

**Cuantificación de la erosión hídrica en un
cultivo de caña de azúcar en la finca
Rapaco, en el departamento
de El Paraíso, Honduras.**

Jorge Alberto Castedo Valdés

MICROISIS: _____
FECHA: _____
ENCARGADO: _____

ZAMORANO

Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica

Junio, 1999

**Cuantificación de la erosión hídrica en un
cultivo de caña de azúcar en la finca
Rapaco, en el departamento
de El Paraíso, Honduras.**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniero Agrónomo en el Grado
Académico de Licenciatura.

Presentado por

Jorge Alberto Castedo Valdés

Zamorano, Honduras

Junio, 1999

El autor concede a Zamorano permiso
para reproducir y distribuir copias de este
trabajo para fines educativos. Para otras personas
físicas o jurídicas se reservan los derechos de autor.



Jorge Alberto Castedo Valdés

Zamorano, Honduras
Junio de 1999

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen de Cotoca por haberme ayudado durante estos años de estudio.
A mis abuelos Dr. Jorge Valdés L. (Q.E.P.D.) y Dina Lladó de Castedo (Q.E.P.D.),
gracias por haber sido ejemplo en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos por hacer posible este logro a:

- A Dios y a la Virgen de Cotoca por haberme ayudado a superarme en los momentos difíciles de mi vida.
- A Silvia Chalukian por ser la persona que más se preocupó por mi ingreso y haber sido más que una consejera una amiga. Gracias Silvia!
- Al Ing. Joaquín Romero Ortiz por su amistad.
- Al Dr. Pilz por su apoyo constante.
- Al profesor Nelson Agudelo por enseñarme que en la vida hay que luchar por ideales.
- A mi asesora Ing. Janeth Moncada por haberme tenido paciencia durante todo este tiempo y gracias por haberme brindado tu amistad y apoyo.
- A Gerardo Perez por su ayuda en el SIG.
- A Carlos Carpio (Sucre 96) por haber compartido conmigo el PIA y por haberme hecho notar mis debilidades y fortalezas, brindándome apoyo incondicional.
- A todo el personal del DRNCB: Reina Castro, Glenda, Wendy, Saúl, Ofelia, Jorge Araque, Miguel, José, Adolfo, Goyo, Colindres, Fernando, Victoriano y Reynieri.
- A don Amado Pelén y a Pipo por ayudarme en la toma de decisiones.
- A las Familias Zelaya-Baldovinos, Figueroa-Nufio y Gallozzi-Cálix por haberme acogido en su casa.
- Finalmente agradezco a todas aquellas personas que no nombro pero que de una u otra manera me ayudaron y brindaron su amistad durante este periodo de estudios.

AGRADECIMIENTOS A PATROCINADORES

Agradezco a la DSE por haber financiado mis estudios en el Programa Agrónomo (PA) y a la GTZ-Recursos Naturales por contribuir con mis estudios en el Programa de Ingeniero Agrónomo (PIA).

RESUMEN

Castedo, Jorge 1999. Cuantificación de la erosión hídrica en un cultivo de caña de azúcar en la finca Rapaco. Proyecto Especial del Programa de Ingeniero Agrónomo, Zamorano, Honduras. 57p.

En la actualidad las áreas con potencial agrícola están disminuyendo dado el avance de la agricultura. Áreas de suelos frágiles y de altas pendientes están siendo cultivadas sin prácticas de conservación de suelos. En todo el mundo se han degradado alrededor de 5,500,000 km² (1975-1990), debido a la erosión cólica, hídrica (pérdida de nutrientes por escorrentía) y salinización. Honduras no reporta datos en cuanto a pérdida anual de suelo y nutrientes. Con el propósito de generar este tipo de información se realizó un estudio en la finca Rapaco, situada en el Valle de Morocelí, El Paraíso, Honduras. El objetivo fue cuantificar la erosión de suelos en áreas cultivadas con caña de azúcar, en la época de postrera (1998). Se instalaron cuatro parcelas de 50m² cada una: pendiente de 11% con malezas (CM11), pendiente de 11% sin malezas (SM11), pendiente de 18% con malezas (CM18) y pendiente 18% sin malezas (SM18). Se colectaron muestras de agua y sedimentos de cada parcela para cuantificar los sólidos y la escorrentía diaria. Se tomaron datos de cobertura de malezas periódicamente en cada parcela para medir su influencia en la erosión. Se analizó el suelo para determinar los elementos (N, P, K, Ca y Mg) perdidos por erosión. Se hizo un análisis comparativo y estadístico relacionando la precipitación con la pérdida de suelo, utilizando regresiones para conocer el comportamiento de la erosión. Los resultados muestran que la maleza disminuyó la erosión en la pendiente de 18% (SM18) de 125 kg de suelo (25 ton/ha) a 58.55 kg (1.7 ton/ha) (CM18) y de 1002.9 a 922 litros de escorrentía. Existe una alta influencia de las malezas en la disminución de erosión en siembras de caña a favor de la pendiente. Es importante mencionar que la planificación, manejo del cultivo y las actividades de protección deben ser empleadas conjuntamente para tener éxito en el uso adecuado del suelo.

Palabras claves: Escorrentía, nutrimentos, pérdidas, sedimentos, suelo.

¿CUÁNTO AYUDAN LAS MALEZAS A LA PROTECCIÓN DE LOS SUELOS?

La mala planificación de los agricultores de caña que siembran en lugares a favor de la pendiente están trayendo consecuencias irreversibles de pérdida de suelos, degradación de terrenos agrícolas, disminución de los rendimientos, contaminación de fuentes de agua y pérdidas económicas a largo plazo. En Honduras la mayor parte de los suelos son de ladera, sin embargo no se ha investigado suficiente sobre cuánto de éste se pierde.

Esta situación preocupante incentivó a Zamorano para realizar un estudio en postrera de 1998 (julio-octubre), este consistió en hacer una cuantificación del suelo que se pierde cuando se hacen siembras de caña de azúcar a favor de la pendiente. La investigación se realizó en la Finca Rapaco, situada en el Valle de Moroceli, Departamento de El Paraíso, Honduras.

Para poder cuantificar el sedimento, se instalaron cuatro parcelas de muestreo entre los surcos del cultivo de caña: dos de éstas se situaron en una pendiente de 11% y las otras dos en una de 18%. En ambas pendientes se tuvo una parcela con malezas y la otra sin malezas.

En todas las parcelas hubieron pérdidas de suelo, la que más suelo perdió fue la parcela sin malezas y con 18% de pendiente (55 kilogramos), lo que significa 12 toneladas de suelo por hectárea, sólo en la época de postrera. Se podría decir entonces que después de algunos años de cultivo bajo estas condiciones quedaríamos con un suelo casi totalmente degradado (Figura 1).

Generalmente se cree que las malezas son un perjuicio para los cultivos, sin embargo se demostró que también ofrecen beneficios en cuanto a la protección de la superficie del suelo en cultivos con pendiente. Cuando hubo cobertura de malezas, la tasa de erosión bajó a 30 kilogramos de suelo por parcela, lo que sería alrededor de 6 toneladas de suelo por hectárea, es decir disminuyó 50% la erosión.

Una vez cuantificados los sedimentos se hicieron análisis de éstos, se mostró que la pérdida de materia orgánica en las parcelas sin cobertura fue de 480 kilogramos por hectárea, y alrededor de 15 kilogramos de Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

El estudio demostró que estas pérdidas son bastante altas, por esto es necesario integrar la planificación, manejo del cultivo y las actividades de protección y conservación de los suelos para evitar los problemas de erosión y pérdida de nutrientes en el suelo.

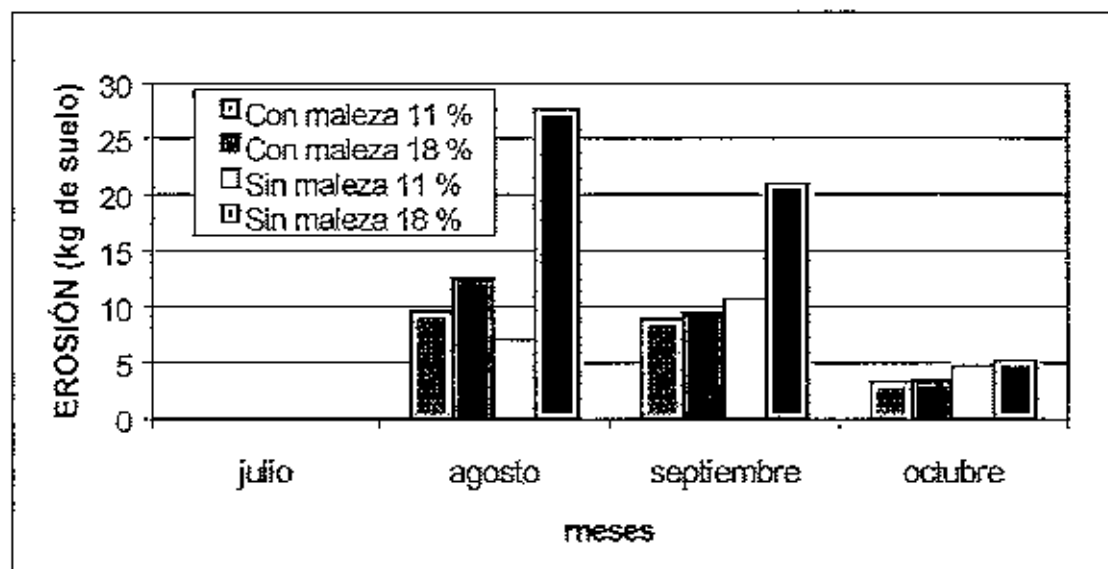


Figura 1. Erosión de suelo por parcela en el periodo de postrera en Rapaco, Valle de Moroceli, El Paraíso, Honduras.

CONTENIDO

Portada.....	i
Portadilla.....	ii
Autoría.....	iii
Página de firmas.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Agradecimiento a patrocinadores.....	vii
Resumen.....	viii
Nota de prensa.....	ix
Contenido.....	xi
Índice de Cuadros.....	xiii
Índice de Figuras.....	xiv
Índice de Anexos.....	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 La problemática de los Recursos Naturales.....	4
2.2 El problema de la degradación de los suelos.....	5
2.3 Concepto de Erosión de suelos.....	5
2.3.1 Tipos de Erosión.....	5
2.3.2 Clases de erosión hídrica y su cuantificación.....	6
2.4 Proceso y desarrollo de la erosión hídrica.....	6
2.5 Factores naturales que influyen en la Erosión Hídrica.....	7
2.6 Uso adecuado del suelo.....	9
2.6.1 Aumento de la erosión según el uso del suelo.....	10
2.7 Manejo de cobertura viva.....	11
2.8 Manejo de rastrojos.....	11
2.9 Prácticas de Conservación y Manejo del Suelo.....	12
2.9.1 Manejo de barreras vivas.....	12
2.9.2 Manejo de barreras muertas.....	13
2.10 Factores sociales y políticos que influyen en la erosión de suelos.....	13
2.2 Medición de la Erosión Hídrica y sus impactos económicos y Ambientales.....	14
2.12 Predicción de la cantidad de erosión hídrica de suelo.....	14
2.13 Impactos de la Erosión de suelos.....	15
2.13.1 Pérdida de Nutrimentos.....	15
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1 Ubicación del Área de Estudio.....	17
3.1.1 Uso de la tierra en la finca Rapaco EAP.....	18

3.2	El ensayo.....	18
3.2.1	Materiales utilizados.....	19
3.2.2	Variables medidas.....	20
3.2.2.1	Precipitación.....	21
3.2.2.2	Medición de las pendientes.....	21
3.2.2.3	Tipo de suelo.....	21
3.2.2.4	Volumen de cada unidad muestral.....	22
3.2.2.5	Medición de los sedimentos.....	22
3.2.2.6	Análisis de los sedimentos.....	22
3.2.2.7	Medición de la cobertura de maleza.....	23
3.3	Análisis de los resultados.....	24
3.3.1	Análisis Comparativo.....	24
3.3.2	Análisis Estadístico.....	25
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1	La precipitación.....	26
4.2	La pendiente y sus efectos.....	27
4.3	Efecto de la erosión en el suelo.....	29
4.4	Peso seco de los sedimentos de cada parcela.....	30
4.5	Volumen de escorrentía.....	32
4.6	Influencia de la cobertura de malezas en la erosión de suelos.....	34
4.6.1	Cobertura de malezas por metro cuadrado y su influencia en la erosión.....	34
4.7	Pérdida mensual de suelo.....	35
4.8	Nutrientes perdidos a causa de la erosión.....	36
4.9	Cambios en la textura de los sedimentos comparando SM vs. CM....	37
4.10	Cambios en pH, M.O. y N., P., K. de los sedimentos comparando SM vs. CM.....	38
4.11	Curvas de Predicción de la Erosión (Regresiones).....	38
4.11.1	Curva de predicción para la parcela CM11.....	38
4.11.2	Curva de predicción para la parcela CM18.....	39
5.	CONCLUSIONES.....	41
6.	RECOMENDACIONES.....	42
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	43
8.	ANEXOS.....	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1.	Distribución del área de Rapaco de acuerdo a los usos de la tierra....	18
2.	Pérdida de suelo por parcela considerando sólo la pendiente.....	28
3.	Porcentajes de partículas en las muestras de suelo.....	29
4.	Pérdidas de suelo en las parcelas experimentales.....	31
5.	Escoorrentía producida en las parcelas experimentales.....	33
6.	Relación de la cobertura de malezas con la pérdida de suelo por parcela.....	35
7.	Comparaciones de pérdidas de nutrimentos entre las parcelas Con Maleza (CM) y Sin Maleza (SM).....	37
8.	Análisis finales de los sedimentos.....	37
9.	Análisis de Ph, M.O. y NPK.....	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

1.	Diagrama del sistema de siembra, cultivo de caña, Rapaco.....	2
2.	Erosión por salpique.....	6
3.	Triángulo Textural.....	9
4.	Aumento de la erosión en función de la cobertura bajo condiciones Análogas de capacidad de uso de la tierra.....	11
5.	Esquema de las parcelas de muestreo.....	19
6.	Colectores de cada parcela.....	20
7.	Pluviómetro en medio del área de estudio.....	21
8.	Muestreo sistemático de malezas.....	24
9.	Precipitación de postrera 1998, finca Rapaco.....	26
10.	Precipitaciones mensuales de postrera, finca Rapaco.....	27
11.	Erosión por parcela considerando sólo la pendiente.....	29
12.	Cambios en la composición del suelo en las parcelas Experimentales.....	30
13.	Erosión de suelo por parcela en el periodo de postrera 1998, en Rapaco.....	32
14.	Erosión por parcela considerando sólo la cobertura.....	36
15.	Cambios en la textura de los sedimentos.....	37
16.	Curva de erosión en cultivo de caña en Rapaco, bajo el tratamiento CM11.....	39
17.	Curva de erosión de un cultivo de caña en Rapaco bajo el tratamiento CM18.....	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo

1.	Tipo de suelo en la finca Rapaco.....	45
2.	Quebradas de la finca Rapaco.....	46
3.	Usos de la tierra en Rapaco.....	47
4.	Análisis de suelo.....	48
5.	Salidas del SAS.....	49
6.	Identificación de malezas.....	57

INTRODUCCIÓN

La degradación de los suelos a nivel mundial se ha incrementado en las últimas décadas debido a la presión del crecimiento poblacional. Según FAO (1996) la erosión de suelos a nivel mundial está estimada en 25,000 millones de toneladas por año. En los trópicos la erosión de suelos se acentúa con la deforestación de las laderas y su transformación en áreas de cultivo que expuestas a intensas precipitaciones y un manejo inapropiado aceleran los procesos de erosión y degradación de los suelos.

Los cultivos en laderas son de alto riesgo para la estabilidad del suelo, principalmente en la época lluviosa. La eliminación de la cobertura vegetal producto de la agricultura migratoria con sus prácticas de tala y quema, al igual que la extracción de madera y leña han sido responsables del inicio de los procesos erosivos.

En Honduras la pérdida de suelos debido a la erosión hídrica, según estudios realizados por el Proyecto LUPE (1994), son bastante elevados y ampliamente distribuidos. Los efectos de erosión son visibles tanto en las cuencas que drenan hacia la vertiente del Pacífico (Cuenca del río Choluteca y del río Nacaome) como en las cuencas que drenan al Atlántico (río Ulúa, río Chamelecón y otros).

