las pérdidas promedios de material erosionado S en gramos, para tratamientos y bloques. Algunas veces, queda material en suspensión al momento de realizar la medición, cuando esta se realiza a pocas horas después de la lluvia.

Las cantidades de material erosionado durante el ciclo del maíz y extrapoladas al año se consideran bajas, comparadas con estudios afines (Bermudez, 1980, Vahrson, 1991, Sancho, (1991). Pero estos son para asociaciones de café con árboles de poró y laurel, y con pastos; las referencias indican otro tipo de manejo de coberturas, con aplicaciones de herbicidas o en diferentes regiones climáticas.

**Cuadro 7. Material erosionado para cada tratamiento y en cada bloque, encontrados durante el ciclo del maíz (may.24-sept.25/91). Exp. San Juan Sur, Turrialba.**

TRATAMIENTOS	MATERIAL EROSIONADO (Gr)		
	Bloque A(35%)	BloqueB(25%)	Bloque C(15%)
1 Monocultivo	150,019	90,778	13,022
2 CCallejón-6H	106,442	1 326,478	14,001
3 CCallejón-4H	26,254	208,945	16,963
4 C+Minga	19,565	66,195	0,734
5 C+MErythrina	20,584	18,773	16,963
6 S. desnudo	305,373	4 755,783	387,317

En cuanto al rendimiento en grano del maíz, el análisis de varianza presenta diferencias significativas debidas a bloques ( $P < 0,03$ ) y a tratamientos ( $P < 0,02$ ). Una prueba de Duncan se presenta en el Cuadro 8. El tratamiento, cultivo + "mulch" de *Inga edulis*, presentó los mayores rendimientos; esto podría atribuirse al aporte de materia orgánica del "mulch" y a la incidencia de una mejor agregación del suelo, que facilita una mayor retención de humedad y toma de nutrientes (Young, 1989).

Las correlaciones entre la escorrentía y material erosionado, con el rendimiento en grano para el maíz, expresan índices significativos de -0,71 y -0,63. Estas se basan en 15 observaciones de los tres bloques y en cinco de los seis tratamientos (no para suelo desnudo). Existe mayor correlación en valor absoluto entre el coeficiente de escorrentía y el rendimiento, y menor correlación con la pérdida de suelo.

El comportamiento del rendimiento del maíz en función del coeficiente de escorrentía y del material erosionado, tiende a decrecer en función de estas dos variables, lo cual parece lógico, pero deben explorarse otros factores que otorguen mayor explicación de este comportamiento.

**Cuadro 8. Rendimiento promedio del maíz y prueba de Duncan (al 5 %) para los diferentes tratamientos (may. 24 - set. 25/91). Exp. San Juan Sur, Turrialba.**

TRATAMIENTOS	PROMEDIOS (Kg/Ha)	
4 C+MInga	2931,1	a
1 Monocultivo	2173,8	b
5 C+MErythrina	2132,7	b
3 CCallejón-4H	1815,5	b
2 CCallejón-6H	1601,3	b

\* Tratamientos con diferentes letras difieren significativamente.

### 3.5. Características fisicoquímicas del suelo, del material erosionado y pérdida de nutrimentos.

La textura del suelo es Franco-Arcillosa con arena (32 %), limo (29 %) y arcilla (39 %). La cantidad de arcilla y el material alófono en los suelos, genera una agregación que le da cierta resistencia a la dispersión; no obstante lluvias intensas y acompañadas de una condición de antecedente de humedad, producen una fácil erosión (Baver et al, 1980) que explica las bajas pérdidas de material erosionado.

El análisis granulométrico del material erosionado explica que en todos los tratamientos, los valores de arena oscilan entre un 62 % y un 81 %; el porcentaje restante de material se distribuye equitativamente entre limo y arcilla. Esto se atribuye a que el material arcilloso inicial, durante períodos sin lluvias, toma la apariencia de terrón, el cual con el calor se resquebraja y ante una lluvia puede ser fácilmente erosionado. Sin embargo debe retomarse y analizarse el concepto de Ellison (1947), en (Hudson 1982), ante la susceptibilidad de erosión de las partículas finas.

La observación y medida de los niveles de pérdidas del material en suspensión, deben estudiarse en forma mas detallada, de acuerdo a los eventos de cada lluvia, posibilitando una mayor interpretación. Esto requerirá utilizar separadores mecánicos, floculantes o dispersores como equipo complementario.

**Cuadro 9. Comparación de las pérdidas de nutrimentos en  $\text{kg} \times \text{ha}^{-1}$ , asociadas a los tratamientos durante el ciclo del maíz (may.24 - set. 25/91). Exp. San Juan Sur, Turrialba.**

TRATAMIENTO	M.O.	N	P	K	Ca	Mg
Monocultivo	57,8 b	2,3 b	0,53 b	0,04 b	0,53 b	0,02 b
Callejón-6H	290,0 b	11,2 b	2,77 b	0,19 b	3,41 b	0,14ab
Callejón-4H	53,4 b	2,2 b	0,57 b	0,03 b	0,25 b	0,02 b
C+Minga	18,4 b	0,8 b	0,17 b	0,01 b	0,20 b	0,01 b
C+MErytrina	6,7 b	0,3 b	0,07 b	0,01 b	0,09 b	0,01 b
S. Desnudo	74,2 a	80,2 a	15,10 a	0,98 a	2,05 a	0,27 a

Letras iguales no difieren al 5 %, según la prueba de Duncan.

