

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS

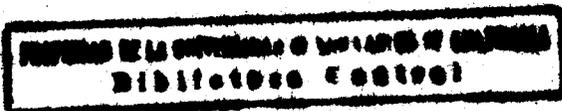
EVALUACION DE TRES PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS
DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO PENSATIVO, SACATEPEQUEZ;
DE 1987 A 1991.

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD
DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

TESIS
POR
MILTON LEONEL CHAN SANTISTEBAN
En el acto de investidura como
INGENIERO AGRONOMO

EN
SISTEMAS DE PRODUCCION AGRICOLA
EN EL GRADO ACADEMICO DE
LICENCIADO

Guatemala, noviembre de 1992



DL

01

T(1359)

La información contenida en el presente documento es propiedad de la Dirección General de Investigación (DIGI) y del Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Facultad de Agronomía (IIA) de la Universidad de San Carlos de Guatemala y se publica con la autorización respectiva.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR:

Dr. ALFONSO FUENTES SORIA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA:

DECANO: Ing. Agr. EFRAIN MEDINA GUERRA
VOCAL I: Ing. Agr. MYNOR ESTRADA R.
VOCAL II: Ing. Agr. WALDEMAR NUFIO REYES.
VOCAL III: Ing. Agr. CARLOS MOTTA DE PAZ
VOCAL IV: Br. ELIAS RAYMUNDO RAYMUNDO
VOCAL V: Br. JUAN GERARDO DE LEON MONTENEGRO.
SECRETARIO: Ing. Agr. MARCO ROMILIO ESTRADA MUY.

Guatemala, 10 de noviembre de 1992.

Señores:

Honorable Junta Directiva.

Honorable Tribunal Examinador.

Facultad de Agronomía.

Universidad de San Carlos de Guatemala

De conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de Tesis titulado:

"EVALUACION DE TRES PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS
DENTRO DE LA SUBCUENCA DEL RIO PENSATIVO, SACATEPEQUEZ;
DE 1987 A 1991"

Investigación presentada como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas De Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas, espero merezca vuestra aprobación.

Respetuosamente:


Milton Leonel Chan Santisteban.

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS.

MIS PADRES: RAYMUNDO CIPRIANO CHAN AJCHE
 CARMEN SANTISTEBAN DE CHAN.

Como una pequeña y humilde muestra de agradecimientos por
su constante apoyo en mi carrera.

MIS HERMANOS: Sonia, Ilse, Erika y Fernando.
MI ESPOSA: Zuly Judith Escobar de Chan.
MI HIJA: Maria del Carmen.

TESIS QUE DEDICO

A:

GUATEMALA.

TOTONICAPAN.

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

LA FACULTAD DE AGRONOMIA.

EL INSTITUTO TECNICO DE AGRICULTURA.

AL CAMPESINO GUATEMALTECO.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

AGRADECIMIENTOS.

Al Ing. Agr. M. Sc. Maxdelio Herrera de León y al Ing. Agr. Hugo Tobías por su valiosa asesoría prestada en el desarrollo del presente trabajo de Tesis.

Al Instituto de Investigaciones Agronómicas de la Facultad de Agronomía (IIA) por el apoyo brindado para la realización de la investigación.

Al personal del laboratorio de suelo y planta "Salvador Castillo" de la Facultad de Agronomía por el apoyo y asesoría prestados en los análisis realizados.

A Igor de la Roca Cuéllar por su ayuda en la toma de datos finales en el experimento.

A los compañeros de la subárea de Matemática y Física por todo el apoyo brindado.

CONTENIDO.

	Pág.
CONTENIDO.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INDICE DE CUADROS.....	xi
RESUMEN.....	xv
1. INTRODUCCION	1
2. DEFINICION DEL PROBLEMA	3
3. MARCO TEORICO.....	4
3.1. MARCO CONCEPTUAL	4
3.1.1. Erosión Hídrica	4
3.1.2. Factores de la Erosión y la Escorrentía	5
3.1.3. Prácticas de conservación de Suelos	8
3.2. MARCO REFERENCIAL	13
3.2.1. Ubicación del Area de Estudio.....	13
3.2.2. Descripción del Area de Estudio.....	13
3.2.3. Descripción del Material Experimental.....	15
4. OBJETIVOS.....	18
4.1. OBJETIVOS GENERALES.....	18
5. HIPOTESIS.....	19
6. METODOLOGIA.....	20
6.1. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.....	20
6.1.1. Tratamientos Evaluados.....	20
6.1.2. Diseño Experimental.....	20
6.1.3. Unidad Experimental	23
6.1.4. Manejo del Experimento	23
6.1.5. Medición de Variables.....	26
6.2. ANALISIS DE LA INFORMACION.....	28