Los problemas de erosión en estas cuencas provienen de la alta presión que existe sobre el uso de los recursos naturales, que unido a la fragilidad del suelo, topografía del terreno, prácticas de manejo del cultivo y condiciones climáticas intensifican la pérdida de suelos y áreas de cultivo.

Uno de los principales cultivos agroindustriales de Honduras es la caña de azúcar, este cultivo representa un importante rubro para el país, por la gran cantidad de empleo y divisas que genera. La caña de azúcar es sembrada en los valles del norte, centro y sur de Honduras. En el Valle de Moroceli ubicado en la región centro-oriental, el cultivo de caña representa el rubro de mayor área sembrada. Las áreas cultivadas pertenecen tanto a la Compañía Azucarera "Tres Valles", como a productores independientes.

Esta empresa durante los últimos tres años a expandido las áreas de cultivo alquilando tierras a los propietarios de la zona. Para ello se ha cambiado el uso de las tierras de bosque seco, guamiles y potreros a cultivo de caña. En 1997 Zamorano alquiló las tierras de la finca Rapaco a dicha empresa, la cual procedió la habilitación de las tierras utilizando maquinaria pesada.

Las prácticas de preparación consistieron en la remoción de la cobertura vegetal, labranza de las tierras, instalación de riego por goteo, construcción de calles y obras de drenaje. Para disminuir los costos de instalación del riego por goteo la siembra se

hicieron en forma lineal y sin considerar la orientación de la pendiente. Asimismo, el espaciamiento entre hileras dobles de 50 cm y separadas 2 metros entre las mismas, retardó la cobertura del suelo que el cultivo naturalmente debería ejercer en corto tiempo.

Todo lo anterior aceleró la erosión hídrica debida al impacto directo de las gotas de lluvia sobre el suelo descubierto y suelto (Figura 1).

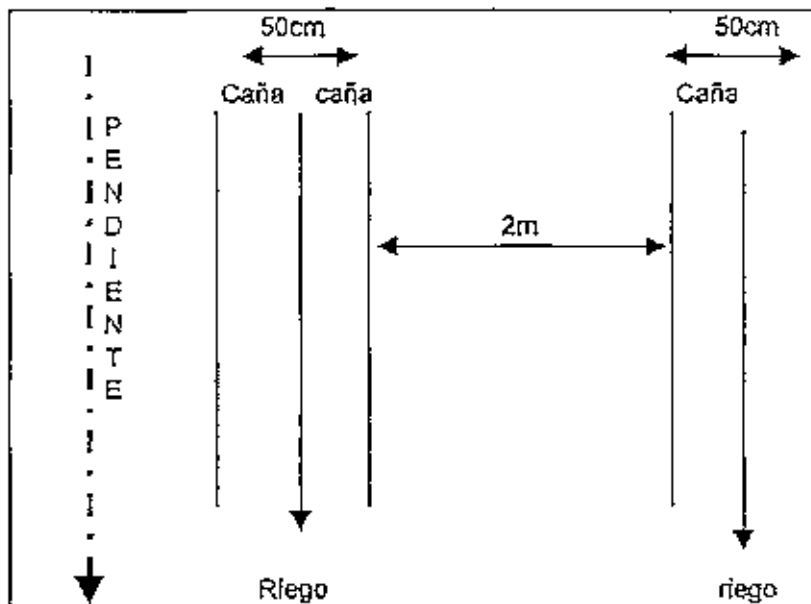


Figura 1. Diagrama del sistema de siembra, cultivo de caña, Rapaco.

Dada la problemática anterior, es importante tanto para Zamorano como para la Empresa Azucarera "Tres Valles" conocer el impacto que pudieran causar en los suelos las prácticas de desbosque, preparación del suelo, sistema de siembra y manejo del cultivo. Para ello el presente estudio pretende medir la magnitud del problema de erosión, las posibles causas o factores que intervienen así como determinar las posibles medidas de mitigación que deberían implementarse.

A través de este estudio se pretende medir las tendencias de la erosión en los cultivos de caña de azúcar sembrados en pendientes de 11% y 18%. También se desea conocer como influye la maleza en el desarrollo de la erosión de suelos.

Entre las principales limitantes encontradas en la investigación fue la falta de medición de algunas variables que influyen en la erosión de suelos, dentro de ellas tenemos:

- Intensidad de las precipitaciones: ésta se mide mediante un pluviógrafo instalado en el área de estudio. Este instrumento por ser tan caro y delicado no se puede instalar en sitios sin vigilancia permanente.

- Factor de erodabilidad del suelo: éste se calcula midiendo la facilidad de desprendimiento del suelo a través de varios experimentos consecutivos en la zona. (Kirkby *et al.*, 1984).

Este estudio tiene como objetivos los siguientes:

Objetivo General

- Conocer los factores naturales y de manejo del cultivo de caña que afectan el suelo en la finca Rapaco, el Paraíso, Honduras.

Objetivos específicos

- 1) Cuantificar las cantidades de suelo y de nutrimentos perdidos en parcelas experimentales en cultivo de caña de azúcar.
- 2) Determinar el efecto que tiene la cobertura de malezas y la pendiente en reducir o aumentar la erosión del suelo en el cultivo de caña de azúcar.
- 3) Elaborar ecuaciones que expliquen la erosión hídrica en el cultivo de caña de azúcar en la finca de Rapaco.
- 4) Identificar algunas prácticas de manejo del suelo y los cultivos que minimicen la erosión del mismo.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LA PROBLEMÁTICA DE LOS RECURSOS NATURALES

Debido a que el aumento de la población se ha incrementado aceleradamente, la demanda de alimentos, energía, fibras y madera para diversos usos también. El uso intensivo del suelo para producción intensiva y extensiva de hortalizas, granos y forrajes entre otros, están causando un deterioro significativo de la calidad de los suelos y por lo tanto promoviendo la expansión de la frontera agrícola (Monegat, 1991).

Como todos sabemos la erosión de suelos también es parte de la evolución de la tierra. El proyecto LUPE en 1993 hace mención de que la "erosión es algo natural que ocurre poco a poco durante muchos años. Con ella se mantiene un equilibrio entre la formación del suelo y el lavado del mismo", sin embargo ésta se acelera cuando el hombre trabaja mal la tierra.

Existen dos actores principales que ocasionan la erosión: el agua y el viento, asimismo actividades culturales inapropiadas como las quemas y excesivos laboreos del suelo, aceleran estos procesos. Los daños de la erosión no se limitan solamente al sitio, sino que también se contaminan fuentes de agua con los sedimentos que se arrastran y depositan en todo el proceso. Los cultivos en las áreas ribereñas son comunes en nuestro medio debido a las condiciones físicas y químicas de los suelos, pero a la vez representan un gran problema de contaminación no puntual de fuentes de agua.

Como es generalmente aceptado el origen, crecimiento y prosperidad de toda nación depende en gran parte de la capacidad de sus suelos para producir bienes y servicios para su autoconsumo y la exportación. A pesar de los grandes avances en el mejoramiento genético, uso de fertilizantes, control eficaz de insectos y enfermedades y otras actividades que se realicen, si no cuidamos y protegemos el suelo toda la prosperidad alcanzada será momentánea. Todos los efectos esperados de mejorar la productividad seguirán causando decepciones dada la degradación que han sufrido los suelos a causa de la erosión (Suarez de Castro, 1982).

Lo cierto es que muchos productores no se dan cuenta hasta ahora que el suelo es un capital no renovable que sólo les pertenece temporalmente. Los daños de degradación de suelos son alarmantes, por ejemplo en Argentina se publican áreas afectadas de aproximadamente 56 millones de hectáreas valorados en aproximadamente 3,000 millones de dólares (Chacra, 1998).

2.2 EL PROBLEMA DE LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

El término degradación de los suelos es usado para describir la disminución de la calidad de éste. La degradación causada por la erosión reduce efectivamente la profundidad radicular, la capacidad de retención de agua, las reservas de nutrientes, el contenido de la materia orgánica y las propiedades estructurales del mismo (Moldenhauer y Hudson, 1988).

Es necesario establecer límites críticos aceptables en cuanto a erosión según las propiedades de cada suelo, dado que algunos son más frágiles que otros. Se deben considerar estos límites de acuerdo a las zonas ecológicas, el clima, los usos de las laderas y los cultivos que se siembran. Si los límites críticos del contenido de materia orgánica, cantidad de nutrientes y porosidad no se conocen, se dificulta la clasificación del suelo. Es importante clasificar el suelo y conocer su composición para determinar la tasa de degradación que se puede dar año con año (Moldenhauer y Hudson, 1988).

Se podría decir entonces que la degradación continua de las propiedades físicas del suelo (porosidad, agregación, materia orgánica), son factores que contribuyen al inicio del proceso erosivo.

2.3 CONCEPTO DE EROSIÓN DE SUELOS

Kirkby *et al.* en 1984 define la erosión del suelo como "la remoción del material superficial por acción del viento o del agua".

El Proyecto LUPE (Land Use and Productivity Enhancement) durante su ejecución en Honduras, definió la erosión como "un ladrón, que primero se lleva lo mejor dejando el suelo cada vez más pobre a medida que ésta se desarrolla".

La erosión se puede definir como "la acción de desprendimiento de las partículas de suelo y su transporte por el agua que escurre sobre el terreno, cuando no hay más energía para el transporte ocurre la sedimentación" (Cubero, 1996).

En general se puede decir que la erosión es el desprendimiento de suelo, materia orgánica y otras partículas livianas que pueden ser llevadas por el agua desde sus lugares de origen, para sedimentarse o depositarse en otra parte del terreno, empobreciendo algunos lugares y beneficiando a otros, dependiendo del tipo de sedimento que sea arrastrado.

2.3.1 Tipos de erosión

Según Kirkby *et al.* (1984) existen dos tipos de erosión: Erosión eólica e hídrica. La erosión eólica es el proceso en el cual la acción del viento transporta suelo de un lugar a otro, en la erosión hídrica actúa el agua, la cual es de interés para este estudio.

2.3.2 Clases de erosión hídrica y su cuantificación :

- Erosión ligera (E1), es cuando el material removido es menos del 25% y se presentan cárcavas poco profundas; generalmente es el inicio de la erosión, y puede ser perjudicial si trae rocas y troncos, o beneficioso cuando es de textura fina, como limo y materia orgánica.
- Erosión moderada (E2), es cuando hasta el 50% del material superficial ha sido removido.
- Erosión grave (E3), es cuando el subsuelo se muestra en más del 50% del área erosionada y casi todo el material superficial ha sido eliminado.
- Erosión muy grave (E5), es la pérdida de todo el suelo superficial, parte del subsuelo y hay presencia de cárcavas profundas.
- Por último, los deslizamientos de tierra (E6), donde se ha acumulado excesivamente el agua en el subsuelo; con frecuencia ocurre en suelos de arcilla endurecida (Storie, 1970).

2.4 PROCESO Y DESARROLLO DE LA EROSIÓN HÍDRICA

La erosión natural es un aspecto normal del desarrollo del paisaje, pero muy dependiente de factores como la geología, tipo de suelo, pendiente, cobertura vegetal, capacidad de infiltración del suelo e intensidad de las lluvias entre otros, lógicamente las actividades que realiza el hombre son parte de este proceso (Kirkby *et al.*, 1984; LUPE, 1994).

La erosión hídrica se inicia por el salpique, es decir por el impacto de la gota de agua en el suelo, más aún si éste se encuentra desprotegido. Según Bronzoni *et al.*, (1996) hace mucho tiempo no se prestaba importancia al primer paso de la erosión hídrica, que es el impacto y salpique de las gotas (Figura 2).

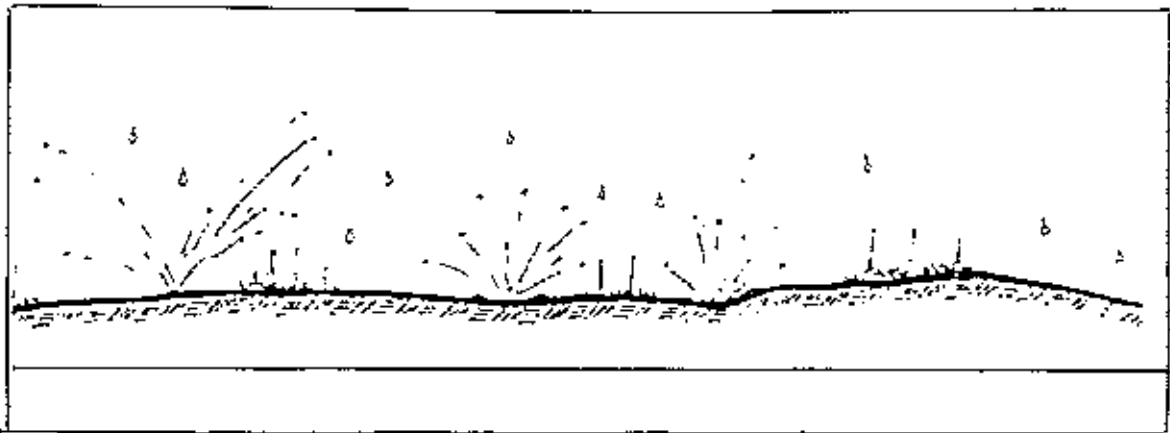


Figura 2. Erosión por salpique

Fuente: Cubero, 1996. Manual de manejo y conservación de suelos y agua. WUNSCHÉ y DENARDIN (1980) citados por Monegat (1991) afirman que "el impacto de las gotas de lluvia es responsable del 95% de la erosión hídrica, de allí la importancia de mantener o mejorar la absorción del agua por la capa superficial del suelo, la cual es mayor que la absorción que depende del tipo de suelo y del desnivel del terreno". Últimamente se ha descubierto que esta es la causa principal de la erosión hídrica.

LUPE (1994) mencionó que el salpique es un factor muy importante, sin embargo hace más énfasis en la erosión de surcos y cárcavas ya que la mayoría de proyectos se han dirigido a solucionar los problemas de erosión, cuando estos ya están ocasionando grandes pérdidas de suelos agrícolas.

Posteriormente al impacto de la gota de lluvia se desarrolla la erosión laminar, la cual se define como la reunión de gotas que causan una leve escorrentía sobre la superficie del suelo, investigadores como Monegat (1991) y Suarez de Castro (1982), dicen que es importante pero que el arrastre de partículas de suelo y materia orgánica es mínimo.

La erosión por surcos y cárcavas son las más cuestionadas por los proyectos de conservación de suelos, ya que éstas son las que arrastran mayor cantidad de partículas del mismo. Este tipo de erosión (por surcos) es el resultado de las dos anteriormente citadas (impacto de gotas y laminar), es decir básicamente son el torrente de agua que se desliza hacia las partes más bajas del terreno arrastrando grandes cantidades de suelo y materia orgánica.

Finalmente la erosión por cárcava es el conjunto de surcos que se unen y forman un solo canal de arrastre de partículas de suelo y materia orgánica, que finalmente llegan a las partes bajas y a las fuentes de agua.

2.5 FACTORES NATURALES QUE INFLUYEN EN LA EROSIÓN HÍDRICA

Entre los factores más importantes que influyen en el proceso de la erosión se mencionan: el clima, la vegetación, la topografía y el tipo de suelo (LUPE, 1994).

El clima: Las características de cada lugar van a determinar las cantidades de precipitación para cada temporada lluviosa, existen lugares donde aparentemente la cantidad de lluvia es igual, sin embargo la intensidad es variable y la adaptación del suelo a esas cantidades de agua es determinante. Los factores de temperatura y viento que inciden en cada lugar afectan la humedad, al existir alguna cobertura se disminuye la entrada de calor al suelo y protege la superficie del arrastre de las partículas (erosión eólica), además el suelo permanece más húmedo y compacto lo que implica una disminución en el desprendimiento de las partículas del suelo (Crovetto, 1996).

- La vegetación: Como se mencionó anteriormente la cobertura viva o muerta siempre ofrece beneficios al suelo en cuanto a protección. Los árboles, arbustos, plantas de

menor tamaño, hojas, residuos de cosecha y materia orgánica crean una zona que amortigua el impacto de las gotas de lluvia en el suelo y promueven una mayor infiltración del agua evitando o disminuyendo la escorrentía superficial.