Del análisis de nutrimentos del material erosionado durante el ciclo del maíz, del factor de corrección dado por el peso promedio de  $1 \text{ cm}^3$  de material erosionado y con base en las cantidades totales de suelo perdido en el cultivo, se dan las pérdidas de cada nutrimento en  $\text{kg} \times \text{ha}^{-1}$  (Cuadro 9). Para el ciclo del frijol no hubo material erosionado.

El Cuadro 9 muestra que no hubo significación en las pérdidas de nutrimentos, exceptuando el magnesio en los tratamientos del suelo desnudo y el cultivo en callejones distanciados a 6 m., pero se consideran bajos, comparados con datos presentados por Sancho (1991) y Vahrson y Cervantes (1991), en cafetales con sombra y sin sombra en Puriscal y Alajuela, Costa Rica. En los tratamientos indicados, las pérdidas de materia orgánica y de fósforo total, son considerables; corresponden a valores de  $3229 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$  y  $803 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$  (materia orgánica) y  $25,3 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$  y  $7,6 \text{ kg} \times \text{ha}^{-1}$  (fósforo). Las pérdidas de nitrógeno, en forma de nitratos pueden llegar a ser significativas, recomendándose analizar las aguas de escorrentía.

#### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- i) El índice de erosión ( $EI_{30}$ ) de Wischmeier muestra mejor correlación con el logaritmo del material erosionado (LS). El coeficiente de escorrentía (E) correlacionó mejor con la intensidad ( $I_{30}$ ).
- ii) Durante los ciclos del maíz y del frijol los tratamientos con "mulch" de Erythrina. fusca e Inga edulis mostraron los menores promedios de coeficiente de (E), (0,34 y 0,40%) y (0,72 y 1,92%), respectivamente.
- iii) Los coeficientes de escorrentía y las cantidades de material erosionado encontradas se consideran bajas en comparación con otras referencias. El tratamiento de cultivo con "mulch" Inga edulis fue mejor para controlar escorrentía y erosión.
- iv) El tratamiento del cultivo con "mulch" de Inga edulis produjo los mayores rendimientos en las producciones de grano de frijol y de maíz (1.969,1 y 2.931,1 kg/ha), respectivamente.
- v) El uso de coberturas con "mulch" es una de las formas efectivas para controlar la escorrentía y erosión. En los cultivos en callejones se espera que aumenten las cantidades de mulch provenientes de la poda y de esta forma propicien una mejor protección al suelo.

## 5. LITERATURA CONSULTADA

- AGUIRRE, V. 1971. Estudio de los suelos del área del Centro Tropical de Enseñanza e Investigación, Turrialba, Costa Rica, Tesis Mag. Sc, IICA/CTEI 145 p.
- APOLO, W. A. B. 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.
- BABAU, M. C. 1983. La capacidad erosiva de la lluvia. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Word climate programme N° 41. 29 p.
- BAVER, L.D.; GARNER, W.H.; GARNER, W.R. 1980. Física de suelos. México, D. F, México. Editorial Uteha. 529 p.
- BERMUDEZ, M. 1980. Erosión hídrica y escorrentía superficial en el sistema café (coffea arabica L.), poró (*Erythrina poeppigiana* (walpers) O. F. Cook) y laurel (*Cordia alliodora* (R & P) Cham. ) Turrialba, Costa Rica, Tesis, Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. UCR/CATIE, 74 p.
- ELLISON, W. 1947 Soil Science Society Proceedings USA 11 (12): 479-484.
- HAWKINS, R.; SEMBIRING, H. ; LUBIS, D. ; SUWARDJO. 1990. The potential of alley cropping in the uplands of east and central java. Salatiga, Java. Agency for Agricultural Research and Developent. 71 p.
- HUDSON, N. 1982. Conservación del suelo. Ed. Reverté, S.A. España.
- NAIR, P. K. R. 1985. Soil productivity aspects of agroforestry. ICRAF.
- ROSSE, E., LELONG, F. 1976 Les facturs d l'erosión hydrique en Afrique Tropicale. Etudes sur petites parcelles experimentales de sols . Revue d. geographie Physique et de Geologie Dynamique 18 (4): 365-334.
- SANCHO, F. 1991. Medición de pérdidas de suelo a través de parcelas de escurrimiento. In Taller de erosión de suelos (1991), Heredia, Universidad Nacional, Costa Rica, P. 102-115.
- VAHRSON, W. ; CERVANTES, C. 1991. Escorrentía superficial y erosión laminar en Puriscal, Costa Rica. In Taller de erosión de suelos (1991), Heredia, Universidad Nacional, Costa Rica, P. 116-143.
- VERBRAEKEN, J. A. 1988. Escorrentía en parcelas con cultivo de café, bosque secundario y frijol, Finca "La Selva", La Suiza, Turrialba, Costa Rica. 67 p.

- WIERSUM, K. F. 1984. Surface erosion under various tropical agroforestry system. In Symposium on effects of forest land use on erosion and slope stability. Environment and Policy Institute, East-West Center, Honolulu, Hawai, p. 231-239.
- WISCHMEIER, W. H. ; SMITH, D.D. 1958. Evaluation of factors in the soil loss equation. Agricultural Engineering 39: 458-462.
- 1978. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No 537.
- YAMOAHA, C.F.; AGBOOLA, A.A.; WILSON, G.F. and MULONGOY, 1986. Nutrient Contribution a Maize Performance in Alley Crooping System. Agroforestry System. 4:247-254.
- YOUNG, A. 1989. Agroforestry for soil conservation, Nairobi, A. B. International, ICRAF 275 p.