- La topografía: En la medida que la pendiente aumenta, la velocidad de la escorrentía también aumenta, provocando un mayor arrastre de las partículas de suelo.

Según Cubero (1996), las categorías de pendiente en función del relieve son las siguientes:

1. Plano o casi plano	0	a	3 %
2. Ligeramente ondulado	3	a	8 %
3. Moderadamente ondulado	8	a	15 %
4. Ondulado	15	a	30 %
5. Fuertemente ondulado	30	a	60 %
6. Escarpado	60	a	75 %
7. Fuertemente escarpado	más de 75 %		

Así mismo la presencia de piedras tiene una influencia sobre la utilización del terreno, para su clasificación se dan las siguientes categorías (Cubero, 1996):

1. Sin pedregosidad o rocosidad: Cuando existe menos de 1 m² de piedras por hectárea, se acepta también hasta un 5% del volumen del suelo con grava.
 2. Ligeramente pedregoso: Cuando existe entre 1 y 10 m² de piedras por hectárea, o entre 5 a 10% del volumen del suelo con grava.
 3. Moderadamente pedregoso: El área cubierta de piedras está entre 10 y 300 m² por hectárea o 1,000 a 1,500 m² de grava por hectárea.
 4. Pedregoso: El área ocupada por piedras que varía de 300 a 800 m² por hectárea.
 5. Muy pedregoso: El contenido de piedras es suficiente para impedir el uso de maquinaria agrícola, sólo se permite el uso de herramientas manuales. El área ocupada por piedras es de 800 a 2,000 m² por hectárea.
- Tipo de suelo: Se puede clasificar de acuerdo a la profundidad efectiva, textura, fertilidad y salinidad entre otros. Suelo poco profundos y no muy fértiles generalmente se degradan en menos tiempo.
 - Textura del suelo: Es la proporción existente entre los tamaños de partículas del suelo: arcilla, limo y arena (Figura 3). Esta se determina de acuerdo al triángulo textural del USDA. Suelo Francos y Arenosos se degradan más fácilmente ya que ocurre una mayor lixiviación de los nutrientes.
 - Contenido de materia orgánica: Es la cantidad de rastrojo, hojas y raíces, que están en diferente estado de descomposición. En general se puede decir que suelos con bastante humus y materia orgánica altamente descompuesta se encuentran en los bosques donde la erosión es muy baja. Sin embargo al eliminar la cobertura vegetal de estos, la materia orgánica puede ser fácilmente llevada por la escorrentía.

Según Monegat (1991), los planes conservacionistas no deben interferir en la productividad de los cultivos, ni las labores culturales que estos demandan.

Se deben atender aspectos tales como :

- 1) Distribución de las actividades agronómicas o silvopastoriles de manera que éstas contribuyan a mejorar los rendimientos de los cultivos, considerando siempre los intereses del agricultor.
- 2) Disminuir al máximo el escurrimiento superficial, conduciéndose éste a canales naturales o artificiales seguros.
- 3) Aumento de la eficiencia en la mano de obra en las labores de cultivo.

2.6.1 Aumento de la erosión según el uso del suelo

La deforestación para el establecimiento de cultivos o el cambio en el uso del suelo puede traer consecuencias erosivas. Cada tipo de cobertura influye significativamente en la cantidad de suelo que se puede perder. Se han hecho comparaciones de la erosión causada bajo condiciones de bosque natural y bajo diferentes cultivos agronómicos y hortícolas los cuales han demostrado la efectividad de la cobertura boscosa para controlar la erosión, asimismo se ha demostrado como los diferentes cultivos afectan la erosión:

<u>Tipo de cobertura</u>	<u>Aumento de Erosión</u>
Bosque	1
Pasto mejorado o de corte	16
Vegetación natural baja	24
Cacao	80
Banano	124
Café con sombra	140
Café sin sombra	220
Caña de azúcar	553
Tomate o chile dulce	1004
Maíz	1060
Papa-zanahoria	1170
Papa-cebolla	1370

Como se puede observar los suelos con cobertura de bosque natural, pasto y cultivos perennes son menos susceptibles a la erosión que los suelos con cultivos anuales, ya que ofrecen poca protección y el laboreo del suelo es continuo anualmente (Cubero,1996) (Figura 4).

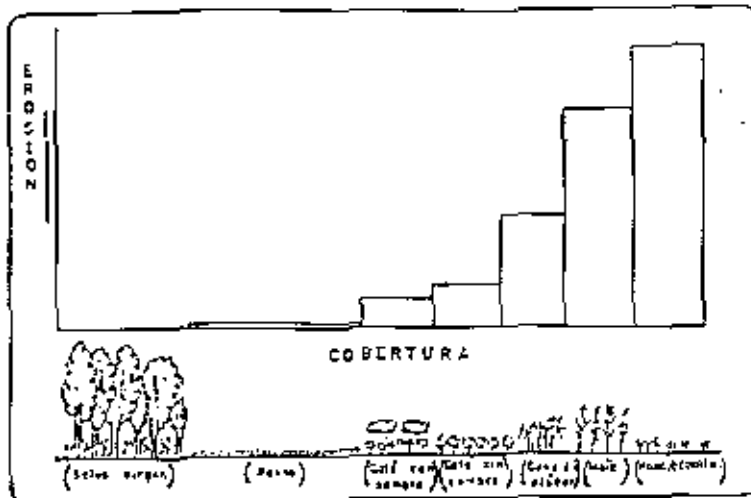


Figura 4. Aumento de la erosión en función de la cobertura bajo condiciones análogas de capacidad de uso de la tierra.

Fuente: Cubero, 1996. Manual de manejo y conservación de suelos y aguas.

2.7 MANEJO DE COBERTURA VIVA

Existe una gran diversidad de especies que son establecidas como cultivos de cobertura para la protección de los suelos. Un grupo importante son las leguminosas de crecimiento rápido como el frijol Dólicos y Canavalia. Para una mejor protección de los suelos se recomiendan altas densidades de estas especies y además el asocio con otros cultivos porque proveen una protección de la capa superficial del suelo.

Sabemos que la cobertura vegetal del suelo es la defensa natural y más eficiente contra la erosión, existiendo varios resultados de investigaciones que comprueban este efecto (Monegat, 1991).

Entre los beneficios que ésta provee a al suelo se mencionan:

- 1) Protección directa contra el impacto de las gotas de lluvia.
- 2) Descomposición de raíces; las cuales forman macroporos que aumentan considerablemente la infiltración.
- 3) Disposición de materia orgánica la cual mejora la estructura del suelo, la tasa de infiltración y la retención de agua.
- 4) Reducción de la velocidad de escurrimiento del agua, evitando o disminuyendo el arrastre de las partículas de suelo.

2.8 MANEJO DE RASTROJOS

Todas las prácticas de manejo de coberturas tanto vivas como muertas, deben estar orientadas a largo plazo, es decir incluirlas dentro de la rotación de cultivos. Los residuos de cosecha dejados en el campo pueden ofrecer muchas ventajas en cuanto a protección del suelo. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la incidencia de plagas y enfermedades pueden aumentar debido a que el rastrojo se puede convertir en un hospedero, por lo tanto muchas veces se recomienda la incorporación de los mismos¹.

El manejo de rastrojos es una buena práctica para la protección del suelo ya que evita el impacto directo de las gotas de lluvia, reduce la velocidad de la escorrentía y a mediano plazo aporta materia orgánica al suelo con los efectos positivos que ya mencionamos. Para que la cobertura de rastrojos tenga un efecto positivo se recomienda el uso de 2 a 5 toneladas de material seco por hectárea y más del doble si el material es fresco. Este debe ser picado en trozos para una rápida descomposición y que no se convierta en hospedero para las plagas y una rápida descomposición (Cubero, 1996).

Estudios realizados reportan que en pendientes menores a 20 % los rastrojos son muy eficientes en controlar la erosión hídrica y eólica; para pendientes mayores se recomienda una combinación con obras de conservación de suelos.

Los rastrojos o residuos de cosecha se pueden manejar como mulch o incorporados al suelo. Se recomienda que en lugares con pendientes pronunciadas, los rastrojos se dejen en la superficie, lo cual además de proteger, controla parcialmente las malezas, aumenta el contenido de la materia orgánica, regula la temperatura del suelo, favorece grandemente la actividad biológica y mejora las propiedades físicas y químicas del mismo (AFE-COHDEFOR, s.f.).

2.9 PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN Y MANEJO DEL SUELO

Estas labores de conservación se pueden clasificar como agronómicas y mecánicas. Dentro de las agronómicas están las prácticas culturales de preparación de suelo y sistemas de siembra y manejo del cultivo. Como prácticas mecánicas se pueden citar barreras vivas, barreras muertas, zanjas de drenaje y los cultivos en terrazas.

Una buena preparación del suelo produce beneficios al cultivo, suelo y al manejo del agua. Pero en suelos con mucha pendiente esta práctica debe ser más cuidadosa ya que se podría exponer al suelo a la acción erosiva del agua.

2.9.1 Manejo de barreras vivas

Las barreras vivas son hileras de plantas perennes sembradas en altas densidades y orientadas perpendiculares a la pendiente. En Centroamérica se están utilizando diferentes materiales tales como : La Flor de Isote (*Yuca elephantipes*), el Sansiveria

(*Sansevieria trifasciata*), el Vetiver o Valeriana (*Vetiveria zizanioides*), y el Andropogon (*Andropogon citratus*) entre otros, estas especies han dado buenos resultados en los controles de erosión, impidiendo que el flujo de agua adquiera velocidad erosiva y cortando el largo de la pendiente (Cubero, 1996).

Las barreras vivas permiten la sedimentación del limo y otras partículas de suelo que fluyen en la escorrentía, así como también detienen la degradación del suelo a niveles tolerables, especialmente en producción en laderas (Jirón, 1997).

2.9.2 Manejo de barreras muertas

Consiste en construir muros perpendicular a la pendiente que interrumpan la escorrentía, estos se pueden construir con materiales locales y disponibles en el terreno. Se puede utilizar piedras, material vegetativo muerto, sacos de arena, e inclusive se reporta que en Costa Rica y Honduras se utilizan residuos de cosecha apilados perpendiculares a la pendiente (LUPE, 1993).

Sin embargo, se debe tener bien claro que ninguna práctica por si sola controla los procesos erosivos rápidamente, siendo necesario la combinación de varias prácticas para tener éxito. Se pueden combinar inclusive con sistemas de labranzas conservacionistas, dejando coberturas vivas o muertas en las parcelas de cultivo.

2.10 FACTORES SOCIALES Y POLÍTICOS QUE INFLUYEN EN LA EROSIÓN DE SUELOS

El problema de erosión de los suelos se debe considerar en un contexto amplio, no solo técnicamente como un problema de los agricultores, sino también como un problema que puede tener orígenes políticos, sociales y económicos.

El aumento en la densidad poblacional, la presión sobre el uso de la tierra, la destrucción de los bosques para el establecimiento de parcelas agrícolas, y las políticas de incentivo a la agricultura son factores que están causando una ampliación de la frontera agrícola. Estas tierras se degradan rápidamente por el sobre-uso y las inadecuadas prácticas culturales y de conservación de suelos.

En muchos de los países en vías de desarrollo la distribución de las tierras es desigual. Las grandes explotaciones agrícolas pertenecen a grupos de empresarios y grandes agricultores que ocupan las mejores tierras, muchas de ellas subutilizadas con ganadería extensiva.

La agricultura en pequeña escala se caracteriza por laboreos intensivos del suelo, donde predominan cultivos limpios, con la finalidad de autoconsumo y de obtener ingresos a corto plazo, existiendo allí el mayor problema de riesgos de erosión del suelo (Cubero, 1996).

El aspecto cultural y social que los agricultores han heredado de sus antecesores como ser sistemas de producción, cultivos, dieta y otros, son factores que han contribuido a la degradación de los suelos. La poca adopción de nuevas prácticas de manejo tiene varias causas entre estas; la educación, inaccesibilidad a las tecnologías, acceso al crédito y la tenencia de la tierra.

2.9 MEDICIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA, SUS IMPACTOS ECONÓMICOS Y AMBIENTALES

Muchos especialistas en conservación de suelos han tratado de calcular cuánto se pierde de suelo por causa de la erosión hídrica. Sin embargo, cada sitio tiene características diferentes en cuanto a clima, suelo y topografía, por tanto se hace difícil elaborar una recomendación general para cualquier tipo de suelo y finca (Kirkby *et al.*, 1984).

A partir de los grandes problemas de erosión ocurridos en los grandes valles del medio oeste de los Estados Unidos en los años 30's, se inicia una serie de trabajos de investigación sobre el proceso de la erosión hídrica y cólica. Es así que a la fecha se han creado muchas ecuaciones para calcular la pérdida de suelo y tomando en cuenta variables interrelacionadas (suelo, clima y lugar).

A través de investigaciones en Estados Unidos se creó una ecuación que relacionaba la longitud y el grado de la pendiente en parcelas de campo y simulando precipitaciones pluviales. Esta investigación demostró que al duplicar el grado de la pendiente las pérdidas de suelo aumentan en más del 250%, lo que nos indica la importancia de utilizar prácticas agronómicas que reduzcan la longitud y el grado de las pendientes (Zingg, 1940 citado por Kirkby *et al.*, 1984).

Seguidamente Laws, otro investigador americano hizo publicaciones sobre los efectos de la precipitación natural y la acción de las gotas de lluvia sobre el suelo, de allí en adelante fue que comenzaron a crear ecuaciones empíricas que explicaran la erosión hídrica de los suelos (Kirkby *et al.*, 1984).

2.10 PREDICCIÓN DE LA CANTIDAD DE EROSIÓN HÍDRICA DE SUELO

La formulación de curvas de predicción ha cambiado notablemente debido a los avances investigativos. En la actualidad la más usada es la llamada Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS), su sigla en inglés es USLE (Universal Soil Loss Equation).

Esta ecuación se llamó universal porque las variables se pueden adaptar a diferentes tipos de clima y geografía que los otros modelos antiguos consideraban como parte de la ecuación. Es decir aquellas ecuaciones sólo explicaban modelos específicos para cada sitio o región (Kirkby *et al.*, 1984).

Es importante aclarar que no siempre la erosión es de origen antropogénico, sino que también existe erosión natural como parte de la evolución de sistemas naturales. Es por esto que es muy importante la cuantificación de la pérdida de suelo causada por la intervención del hombre en los ecosistemas, así como la identificación de los factores que la están originando (Crovetto, 1996).

2.13 IMPACTOS DE LA EROSIÓN DE SUELOS

Con la pérdida de suelo debido a la erosión se pierden nutrimentos los cuales son parte de los sedimentos que arrastra la escorrentía, se disminuye el área de enraizamiento, se afecta el área de cultivos por la deposición de sedimentos, piedras y materiales arrastrados por las corrientes.

Otro impacto importante es la disminución de la calidad del agua debido a la contaminación de las fuentes por sedimentos que provienen de áreas de cultivo o de zonas que son deforestadas en las partes altas de las cuencas. La agricultura en áreas de ladera es considerada fuente no puntual de contaminación, por lo que su control sólo se puede lograr con mejores prácticas de cultivo.

2.13.1 Pérdida de nutrimentos

Las prácticas tradicionales de roza y quema, afectan los niveles de Nitrógeno y Fósforo total principalmente, por el efecto del fuego y posteriormente por la escorrentía, estas pérdidas pueden disminuirse eliminando estas prácticas o utilizando medidas de protección y control de la erosión, ya sea con cultivos de cobertura o con barreras vivas de Vetiver (Smith, 1997).

En Centro América las barreras vivas se han vuelto bastante comunes dentro de las prácticas de los agricultores de ladera ya que los resultados de los programas de cuidado al suelo han sido alentadores. Sin embargo esta actividad implica un gasto en mano de obra y mantenimiento, sin que se puedan ver ingresos, lo cual hace difícil explicar al pequeño agricultor.

El uso de coberturas muertas es una buena opción para los agricultores de ladera ya que las pérdidas de nutrimentos por lixiviación y escorrentía disminuyen, debido a la protección que estos ofrecen. El incorporarlos es una práctica que muchas veces no es usada ya que se desea aprovechar la materia verde de los cultivos.

Esto no quiere decir que el uso de plantas de cobertura incorporadas o utilizadas como "mulch" sustituirán la fertilización química pero si generan un ahorro en costos al obtener un reciclaje de nutrientes que las plantas extraen del suelo para luego dejarlo en la superficie, reduciendo además la pérdida de minerales (Monegat, 1991).

Smith (1997) también encontró un ahorro considerable del agricultor al utilizar barreras o mulch como protección ya que a partir del tercer año de efectuar estas prácticas los suelos se mejoraron, se obtuvieron mayores rendimientos, y se disminuyeron los costos de fertilización.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en el centro-sur del valle de Moroceli, en el Departamento de El Paraíso, en la finca "Rapaco", propiedad de la Escuela Agrícola Panamericana "Zamorano", 30 km al sur este de Tegucigalpa. Rapaco está a una altura promedio de 700 msnm, con una precipitación promedio anual de 705 mm distribuidos entre los meses de junio a octubre y una temperatura promedio anual de 30°C.

Según información cartográfica, los suelos de la finca Rapaco, en el valle de Moroceli se clasifican de dos tipos: Aluvión Cuaternario (Qal y Qaf) y principales secuencia ignimbritas (Tpm) (Anexo 1).

- Aluvión Cuaternario Qal: Son depósitos aluviales recientes, suelos y sedimentos de planicie de inundación de río. Estos sedimentos consisten en arena, grava y guijarros de fragmentos de lutita, arenisca, tobas y otros materiales volcánicos.
- Aluvión Cuaternario Qaf: Depósitos de pie de monte: Conos y abanicos aluviales; talús (clásticos derivados de capas rojas del grupo de Valle de Angeles).
- Principales ignimbritas Tpm: Tobas e ignimbritas riolíticas de color blanco, rojo, púrpura y sedimentos tobáceos depositados en agua. Las principales secuencias de tobas ignimbritas del Grupo Padre Miguel se encuentran en todas partes del cuadrángulo. Las rocas de esta unidad consisten en tobas riolíticas y andesíticas de colores blancos, rojos, rosados y verde con cristales de cuarzo, feldespato, sanidina, biotita y líticos de pómez y clastos del grupo de Valle de Angeles y Formación Matagalpa.

El estudio se llevó a cabo en suelos del tipo Qal, sembrados con cultivo de caña de azúcar de 5 meses de edad. El área de estudio está ubicada a 2 km del río Choluteca, específicamente entre las quebradas de Jimacuara y Quebrada Grande (Anexo 2).

Según Holdrige, la zona de vida se clasifica como un bosque semi seco tropical, de topografía ondulada con pendientes de hasta 30%. La mayoría de las áreas cultivadas son relativamente nuevas, con no más de 10 años edad.

3.1.1 Uso de la tierra en la finca Rapaco EAP.¹

Según mediciones realizadas en el año 1996, la finca Rapaco tenía una distribución del uso de la tierra con predominio de bosque, seguido de potreros y guamiles y áreas de cultivo.

A partir de 1998 la mayoría de las áreas de potrero cambiaron a un uso agrícola para siembra de caña. Para principios de 1999 las áreas de caña alcanzaron (1,345.32 mz). En la actualidad el cultivo de caña de azúcar ocupa el primer lugar seguido de las áreas boscosas (Cuadro1).

Cuadro1. Distribución del área de Rapaco de acuerdo a los usos de la tierra.

Uso del suelo	Área en mz.	OBSERVACIONES
De potreros a caña	1,217.5	
Tierra preparada	100	Primera siembra
Caña vieja	137 aprox.	Con riego por gravedad
Ampliación caña	27.82	Con riego por goteo
Calles	38.53	Solo calles hechas con maquinaria.
Potreros	180	
Bosque	1,021	Bosque Secundario.

Según las escrituras el área total de Rapaco es de 1,781.82 ha (2,555.50 mz) y según levantamiento con GPS es de 1,702.4 ha (2,441.74 mz) (Anexo 3).

3.2 EL ENSAYO

El estudio se realizó durante la época de postrera de 1998 (julio a octubre), se instalaron cuatro parcelas de muestreo de 50 m² (25 m x 2 m): En 11% de pendiente con maleza (CM11), 18% de pendiente con maleza (CM18), 11% sin malezas (SM11) y 18% sin malezas (SM18) (Figura 5).

Las parcelas se localizaron en el lote 2 de la finca Rapaco, en un terreno cultivado con caña de azúcar (*Saccharum officinalis*) de 5 meses de edad. Se instalaron 4 parcelas, Las parcelas se situaron entre los surcos de caña que estaban sembrados a una separación de 2m entre hileras, y orientados a favor de la pendiente, estos presentaban inicio de erosión por surcos.

El largo de las parcelas es debido a que la pendiente tenía 50m aproximadamente, el ancho está dado por la separación que existe entre las hileras de caña.

¹Pérez, G. 1998. Información de la Finca Rapaco. Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica, El Zamorano. Departamento de Francisco Morazán, Honduras. (Comunicación escrita).

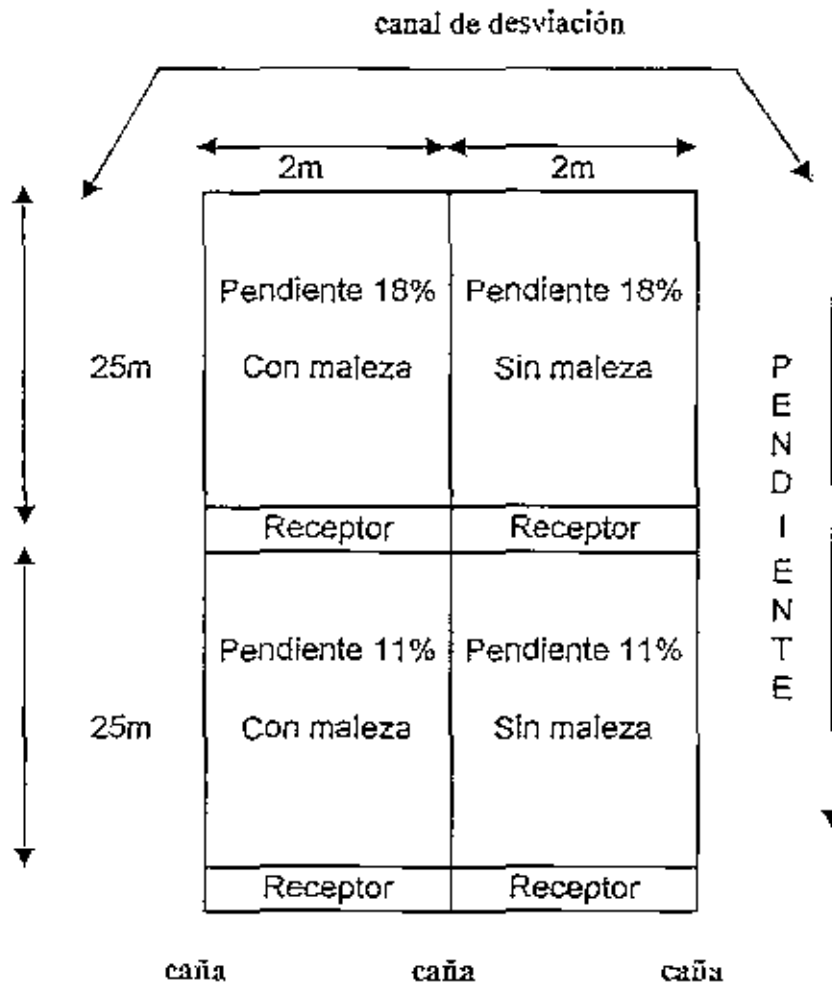


Figura 5. Esquema de las parcelas de muestreo

3.2.1 Materiales utilizados

Cada parcela tenía un recolector de sedimentos con capacidad de 90 litros en la parte más baja del surco. Los colectores se construyeron de tambos metálicos de 200 litros cortados por la mitad; los cuales se colocaron en la parte baja de cada parcela. Para evitar que el agua con los sedimentos se perdiera, dispersara o escurriera por las paredes del colector, se construyó un muro de cemento de 10cm de alto en forma de "V", con un canal en el centro del muro, que consistía en una tubería de pvc de 8" cortada por mitad, a manera de conducir la escorrentía al colector (Figura 6).



Figura 6. Colectores de cada parcela.

Los tratamientos se escogieron tomando en cuenta las condiciones que prevalecían en el terreno: pendiente, cultivo y cobertura de malezas.

3.2.2 Variables medidas

Las variables que se midieron fueron:

1. Precipitación.
2. Pendientes en las que se encuentran las unidades muestrales.
3. Tipo de suelo en las parcelas (0-30cm de profundidad)
4. Volumen de agua en cada unidad muestral (escorrentía).
5. Peso seco de los sedimentos acumulados en cada una de las unidades de muestreo.
6. Cantidad de sedimentos en el agua de escorrentía.
7. Nutrimientos perdidos en los sedimentos.
8. Cobertura de malezas por metro cuadrado.

3.2.2.1 Precipitación. Se colocó un pluviómetro a una altura de 1.5 metros según las recomendaciones de la hoja que acompaña al instrumento. Éste se situó dentro del área de estudio, se tomaron los datos después de cada lluvia (Figura 7).



Figura 7. Pluviómetro en medio del área de estudio.

Antes de ubicar el pluviómetro se realizó una limpieza cortando la caña, con 2 metros de radio alrededor del pluviómetro para evitar variación a lo largo del estudio, debido a que a las hojas de la caña podrían vaciar agua dentro del mismo y esto nos alteraría los datos de precipitación del lugar de estudio.

3.2.2.2 Medición de las pendientes. Se utilizó un clinómetro manual marca Suunto modelo: PM-5/360 PC para medir pendientes. Se hicieron varias mediciones a lo largo de la parcela. Cada 10 metros se tomó una medida, estas se repitieron 3 veces para luego sumar y promediar los datos. Como se observa en la siguiente fórmula:

$$\text{Pendiente promedio} = (p1+p2+p3)/3$$

Los valores de "p" dados en porcentaje.

3.2.2.3 Tipo de suelo. Al inicio y al final del experimento se recolectaron al azar 4 submuestras de suelo (una en cada parcela) a 30 cm de profundidad, utilizando un tubo Hoffer. Las submuestras se homogenizaron y de allí se tomó una muestra que fue analizada en el Laboratorio de Suelos del Departamento de Agronomía de Zamorano, con

el fin de poder comparar las pérdidas de nutrimentos con la cantidad de suelo perdido. Se realizó un análisis completo de textura, pH, N, P, K, Ca y Mg (Anexo 4).

3.2.2.4 Volumen de agua de cada unidad muestral. La cantidad de agua de escorrentía se midió diariamente utilizando una jarra graduada de 2000 ml. Debido a que las parcelas eran grandes y los colectores sólo tenían la capacidad para 90 litros, en algunas ocasiones estos rebalsaron debido a las altas precipitaciones, lo cual dificultó la toma de datos.

3.2.2.5 Medición de los sedimentos². La escorrentía colectada de cada parcela se llevó al laboratorio de análisis de aguas del Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica, para proceder a calcular las partículas de suelo en suspensión. Del volumen total se tomó una muestra de 50 ml en una probeta, se filtró con un papel filtro Whatman número 50 y se dejó en reposo por un periodo de 4 horas.

Primero se pesó el papel filtro limpio y luego el papel filtro más los sedimentos retenidos después de la filtración, con la diferencia de ambas mediciones se obtuvo el peso de los sedimentos retenidos en el papel filtro y esta cifra se extrapolaba a toda la escorrentía colectada en cada parcela.

El material retenido en el papel filtro se puso a secar al horno por 24h a 110°C, luego se pesó en una balanza electrónica de precisión marca Bosch con capacidad de 610g.

Los sedimentos se colectaron después de cada lluvia, estos se llevaron al laboratorio de aguas del Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica, se analizaron como se describe a continuación:

1. Peso de los sedimentos húmedos con una balanza de resorte marca Pesola de 5kg de capacidad.
2. Secado al sol de los sedimentos húmedos por un periodo de 4 horas, posteriormente se volvían a pesar.
3. Secado en un horno marca WTC binder, por un tiempo de 24 horas a una temperatura de 110°C.

Se sumó el peso de los sedimentos secos procedentes de la decantación más los que se encontraban en suspensión y disueltos en el agua, obteniendo un peso total final.

3.2.2.6 Análisis de los sedimentos. También se analizaron dos muestras de sedimentos a mediados del experimento, una muestra era de la parcela con cobertura de malezas y la otra de la parcela sin cobertura, se hizo un análisis completo, con el fin de comparar el tamaño de las partículas y los nutrimentos que éstas contenían.

² FLORES, H. 1998. Secado de muestras de suelo. Laboratorio de Suelos. El Zamorano, Departamento de Francisco Morazán, Honduras. (Comunicación personal).

Todas las muestras tanto de suelos como de sedimentos se llevaron al Laboratorio de Suelos de Zamorano, donde se determinó:

1. Tipo de suelo en los sedimentos.
2. Cantidades de Nutrimientos (N, P, K, Ca y Mg).

Los datos se utilizaron para hacer extrapolaciones de pérdidas de nutrimentos por ha/año pero sólo en postrera, ya que la tesis solamente comprende este periodo de lluvias.

3.2.2.7 Medición de la cobertura de maleza. Para conocer la influencia de las malezas en el proceso de erosión se hicieron mediciones del porcentaje de cobertura que ejercían sobre el suelo. Para ello se tomó datos de sombra de las malezas que producían en un metro cuadrado, las diferentes densidades de estas tienen una influencia sobre la protección del suelo durante las precipitaciones³.

La toma de datos se hizo cada 3 semanas, aproximadamente, dependiendo de las precipitaciones, no se realizaron mediciones todas las visitas debido a que el crecimiento de uno o dos días no se pudo cuantificar fácilmente, una vez que las malezas cubrieron el 100% del suelo se dejaron de medir, ya que los valores se repetirían.

Dado a que las malezas tienen diferentes grados de protección del suelo según su cobertura, fue necesario hacer un muestreo para identificar las especies que se presentaron en las parcelas.

El muestreo para la identificación de las especies se realizó en 10 sitios, dentro de las parcelas de medición de la erosión, cada sitio fue de 1m² (Figura 8).

³ CHALUKIAN, S. 1998. Utilización de los recursos naturales. Departamento de Recursos Naturales y Conservación Biológica. El Zamorano, Departamento de Francisco Morazán, Honduras. (Comunicación escrita).

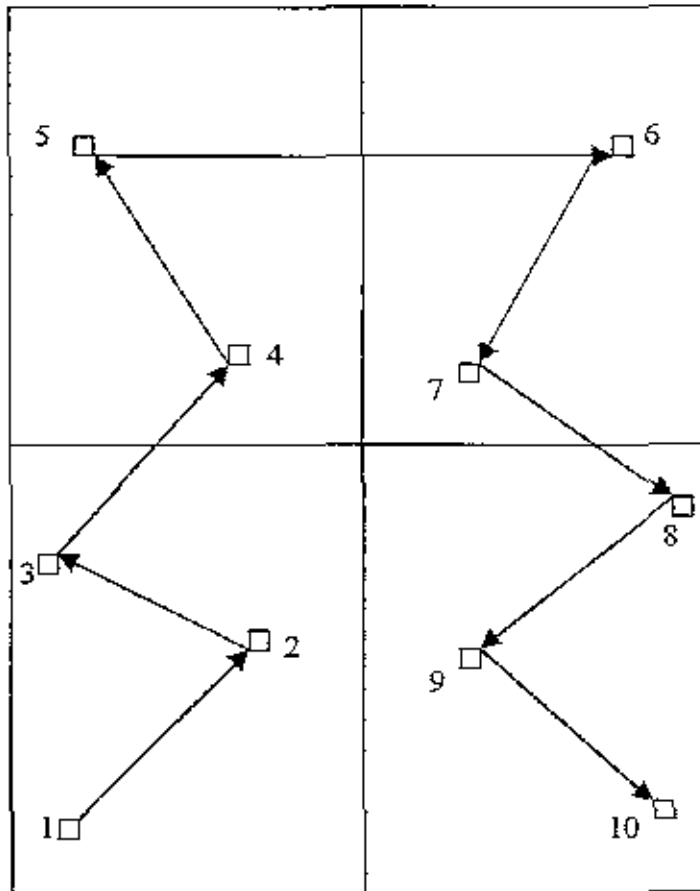


Figura 8. Muestreo sistemático de malezas

⁴Con ayuda de personal capacitado del DRNCB, se hizo la identificación de las malezas dentro de las parcelas en el cultivo de café. Las malezas que no se pudieron identificar en el campo se llevaron al Herbario de Zamorano para su identificación (Anexo 6).

3.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.3.1 Análisis Comparativo

Se realizaron comparaciones de las pérdidas de suelo entre los tratamientos, representados por las diferentes pendientes y coberturas. Seguidamente se hizo un análisis individual considerando separadamente la pendiente y la cobertura de las malezas.

⁴MOLINA, A., ARAQUE, J. 1998. Identificación de malezas. Herbario Paul, C. Standley. El Zamorano, Departamento de Francisco Morazán, Honduras. (Comunicación personal).

3.3.2 Análisis Estadístico

Se realizaron regresiones con los datos de precipitación y acumulación de sedimentos, cantidad de malezas y tipos de pendiente; que explican el comportamiento de la erosión hídrica en el cultivo de caña de azúcar en la finca de Rapaco.

Para el análisis de los datos se utilizó el programa "Statistical Analysis System" (SAS versión 6.1).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 LA PRECIPITACIÓN

En el Valle de Moroceli el periodo lluvioso de postrera se inicia a mediados de agosto, siendo tradicionalmente el mes de septiembre el más lluvioso. Sin embargo, en el año 1998 el mes octubre fue el más lluvioso finalizando con la Tormenta Tropical Mitch que azotó al país (Figura 9).

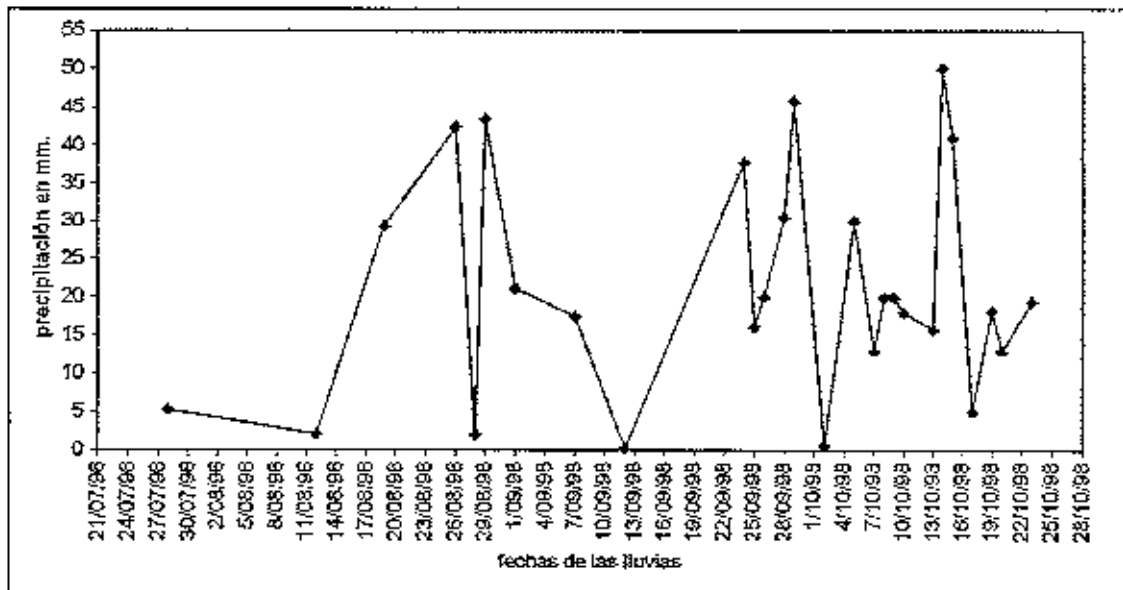


Figura 9. Precipitaciones de postrera 1998 en Rapaco.

La cuantificación de la erosión hídrica en postrera se inició realmente desde el 24 de agosto de 1998 cuando ya se habían acumulado casi 45mm de lluvia hasta el 5 de noviembre. En el periodo comprendido entre el 29 de octubre hasta el 5 de noviembre las precipitaciones se incrementaron debido al efecto de la Tormenta Tropical Mitch. Las mediciones no se pudieron medir debido a que el pluviómetro sólo tenía capacidad de 300 mm y no se pudo tener acceso al lugar.

En la figura 10 se muestran las precipitaciones acumuladas por mes, donde se observa que la precipitación fue ascendente a medida que pasaron los meses de postrera.

De julio a agosto hubo un incremento de más de 100mm (23 veces más), de agosto a septiembre se aumentó 70mm (60% más) y de septiembre a octubre las lluvias aumentaron en un 64%, es decir en todos los meses los incrementos fueron mayores al 60%.

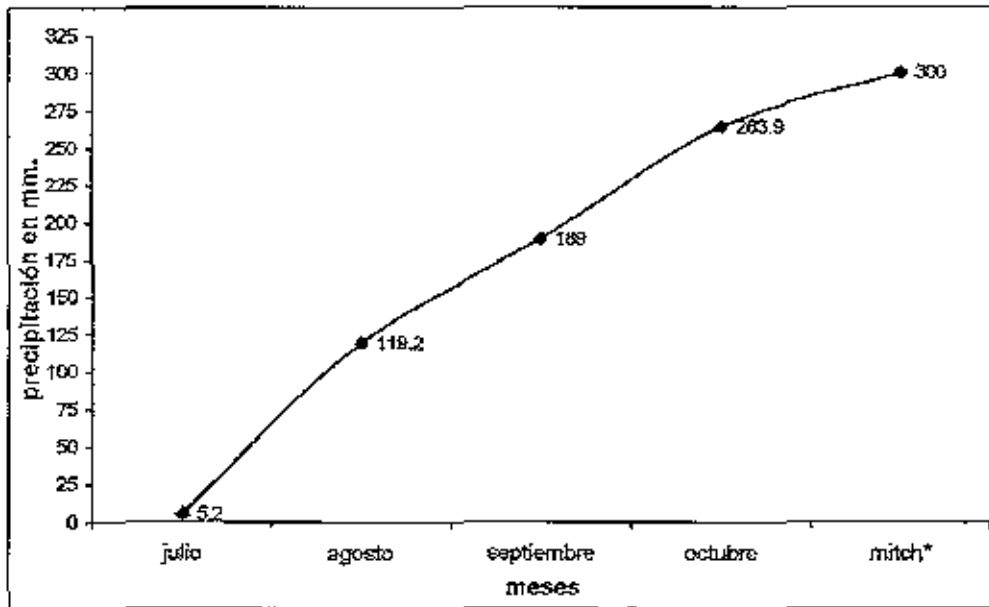


Figura 10. Precipitaciones mensuales de postrera, finca Rapaco.

4.2 LA PENDIENTE Y SUS EFECTOS

Como es de esperarse las parcelas con pendientes mayores fueron las que tuvieron mayores pérdidas de suelo.

Los datos del cuadro 2 muestran claramente que las mayores pérdidas se dieron en la pendiente de 18%, aunque las diferencias disminuyeron a partir del 25/09/98 debido a que las intensidades de las lluvias fueron menores y el crecimiento de las malezas comenzó a ejercer influencia sobre la erosión.

Cuadro 2. Pérdida de suelo por parcela considerando sólo la pendiente.

Fecha	Precipitación mm.	Pérdida de suelo (Kg)	
		11%	18%
28/07/98	5.2	0	0
12/08/98	2	0	0
18/08/98	29.4	5	11
26/08/98	42.4	5.5	10.2
28/08/98	2	0	0
29/08/98	43.4	6.5	19
1/09/98	21.2	4	3.5
7/09/98	17.5	1.25	2.3
12/09/98	0.2	0	0
24/09/98	37.7	5.3	13.7
25/09/98	16.2	0.9	1.1
26/09/98	20	1.5	1.5
28/09/98	30.6	1.6	1.6
29/09/98	45.7	4.1	6.8
2/10/98	0.5	0	0
5/10/98	30	3.05	2.55
7/10/98	13	0	0
8/10/98	20	0	0
9/10/98	20	0	0
10/10/98	18	0	0
13/10/98	15.8	0	0
14/10/98	50	2.15	3.25
15/10/98	41	2.1	2.1
17/10/98	5	0	0
19/10/98	18.2	0	0
20/10/98	13	0	0
23/10/98	19.4	0.8	0.7
5/11/98	300	91.2	103
totales	877.3	134.95	182.3

Las mayores pérdidas de suelo se dieron en el mes de agosto, aunque no fue el mes más lluvioso, sin embargo debido a que el cultivo aún no había cubierto el suelo, este se mantuvo expuesto al impacto de las gotas de lluvia. Contrariamente a octubre que aunque hubo mayor precipitación las pérdidas fueron menores, producto de la cobertura ejercida por el cultivo y las malezas.

Esta disminución también pudo haber sido atribuida a que la mayor parte del suelo superficial ya había sido erosionado (Figura 11).

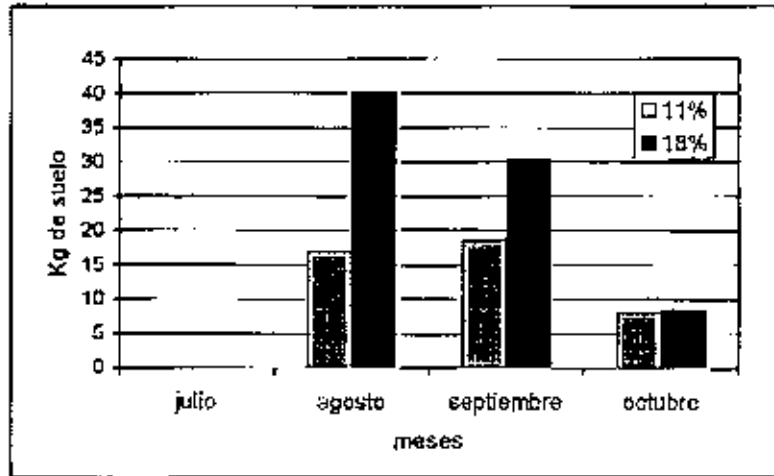


Figura 11. Erosión por parcela considerando sólo la pendiente

4.3 EFECTO DE LA EROSIÓN EN EL SUELO

En el cuadro 3 se observan los cambios en los porcentajes de arena, limo y arcilla, donde se puede ver que hubo un aumento en la proporción de arena y disminuciones del limo y la arcilla. Esto pudo deberse a que estas partículas son más livianas y por lo tanto fueron más fácilmente arrastradas por la escorrentía. Aunque el efecto anterior no influyó en el cambio de la clasificación textural del suelo, ya que ambas muestras se mantuvieron con textura Franco Arenosa.

Cuadro 3. Porcentajes de partículas en las muestras de suelo

Toma de muestras	% Arena	% Limo	% Arcilla
Al inicio	58	30	12
Al final	78	14	8

La figura 12 muestra más claramente que las partículas más livianas (limo y arcilla) redujeron su porcentaje, sin embargo el de arena aumentó considerablemente.

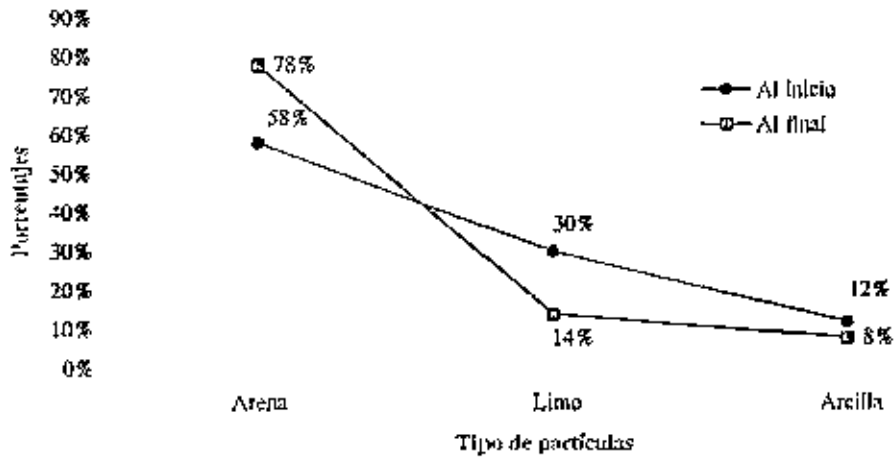


Figura 12. Cambios en la composición del suelo en las parcelas muestreadas.

Según Kirkby *et al.* (1984), el aumento de la arena es un claro indicador de la fragilidad del suelo, es decir suelos arenosos tienen mayor riesgo de lixiviación de nutrimentos y materia orgánica.

4.4 PESO SECO DE LOS SEDIMENTOS DE CADA PARCELA

Como era de esperarse la parcela sin malezas y con 18% de pendiente (SM18) fue la que tuvo mayor pérdida de suelo (125kg) y la parcela con malezas y con 11% de pendiente fue la que perdió menos (53.2kg).

El cuadro 4 muestra que la parcela SM18 perdió el doble de suelo que la parcela CM18 mostrando la influencia que ejerció la cobertura de malezas sobre la erosión del suelo. Así mismo se demuestra que la parcela SM11 perdió un 35% más de suelo que la parcela CM11, observándose el efecto interactivo de la maleza y de la menor pendiente.

Cuadro 4. Pérdidas de suelo en las parcelas experimentales

No. de muestreos	Fecha	Precipitación (mm)	Kilogramos de suelo			
			SM11	SM18	CM11	CM18
1	28/07/98	5.2	0	0	0	0
2	22/08/98	2	0	0	0	0
3	24/08/98	29.4	2.1	8	2.9	5
4	26/08/98	42.4	3	7.2	2.2	3
5	28/08/98	2	0	0	0	4.5
6	29/08/98	43.4	2	14.5	4.5	4.5
7	1/09/98	21.2	1.5	1.5	2.5	2
8	7/09/98	17.5	1.1	1.15	1.15	1.15
9	12/09/98	0.2	0	0	0	0
10	24/09/98	37.7	2.4	10.8	2.9	2.9
11	25/09/98	16.2	0.7	0.9	0.2	0.2
12	26/09/98	20	0.8	1	0.6	0.5
13	28/09/98	30.5	1.1	1	0.5	0.6
14	29/09/98	45.7	3	4.7	1.1	2.1
15	2/10/98	0.5	0	0	0	0
16	5/10/98	30	1.75	1.25	1.3	1.3
17	7/10/98	13	0	0	0	0
18	8/10/98	20	0	0	0	0
19	9/10/98	20	0	0	0	0
20	10/10/98	18	0	0	0	0
21	13/10/98	15.8	0	0	0	0
22	14/10/98	50	1	2	1.15	1.25
23	15/10/98	41	1.2	1.3	0.9	0.9
24	17/10/98	5	0	0	0	0
25	19/10/98	18.2	0	0	0	0
26	20/10/98	13	0	0	0	0
27	23/10/98	19.4	0.8	0.7	0	0
28*	5/11/98	300	60	71	31.2	32
Totales		877.3mm	82.55kg	125kg	53.1kg	61.9kg
Porcentaje			66%	100%	42%	49.5%

La figura 13, que se presenta a continuación muestra una agrupación mensual de las pérdidas de suelo de cada parcela, en ella podemos observar las comparaciones de cada una de las parcelas. Así mismo podemos decir que octubre tuvo las menores pérdidas en todas las parcelas y además estas fueron bastante uniformes a pesar de que las precipitaciones fueron mayores. En agosto, las diferencias entre los tratamientos fueron más visibles, presentando el SM18 mayores pérdidas. Si comparamos el comportamiento de la erosión en todos los tratamientos y en los diferentes meses podemos observar que hubo una tendencia a uniformizarse y reducirse las diferencias entre ellos, a medida que el crecimiento del cultivo y las malezas ejercían su influencia.

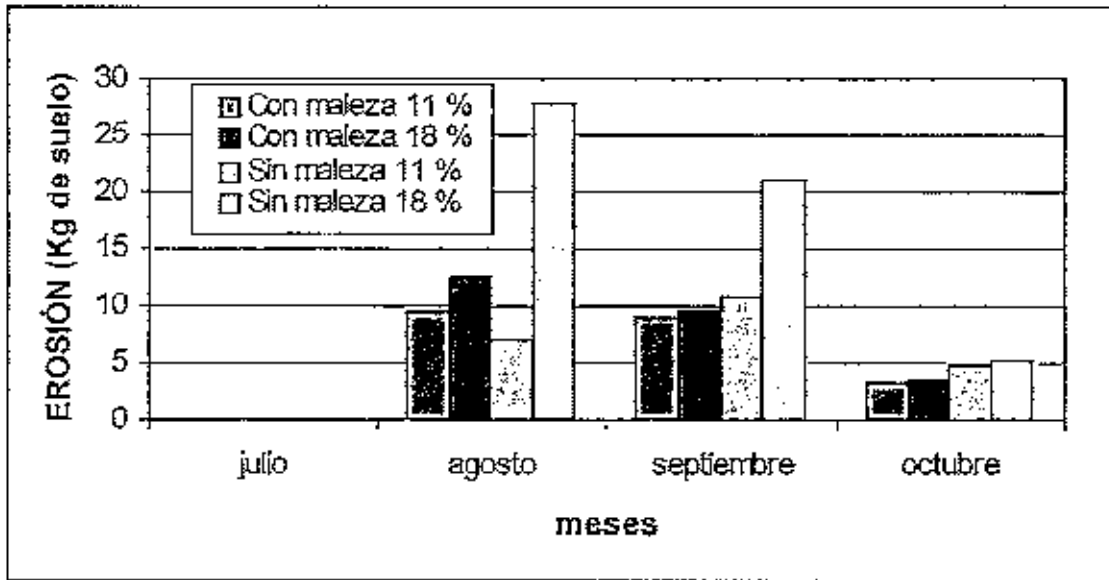


Figura 13. Erosión de suelo por parcela en el periodo de postrera 1998, en Rapaco.

4.5 VOLUMEN DE LA ESCORRENTÍA

Como puede verse en el siguiente cuadro, la escorrentía está expresada por las cantidades de agua que se colectaron en los receptores en cada una de las parcelas.

En los muestreos 3 y 4 la escorrentía excedió la capacidad de los colectores en todas las parcelas, esto demostró que las intensidades de estas lluvias fue alta excediendo la capacidad de infiltración de los suelos. También podemos observar que en el periodo del 24/09/98 al 29/09/98 se presentaron precipitaciones consecutivas que finalmente produjeron en el día 29/09/98 un rebalse de los colectores. A diferencia de lo afirmando anteriormente donde el rebalse se debió mayormente a la intensidad de las lluvias, en este periodo se debió a la combinación de humedad del suelo e intensidad de las lluvias.

Cuadro 5. Escorrentía producida en las parcelas experimentales

No. de Muestras	fecha	Precipitación (mm)	Volumen de la escorrentía en litros			
			SM11	SM18	CM18	CM11
1	28/07/98	5.2	0	0	0	0
2	22/08/98	2	0	0	0	0
3	24/08/98	29.4	*80	60	*80	70
4	26/08/98	42.4	*80	*80	*80	*80
5	28/08/98	2	0	0	0	0
6	28/08/98	43.4	*80	*80	*80	70
7	1/09/98	21.2	40	40	40	40
8	7/09/98	17.5	32	30	35	30
9	12/09/98	0.2	0	0	0	0
10	24/09/98	37.7	60	68	68	68
11	25/09/98	16.2	40	43	30	22
12	26/09/98	20	45	46	29	25
13	28/09/98	30.6	40	38	26	25
14	29/09/98	45.7	*80	*80	*80	*80
15	2/10/98	0.5	0	0	0	0
16	5/10/98	30	21.75	77.2	36.8	24.8
17	7/10/98	13	6	23	6	3.8
18	8/10/98	20	7	20	7	4
19	9/10/98	20	10	17	8	4
20	10/10/98	18	4	20	2	4
21	13/10/98	15.8	6.35	10.7	5.8	3.45
22	14/10/98	50	*88	78	*88.48	*90
23	15/10/98	41	78	60	75	77
24	17/10/98	5	0	0	0	0
25	19/10/98	18.2	20	22	20	0
26	20/10/98	13	7.5	10	38	6.5
27	23/10/98	19.4	22	20	7	5
28*	5/11/98	300	*80	*80	*80	*80
TOTALES		877.3	927.6	1002.9	922.08	812.55
PORCENTAJES			93%	100%	92%	81%

*Rebalsó el receptor

Se puede ver que la parcela SM18 fue la que produjo más escorrentía debido a la pendiente ya que no había cobertura de malezas al contrario de la parcela CM11 que fue la que tuvo menor escorrentía, la diferencia entre estas es de 190.359 mm (19%).

Entre las parcelas CM18 y CM11 hubo 110 mm de diferencia es decir un 12%, debido a una diferencia de pendientes. Las parcelas sin cobertura SM11 y SM18 tuvieron una diferencia de 7.5% en la cantidad de escorrentía producida debido también a la pendiente.

4.6 INFLUENCIA DE LA COBERTURA DE MALEZAS EN LA EROSIÓN DE SUELOS.

4.6.1 Cobertura de malezas por metro cuadrado y su influencia en la erosión

Como se puede observar en el cuadro 6 las escalas de cobertura por malezas van de 0 a 10, donde 0 significa que no se encontraron malezas y 10 significa que hubo 100% de la cobertura del suelo. Las parcelas con maleza terminaron con 100% de cobertura ya que las malezas continuaron creciendo hasta cubrir totalmente la parcela.

Al final del estudio los tratamientos sin malezas terminaron con un 50% de cobertura, debido al efecto residual del producto (herbicida) que usaron los técnicos de la cañera no hizo efecto hasta la finalización del estudio.

También se muestra que las parcelas sin malezas permanecieron con cero malezas hasta el 29/08/98, cuando en las parcelas con maleza ya había un 30% de cobertura. Entre las parcelas CM11 y SM11 existe una diferencia de 30 kg de suelo. Es importante mencionar que en las parcelas con cobertura la diferencia en pérdida fue de sólo 5.5 kg a pesar de que la diferencia en pendientes era apenas de un 7%. La diferencia de los dos tratamientos sin malezas fue de 44 kg.

Cuadro 6. Relación de la cobertura de malezas con la pérdida de suelo por parcela

	Fecha	Precipitación (mm)	% Cobertura				Kilogramos de suelo			
			con maleza		sin maleza		con maleza		sin maleza	
			11%	18%	11%	18%	11%	18%	11%	18%
1	28/07/98	5.2	0	0	0	0	0	0	0	
2	22/08/98	2	1	1	0	0	0	0	0	
3	24/08/98	29.4	2	2	0	0	2.9	5	2.1	6
4	26/08/98	42.4					2.2	3	3	7.2
5	28/08/98	2					0	0	0	0
6	29/08/98	43.4	3	3	0	0	4.5	4.5	2	14.5
7	1/09/98	21.2					2.5	2	1.5	1.5
8	7/09/98	17.5	5	5	1	1	1.15	1.15	1.1	1.15
9	12/09/98	0.2					0	1.15	0	0
10	24/09/98	37.7	6	6	1	1	2.9	2.9	2.4	10.8
11	25/09/98	16.2					0.2	0.2	0.7	0.9
12	26/09/98	20	6	6	2	2	0.6	0.5	0.9	1
13	28/09/98	30.6					0.5	0.8	1.1	1
14	29/09/98	45.7					1.1	2.1	3	4.7
15	2/10/98	0.5	7	7	3	3	0	0	0	0
16	5/10/98	30					1.3	1.3	1.75	1.25
17	7/10/98	13					0	0	0	0
18	8/10/98	20	8	8	3	3	0	0	0	0
19	9/10/98	20					0	0	0	0
20	10/10/98	18					0	0	0	0
21	13/10/98	15.8	9	9	4	4	0	0	0	0
22	14/10/98	50					1.15	1.25	1	2
23	15/10/98	41					0.9	0.9	1.2	1.3
24	17/10/98	5					0	0	0	0
25	19/10/98	18.2					0	0	0	0
26	20/10/98	13	10	10	5	5	0	0	0	0
27	23/10/98	19.4					0	0	0.8	0.7
28	5/11/98	300*	10	10	5	5	31.2	32	60	71
TOTAL		877.3					53.1	58.55	82.55	125

4.7 PÉRDIDA MENSUAL DE SUELO

Una agregación de los resultados de la pérdida de suelo por mes y por tratamiento (cobertura, sin cobertura) muestra la tendencia de una reducción de la pérdida de suelo a medida que las malezas crecieron a lo largo del ciclo del cultivo. Así mismo, se demuestra que la pérdida de suelo se reduce a medida que transcurre el tiempo aún en las parcelas sin malezas. Lo anterior podía estar relacionado a que la mayor parte de partículas sueltas tienden a perderse al principio del proceso erosivo (Figura 14).

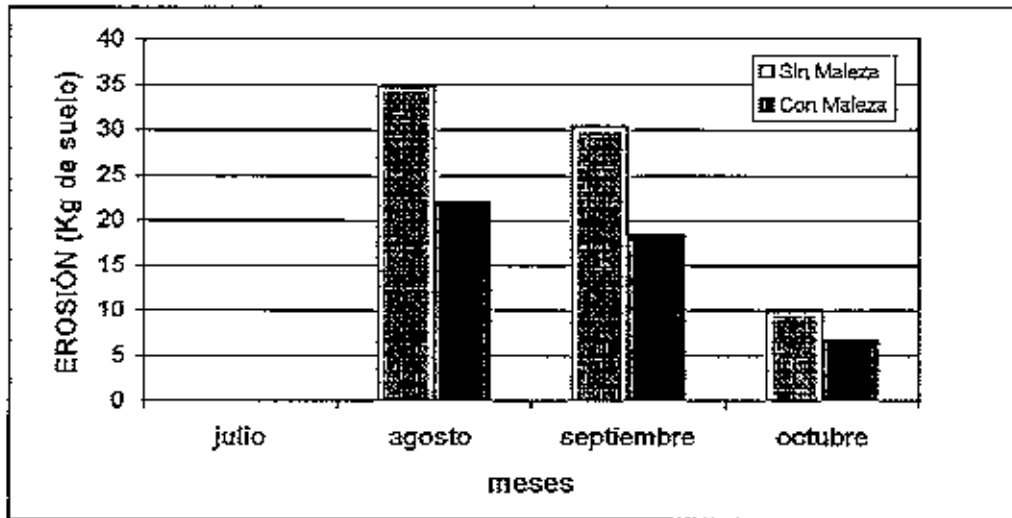


Figura 14. Erosión por parcela considerando sólo la cobertura

4.8 NUTRIMENTOS PERDIDOS A CAUSA DE LA EROSIÓN

Con la pérdida de suelo también se pierden nutrientes, fue por esto que se hicieron análisis de los mismos en las muestras de suelo colectadas en el estudio, donde se encontraron los siguientes resultados.

El cuadro 7 presenta comparaciones entre las pérdidas de nutrientes en las parcelas con cobertura de malezas (CM) y sin cobertura de malezas (SM), en todos los casos las pérdidas resultaron ser mayores en los tratamientos que no poseían cobertura de malezas (SM).

En las parcelas SM se perdió un 15% más de materia orgánica que las parcelas CM. Los sedimentos de las parcelas con maleza fueron más finos, es decir el arrastre total fue menor en peso y volumen, pero la concentración de materia orgánica en relación porcentual fue mayor que en las parcelas sin maleza.

En relación a las pérdidas de fósforo podemos decir que en las parcelas SM perdieron dos veces más que en las parcelas CM. Esto principalmente se debe a las cantidades de sedimentos que se perdieron por erosión en cada parcela.

Así mismo el análisis de laboratorio también reportó que se perdió el doble de Calcio y Magnesio en las parcelas SM en relación con las parcelas CM.

Cuadro 7. Comparaciones de pérdidas de nutrientes entre las parcelas Con Maleza (CM) y Sin Malezas (SM).

Mes	mm	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM	CM	SM
		kg. de suelo	kg. de suelo	kg. M.O.	kg. M.O.	kg. N total	kg. N total	kg. P perdido	kg. P perdido	kg. K perd.	kg. K perd.	kg. Ca perdido	kg. Ca perdido	kg. Mg perdido	kg. Mg perdido
Julio	5.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agosto	118	22.1	34.8	0.83317	0.81064	0.03978	0.02438	0.000243	0.000383	0.0037349	0.0056912	0.0180267	0.0264318	0.0031362	0.004641
Sept.	180	18.4	30.35	0.68088	0.70719	0.03312	0.021245	0.000202	0.000334	0.0031065	0.0051292	0.0150326	0.02476265	0.0026128	0.004300
Oct.	264	6.8	10	0.25836	0.232	0.01224	0.007	7.48E-05	0.00011	0.0011492	0.00189	0.006226	0.00617	0.0008958	0.00142
Nov.	300	83.2	131	2.36284	3.0023	0.11378	0.0817	0.000895	0.001441	0.0105808	0.022139	0.0518344	0.107027	0.0088744	0.018302
Total	877	110.6	206.16	4.1683	4.3033	0.1989	0.14431	0.0612	0.00227	2.7548	0.034893	0.090273	0.1864248	0.016491	0.028271

4.9 CAMBIOS EN LA TEXTURA DE LOS SEDIMENTOS COMPARANDO SM Y CM

Los sedimentos producidos por las parcelas SM presentan un mayor arrastre de arenas, esto se explica a la mayor velocidad de la escorrentía. La mayor cantidad de arena significó un cambio en la clasificación textural de los sedimentos producidos por las parcelas sin maleza (Cuadro 8 y Figura 15).

Cuadro 8. Análisis finales de los sedimentos.

Muestra	Textura	% Arena	% Limo	% Arcilla
Final CM	Franco arenosa	60	30	10
Final SM	Areno francosa	84	4	12

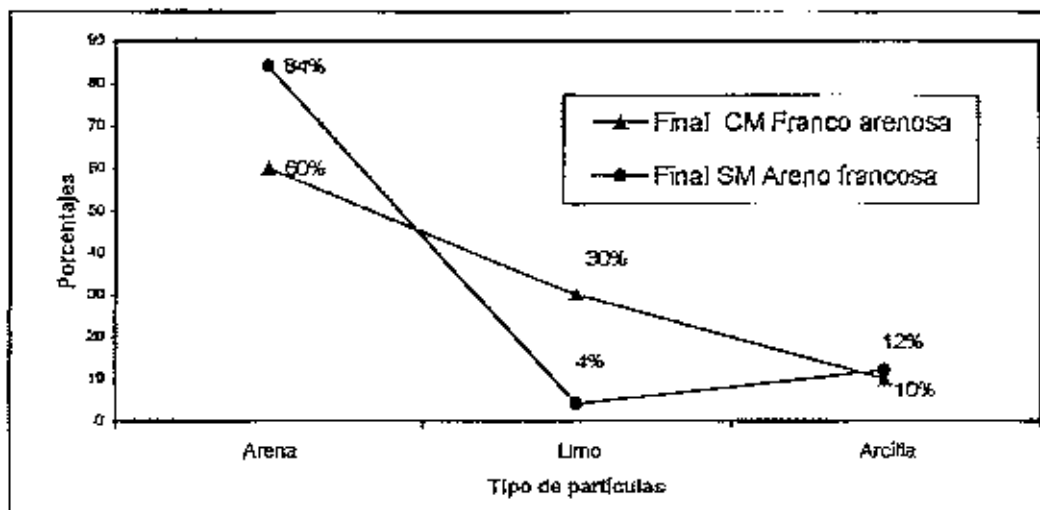


Figura 15. Cambios en la textura de los sedimentos.

4.10 CAMBIOS EN pH, M.O., N., P., K. DE LOS SEDIMENTOS COMPARANDO SM Y CM.

El cuadro 9 muestra que no hubieron cambios significativos en el pH en las muestras de sedimentos colectadas al final del experimento ya que en ambos tratamientos (CM y SM) fue clasificado como fuertemente ácido (FA).

El análisis de los sedimentos también reporta una disminución en más de un 30 % de la M.O. en las parcelas SM comparado con las CM. El porcentaje de nitrógeno total disminuyó más del 50%, es decir que los sedimentos de las parcelas CM están más concentrados en cuanto a estos elementos, debido a que son partículas más pequeñas las que se arrastraron en estas parcelas, lo mismo ocurre con el P y el K.

Cuadro 9. Análisis finales de pH, M.O., y NPK .

Muestra	pH	% M.O.	% N total	P	K
Final CM	5.44	3.77	0.18	11	169
Final SM	5.48	2.33	0.07	4	119

El % M.O. y % N total para CM fue clasificado como medio (M), y para SM como bajo (B). El fósforo para ambos tratamientos (CM y SM) se clasificó bajo (B). El potasio al contrario se clasificó alto (A) en las parcelas CM, bajo (B) para las parcelas SM (Anexo 4).

4.11 CURVAS DE PREDICCIÓN DE LA EROSIÓN (REGRESIONES)

Para este estudio se hicieron regresiones relacionando las variables de precipitación y los kilogramos de sedimento producidos en cada uno de los tratamientos.

Los datos de los 4 análisis estadísticos dieron los siguientes resultados:

(Se utilizó un $\alpha < 0.1$)

- Parcela CM18 significativo
- Parcela CM11 significativo
- Parcela SM18 no significativo (n.s.)
- Parcela SM11 no significativo (n.s.)

(Anexo 5)

4.11.1 Curva de predicción para la parcela CM11

Los resultados del análisis son los siguientes:

El $r^2 = 0.9996$ es casi perfecto, por tanto se deduce que los puntos se adaptan muy bien a la curva de regresión, con una probabilidad altamente significativa de 0.0194.

La ecuación generada expresa con más de un 98% de seguridad de que la erosión en el tratamiento CM11 se comportará de manera cuadrática (Figura 16).

Sin embargo vemos que a precipitaciones mayores a 150 mm, la pérdida de suelo tiende a disminuir a lo largo del tiempo, esto podría atribuirse a que a medida que el proceso de erosión transcurre la disponibilidad de los sedimentos erodables disminuye. La curva de erosión desciende significando que se ha llegado a las partes duras del suelo, el lavado de los sedimentos será más difícil.

Para confirmar los resultados anteriores es necesario tomar datos otros años y así afianzar la seguridad del comportamiento de la erosión bajo las condiciones arriba mencionadas.

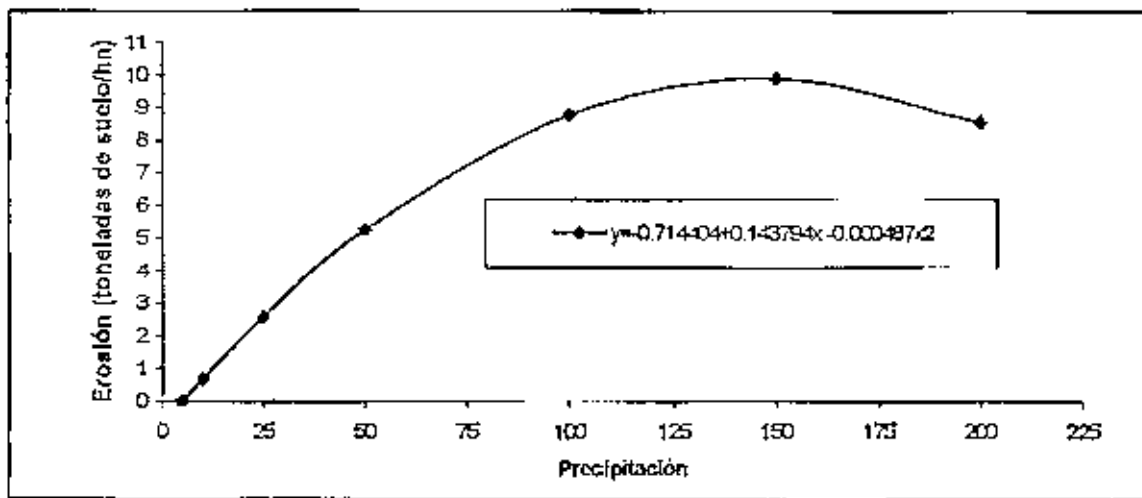


Figura 16. Curva de erosión de un cultivo de caña en Rapaco, bajo el tratamiento CM11.

4.11.2 Curva de predicción para la parcela CM18

El análisis de los datos de erosión en el tratamiento CM18 expresan los siguientes resultados:

Como podemos ver el $R^2 = 0.835$ indica que los datos de la erosión en esta parcela se adaptan bastante bien a la ecuación, un 83% de ellos están expresados por la curva de regresión, con una probabilidad significativa de 0.086 (Anexo 5).

La figura 17 muestra la curva del comportamiento de la erosión para el tratamiento CM18. Contrario al anterior esta se presentó lineal, lo cual no quiere decir que la maleza no está protegiendo, sino que al contrario esta protección no es suficiente, es decir que su efecto se ve reducido casi totalmente por el efecto de la pendiente.

Por ejemplo de cada 10 lluvias de postera, 9 ocasionarían estas pérdidas de suelo si se mantienen las condiciones de la finca Rapaco EAP, en cultivo a favor de la pendiente con 18% de inclinación.

Sin embargo faltaría validar esta información y verificar si su comportamiento se mantiene o varía.

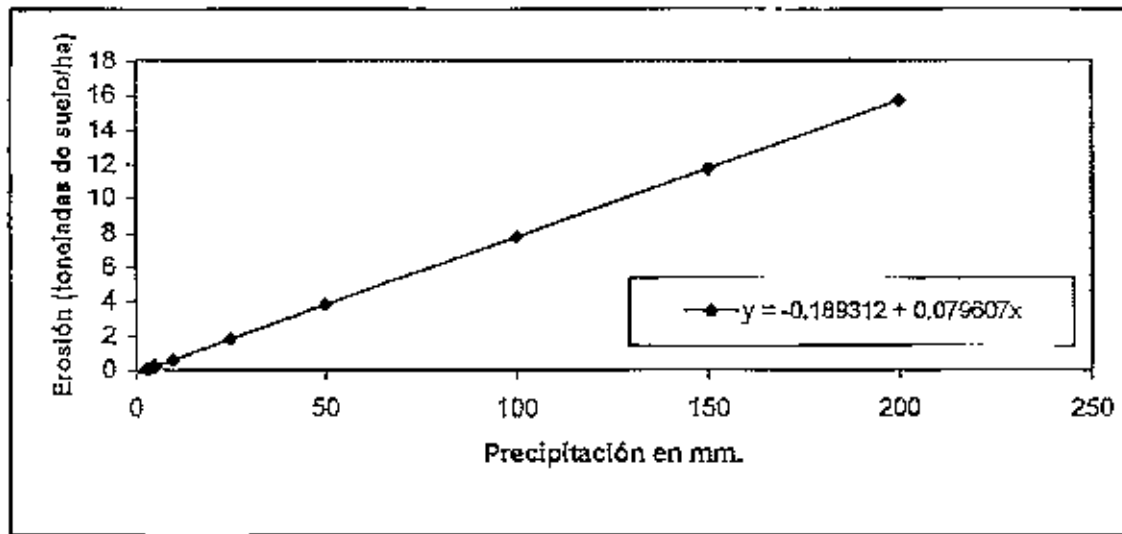


Figura 17. Curva de erosión de un cultivo de caña en Rapaco, bajo el tratamiento CM18.

5. CONCLUSIONES

- En cuanto a la pérdida de suelos:

En todas las mediciones realizadas desde agosto hasta octubre las mayores pérdidas de suelo dentro del cultivo de caña en Rapaco se dieron en las pendientes de 18% por el efecto de la velocidad de la escorrentía en el arrastre de los sedimentos.

La orientación de los surcos de siembra a favor de la pendiente, es un factor determinante para acelerar el proceso de erosión en la finca Rapaco.

Las mayores pérdidas de suelo durante el estudio fueron en la parcela de SM18, debido a que esta era la de mayor pendiente y no tuvo protección por las malezas.

Aun cuando la clasificación textural del suelo se mantuvo Franco Arenoso según los análisis al inicio y al final del experimento, los resultados muestran un cambio en las proporciones de arena, limo y arcilla.

Se puede concluir que mientras el suelo estuvo desprotegido la escorrentía fue alta, pero fue disminuyendo a medida que la maleza lo cubría y el crecimiento de la caña aumentaba, creando una barrera ante el impacto de las gotas de lluvia.

- En cuanto a los nutrimentos perdidos:

La pérdida de suelo al inicio de las lluvias fue mayor, el arrastre de las partículas de la capa más superficial se llevó también la mayor cantidad de materia orgánica, Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

- En cuanto a las curvas de predicción:

Se puede decir que estas explican parcialmente el comportamiento de la erosión en la finca Rapaco, ya que apenas se sometieron al análisis un período muy corto de lluvias, sin embargo, estos muestran claramente las tendencias.

Finalmente este estudio muestra claramente las diferencias que existen en la erosión debido a la presencia o ausencia de cobertura de malezas en los cultivos de caña de azúcar en pendiente bajo las condiciones del Valle de Moroceli, específicamente de la finca Rapaco.

6. RECOMENDACIONES

- Para la compañía azucarera:

Se debería hacer un esfuerzo técnico y económico por orientar las hileras de cultivo siguiendo la curva a nivel o por lo menos en contra de la pendiente para reducir las pérdidas de suelo que pueden significar una disminución de los rendimientos en el corto, mediano y largo plazo.

Si el sistema de riego no permite hacer estas adaptaciones se recomienda investigar sobre cultivos de cobertura que se puedan utilizar para proteger el suelo durante los primeros meses de crecimiento de la caña.

En relación al efecto protector de las malezas entre las hileras de caña, se recomienda hacer un análisis técnico y económico para ver que tanto influyen en el rendimiento y sus efectos sobre el manejo del cultivo.

- Para Zamorano:

Que en todo contrato de arrendamiento de tierras se incluyan cláusulas que comprometan a los arrendadores a tomar medidas de protección del suelo. Detallando previo estudio de impacto ambiental las prácticas de conservación de suelos que aseguren el control de la erosión y sus efectos ambientales.

Que haga cumplir los artículos que establece la ley del medio ambiente y protección de los recursos naturales, donde claramente se especifica los distanciamientos que se deben dejar en las áreas de drenajes naturales con bosques de galería a orillas de ríos y quebradas.

- Para próximos estudios de cuantificación:

Sería muy valioso un pluviógrafo en los lugares de medición para conocer con precisión la intensidad de las lluvias y así obtener curvas de predicción de la erosión que sean más acertadas.

Que se establezcan más repeticiones por cada tratamiento, para reducir el área de las parcelas actuales, que faciliten la toma de datos y para poder hacer análisis estadísticos más profundos que expliquen más claramente las curvas de predicción de la erosión de suelos.

Que se hagan más análisis de suelos periódicos en las parcelas y en los sedimentos durante el periodo de lluvias para ver como evoluciona la erosión, conociendo específicamente qué nutrimentos se están perdiendo y en que cantidades.

7. BIBLIOGRAFÍA

AFE-COHDEFOR. s.f. Manejo de rastrojos y labranza conservacionista. Honduras. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Programa de Manejo de los Recursos Naturales Renovables de la Cuenca del embalse El Cajón. 9p.

ARSYAD S.; AMIEN I.; SHENG T.; MOLDENHAUER W. 1992. Conservation polices for sustainable hillslope farming. Soil and water conservation society. Ankeny, Iowa. USA. 364p.

AYRES, Q. 1936. Soil erosion and its control. New York and London. McGraw-Hill Book Company. 365p.

CHACRA, 1998. Erosión. Los riesgos de la soberbia. Chacra (Buenos Aires, Argentina) 68(815): 82.

CROVETTO, C. 1996. Stubble over the Soil; The vital Role of Plant Residue in Soil Management to Improve the Soil Quality. American Society of Agronomy, Inc. USA. 245p.

CUBERO, D. 1996. Manual de manejo y conservación de suelos y aguas. San José, Costa Rica. EUNED. 278p.

FAO y UNEP., 1996. Our land, our future. A new approach to land use planning and management. 48p.

JIRON, J. 1997. Evaluación técnica y económica de cultivos de cobertura y barreras vivas para pequeños agricultores de laderas. Tesis Ing. Agr. Zamorano, Honduras. Escuela Agrícola Panamericana "Zamorano". 70p.

KIRKBY, J.; MORGAN, R.; MITCHELL, K.; BUBENZER, G. 1984. Erosión de suelos. México, D.F. Ed. Limusa. 375p.

LUPE. 1993. Sistemas de Conservación de Suelos. Tegucigalpa, Honduras. Secretaría de Recursos Naturales. Proyecto Mejoramiento del uso y productividad de la Tierra. p.irr

LUPE. 1994. Introducción al Manejo de Suelos. Tegucigalpa, Honduras. Secretaría de Recursos Naturales. Proyecto Mejoramiento del uso y productividad de la Tierra. p.irr

MOLDENHAUER, W. y HUDSON, N. 1988. Conservation farming on steep lands. Soil and Water Conservation Society. Iowa, USA. 296p.

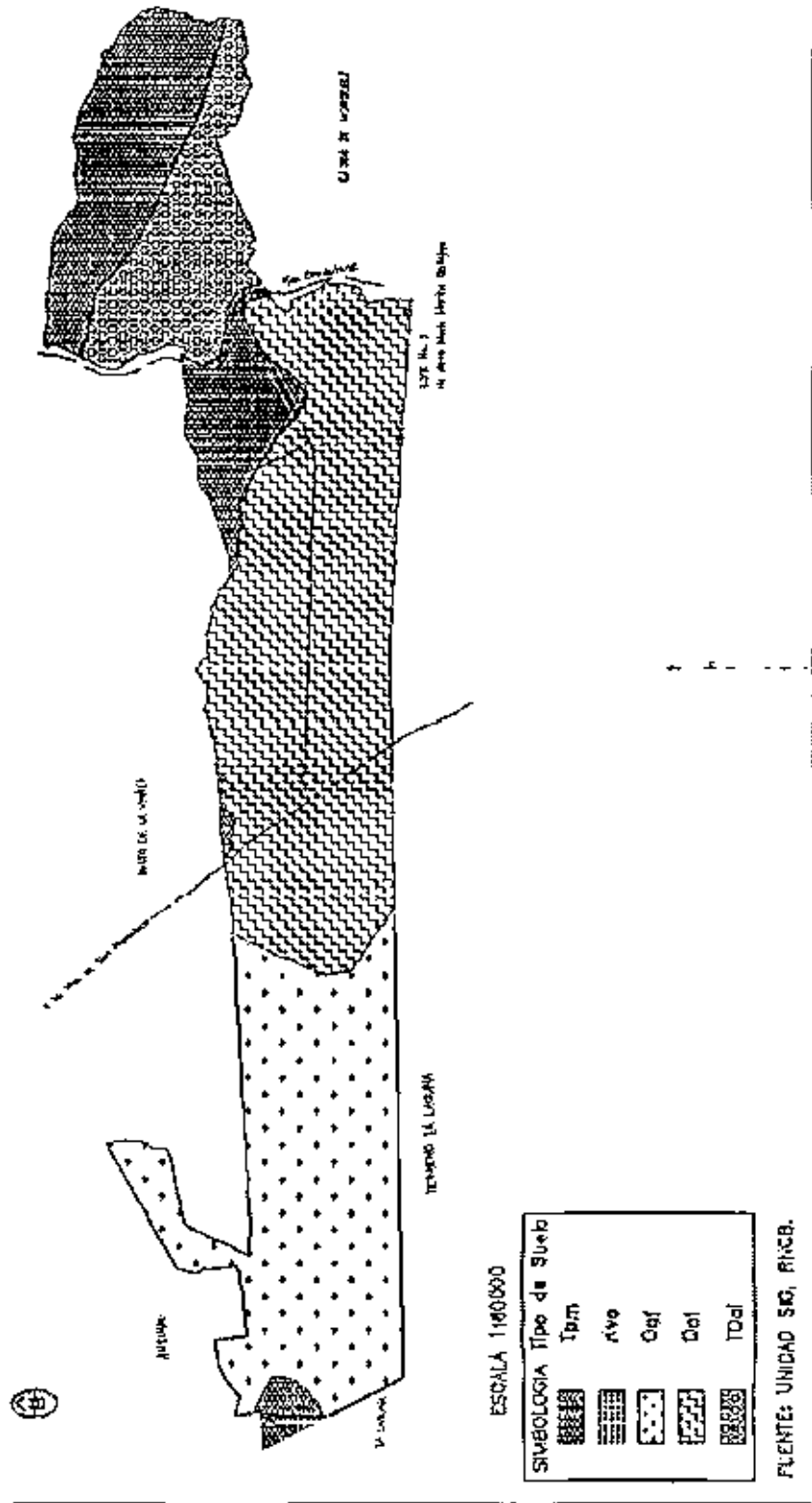
MONEGAT, C. 1991. Plantas de Cobertura del Suelo; Características y manejo en pequeñas propiedades. Tegucigalpa, Honduras. CIDICCO. p.18-37

SMITH, J. 1997. Assessment of soil and water conservation methods applied to the cultivated steeplands of southern Honduras. Thesis M.Sc. Texas A&M University, USA. 160p.

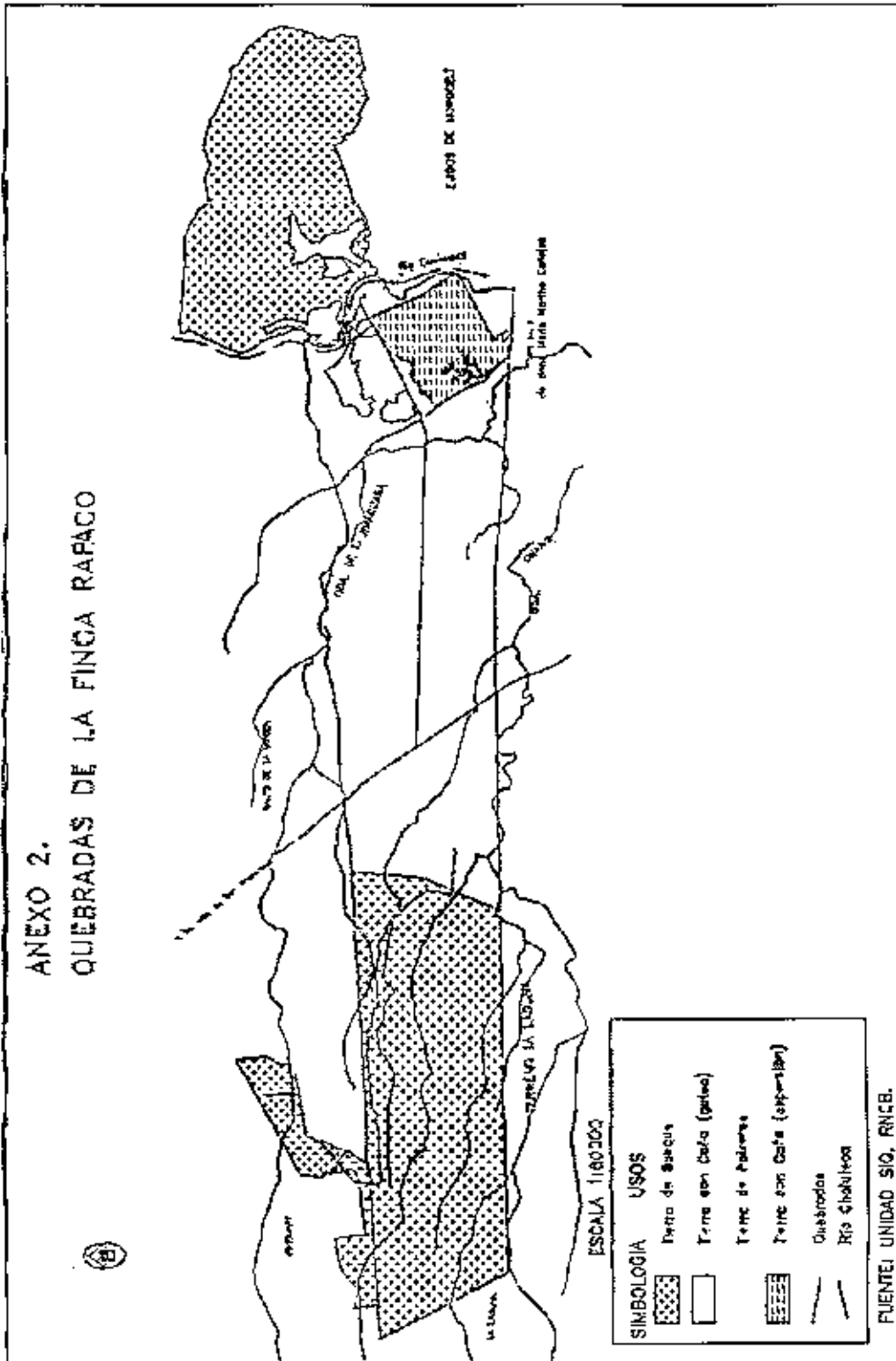
STORIE, E. 1970. Manual de evaluación de suelos. Trad. por el Ing. Alonso Blackaller Valdés. México, D.F. Uthea. 225p.

SUAREZ DE CASTRO, F. 1982. Conservación de suelos. San José, Costa Rica. IICA; Serie de libros y material educativo; no. 37. 315p.

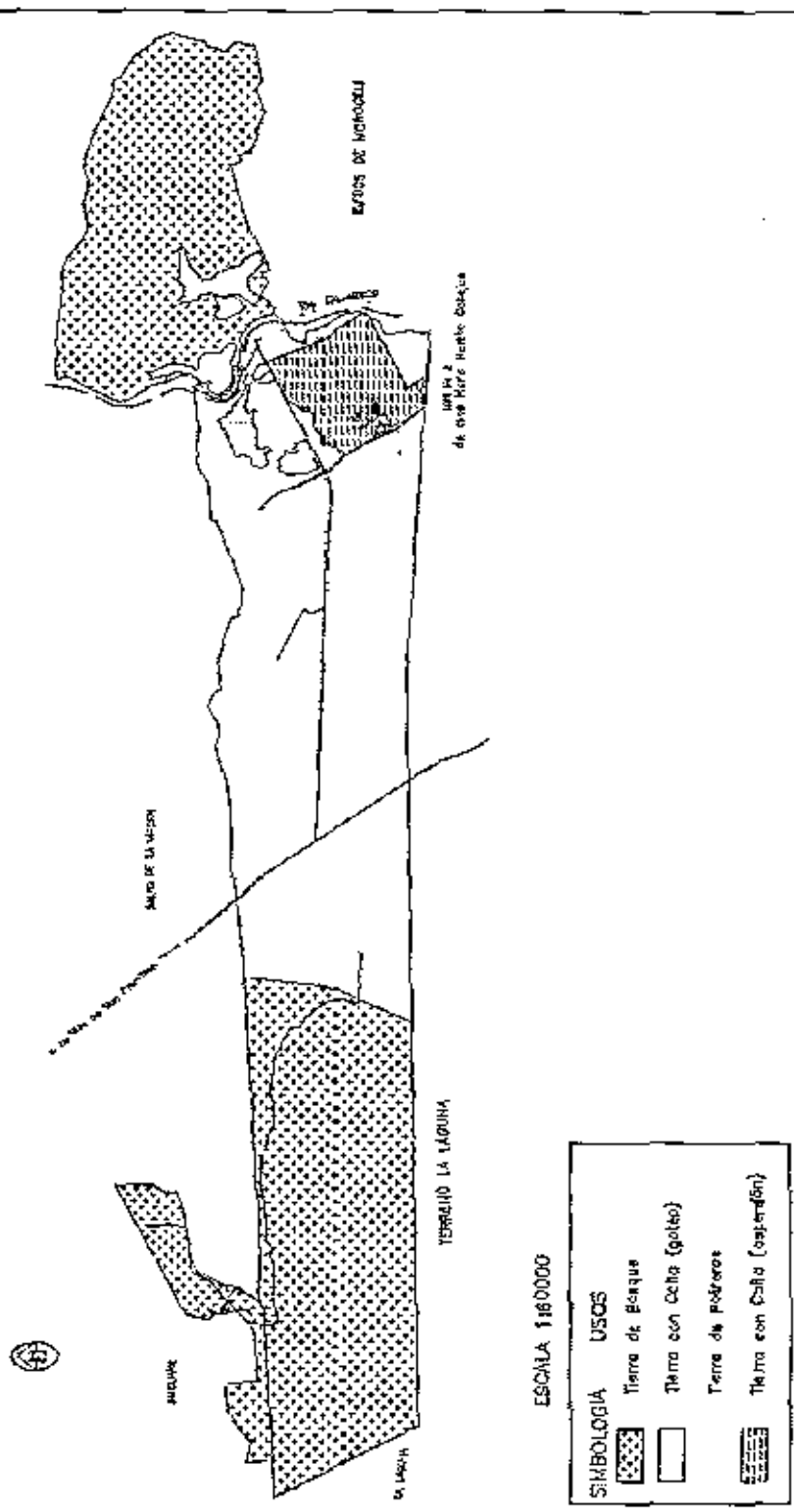
ANEXO 1.
TIPOS DE SUELO DE LA FINCA "RAPACO"



ANEXO 2.
QUEBRADAS DE LA FINCA RAFACO



**ANEXO 3.
USOS DE LA TIERRA EN RAPAGO (1999)**



FUENTE: UNIDAD S.G. RNCB.

ZAMORANO

DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE SUELOS

Solicitante: JORGE CASTEDO

Insitución: _____

Localización: Aldea Municipio

de la muestra: RAPACO

Departamento: EL PARAISO

Cultivo a sembrar: _____

Recomendación: Si No X

RESULTADO DE ANALISIS

Fecha de entrada: 19/1/99
Fecha de salida: 8/2/99

Interpretación:

A=Alto ppt
M=Medio FA= Fuertemente Acido
B=Bajo
N/A= Normal Alto
N = Normal
D/N = Bajo/ Normal

ANEXO 4

# Lab.	Muestra	Textura	% Arcna	% Limo	% Arcilla	pH (H ₂ O)	% M.O.	% N total	ppm (Disponible)												
									P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fu	Mn	Zn	B			
59	Final Con cobertura	Francoso Arenoso	00	30	10	FA 5.44	M 3.77	M 0.19	B	A	1522	B	B/N	15	0.72	N/A	A	140	N	2.1	1.8
60	Final Sin Cobertura	Arenoso Francoso	04	4	12	FA 5.40	M 2.33	B 0.07	B	M	617	B	B/N	13	0.24	N	N/A	17	B/N	0.88	1.2
61	Inicio Muestra Al Azar	Francoso Arenoso	58	30	12	FA 5.40	M 3.96	M 0.15	B	A	1500	M	B/N	18	0.86	65	A	128	A	2.3	1.6
62	Final Muestra Al Azar	Francoso Arenoso	78	14	8	FA 5.13	M 3.09	M 0.13	B	M	885	B	B/N	18	0.50	48	A	85	A	1.2	1.1

Responsable: Jefe Lab. Comp. Castedo
Dr. Ana Margoth de Andrews

ANEXO 5

Salidas de SAS

The SAS System 19:36 Monday, March 1, 1999 27

Model: MODEL1

Dependent Variable: CM11

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	8.61949	8.61949	0.314	0.6318
Error	2	54.96301	27.48151		
C Total	3	63.58250			
Root MSE		5.24228	R-square	0.1356	
Dep Mean		5.47500	Adj R-sq	-0.2967	
C.V.		95.74942			

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	3.250450	4.75899920	0.683	0.5651
MMMES	1	0.015413	0.02752202	0.560	0.6318

The SAS System

19:36 Monday, March 1, 1999

28

Model: MODEL2

Dependent Variable: CM11

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	63.55864	31.77932	1332.186	0.0194
Error	1	0.02386	0.02386		
C Total	3	63.58250			

Root MSE	0.15445	R-square	0.9996
Dep Mean	5.47500	Adj R-sq	0.9989
C.V.	2.82102		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	-0.714404	0.16274270	-4.390	0.1426
MMES	1	0.143794	0.00279534	51.441	0.0124
MM	1	-0.000487	0.00001015	-47.990	0.0133

The SAS System

19:36 Monday, March 1, 1999

29

Model: MODEL3

Dependent Variable: CM18

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	229.92437	229.92437	10.122	0.0862
Error	2	45.43063	22.71532		
C Total	3	275.35500			
Root MSE		4.76606	R-square	0.8350	
Dep Mean		11.30000	Adj R-sq	0.7525	
C.V.		42.17751			

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	-0.189312	4.32667995	-0.044	0.9691
MMMES	1	0.079607	0.02502185	3.182	0.0862

The SAS System

19:36 Monday, March 1, 1999

Model: MODEL4

Dependent Variable: CM18

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	231.94658	115.97329	2.672	0.3970
Error	1	43.40842	43.40842		
C Total	3	275.35500			

Root MSE	6.58851	R-square	0.6424
Dep Mean	11.30000	Adj R-sq	0.5271
C.V.	58.30537		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	0.571365	6.94222387	0.082	0.9477
MMES	1	0.054977	0.11924289	0.461	0.7250
MM	1	0.000093449	0.00043296	0.216	0.8647

The SAS System

19:36 Monday, March 1, 1999

Model: MODEL5

Dependent Variable: SM11

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	20.74796	20.74796	1.048	0.4136
Error	2	39.58892	19.79446		
C Total	3	60.33688			

Root MSE	4.44910	R-square	0.3439
Dep Mean	5.63750	Adj R-sq	0.0158
C.V.	78.91967		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	2.186149	4.03893808	0.541	0.6426
MMMES	1	0.023914	0.02335779	1.024	0.4136

32

Model: MODEL6

Dependent Variable: SM11

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	54.97090	27.48545	5.122	0.2982
Error	1	5.36597	5.36597		
C Total	3	60.33688			
Root MSE		2.31646	R-square	0.9111	
Dep Mean		5.63750	Adj R-sq	0.7332	
C.V.		41.09013			

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	-0.943135	2.44082009	-0.386	0.7653
MMES	1	0.125239	0.04192467	2.987	0.2056
MM	1	-0.000384	0.00015222	-2.525	0.2400

The SAS System

19:36 Monday, March 1, 1999

Model: MODEL7

Dependent Variable: SM18

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	1	20.96848	20.96848	0.086	0.7970
Error	2	487.98652	243.99326		
C Total	3	508.95500			

Root MSE	15.62028	R-square	0.0412
Dep Mean	13.50000	Adj R-sq	-0.4382
C.V.	115.70580		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	10.030355	14.18026277	0.707	0.5527
MMES	1	0.024040	0.08200661	0.293	0.7970

34

Model: MODEL8

Dependent Variable: SM18

Analysis of Variance

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Prob>F
Model	2	500.85417	250.42709	30.914	0.1262
Error	1	8.10083	8.10083		
C Total	3	508.95500			

Root MSE	2.84620	R-square	0.9841
Dep Mean	13.50000	Adj R-sq	0.9523
C.V.	21.08293		

Parameter Estimates

Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for H0: Parameter=0	Prob > T
INTERCEP	1	-1.687688	2.99899900	-0.563	0.6737
MMES	1	0.403467	0.05151221	7.832	0.0808
MM	1	-0.001440	0.00018704	-7.697	0.0823

ANEXO 6.

Identificación de las malezas

La mayoría de las malezas encontradas dentro de las parcelas establecidas en el cultivo de caña eran de hoja ancha, también se encontraron gramíneas y leguminosas.

Entre las principales tenemos:

<i>Hyptis capitata</i> Jacq.	<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.
<i>Bahimora recta</i> L.	<i>Galinsoga urticaefolia</i> (HBK.) Benth.
<i>Sida urens</i> L.	syn: <i>G. ciliata</i> (Raf.) Blake
<i>Hydrulea spinosa</i> L.	
<i>Panicum maximum</i> Jacq.	<i>Scoparia dulcis</i> L.
<i>Lagascea mollis</i> Cav.	<i>Centrosema pubescens</i> Benth.
<i>Digitaria horizontalis</i> Willd.	<i>Digitaria insularis</i> (L.) Fedde
<i>Euphorbia prostrata</i> Ait.	<i>Calyptocarpus wendlandii</i> Schultz Bip.
<i>Echinochloa colona</i> (L.) Link	<i>Ludwigia octovalvis</i> (Jacq.) Raven