	Pág.
7. RESULTADOS Y DISCUSION	30
7.1. QUINTA EVALUACION DE TRES PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS.....	30
7.1.1. Precipitación Pluvial.....	30
7.1.2. Escurrimiento Superficial.....	35
7.1.3. Suelo Erosionado y Características de los Se- dimentos.....	38
7.1.4. Rendimiento.....	42
7.1.5. Rendimiento de Zacatón (<i>Panicum maximum</i>).....	44
7.2. EVALUACION DE TRES PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS EN EL PERIODO DE 1987-1991.....	45
7.2.1. Precipitación Pluvial e Intensidad Media.....	45
7.2.2. Escurrimiento Superficial.....	46
7.2.3. Cantidad de Sedimentos.....	48
7.2.4. Rendimiento de Maíz (<i>Zea mays</i> L.) y Frijol (<i>Pha- seolus vulgaris</i> L.) en 5 Años de Evaluación....	50
7.2.5. Modificación del Porcentaje de Pendiente.....	52
7.2.6. Análisis Beneficio-Costo.....	57
8. CONCLUSIONES.....	63
9. RECOMENDACIONES.....	66
10. BIBLIOGRAFIA.....	68
11. APENDICE.....	70

INDICE DE FIGURAS

Figura	Titulo	Pág.
1	Localización de la cuenca del río Pensativo a nivel nacional y del sitio experimental dentro de la cuenca.....	14
2.1	Sección transversal de los tratamientos evaluados.....	21
2.2	Sección transversal de los tratamientos evaluados.....	22
3	Esquema de una parcela de escorrentía.....	24
4	Precipitación pluvial mensual de de 1991 y promedio de 10 años en San Mateo Milpas Altas.....	31
5	Cantidad de agua escurrida por tratamiento	36
6	Cantidad de sedimentos obtenidos por tratamiento....	38
7	Características granulométricas de los sedimentos obtenidos por tratamiento.....	41
8	Rendimiento de grano de maíz (<i>Zea mays</i> L.) por tratamiento.....	44
9	Cantidad de agua escurrida por año de evaluación de tres prácticas de conservación de suelos.....	48
10	Cantidad de sedimentos producidos por año de evaluación de tres prácticas de conservación de suelos.....	50
11	Rendimiento de grano de maíz (<i>Zea mays</i> L.) por año de evaluación.....	51
12	Rendimiento de grano de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) por año de evaluación.....	52
13.1.	Perfil de los tratamientos mostrando el nivel original y el nivel actual del terreno.....	55
13.2.	Perfil de los tratamientos mostrando el nivel original y el nivel actual del terreno.....	56
14	Beneficios netos actualizados a 1987 por año por	

Figura	Titulo	Pág.
	tratamiento.....	59
15	Relación beneficio costo por tratamiento.....	60

INDICE DE CUADROS.

CUADRO.	TITULO	Pág.
1	Precipitación mensual registrada durante los cinco años de evaluación de las prácticas de conservación de suelos (1987 a 1991) y promedio de 10 años de registro.....	31
2	Intensidad media y frecuencia distribuidas en tres clases ocurridas en San Mateo Milpas Altas, del 22 de junio al 31 de diciembre de 1991.....	32
3	Precipitación pluvial y frecuencia distribuidas en cinco clases de lluvia, ocurridas en San Mateo Milpas Altas, del 22 de junio al 31 de diciembre de 1991.....	33
4	Eventos de lluvia que provocaron arrastre de sedimentos en San Mateo Milpas Altas, del 5 de julio al 31 de diciembre de 1991.....	34
5	Análisis de varianza para el escurrimiento superficial (m^3/ha) 1991.....	36
6	Prueba de Tukey para volumen del escurrimiento superficial.....	37
7	Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado (ton/ha), 1991.....	39
8	Prueba de Tukey para la cantidad de suelo erosionado .	39
9	Cantidad de fósforo (P), potasio (K) y elementos fertilizantes perdidos en los sedimentos por tratamiento en g/ha en San Mateo Milpas Altas, 1991.....	42
10	Análisis de varianza para el rendimiento de maíz (<i>Zea mays</i> L.), 1991.....	43
11	Precipitación pluvial y rango de intensidades medias	

CUADRO.	TITULO	Pág.
	registradas en los cinco años de evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en San Mateo Milpas Altas.....	46
12	Escurrimiento superficial en m ³ /ha registrados en cinco años de evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la subcuenca del río Pensativo.....	47
13	Cantidad de suelo erosionado en ton/ha registrados en cinco años de evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la subcuenca del río Pensativo.....	48
14	Rendimiento del cultivo de maíz en kg/ha para los años de 1987, 1989 y 1991 y de frijol en kg/ha en los años de 1988 y 1990 en las parcelas de escurrimiento en San Mateo Milpas Altas.....	51
15	Análisis de varianza para los datos transformados de reducción del porcentaje de pendiente con función arcoseno.....	53
16	Prueba de Tukey para la reducción del porcentaje de pendiente	53
17	Análisis beneficio-costo por hectárea de tres prácticas de conservación de suelos y del manejo tradicional del cultivo para cinco años de evaluación en San Mateo Milpas Altas.....	58
18	Cantidad de sedimentos y agua que se evitó perder por el efecto de tres prácticas de conservación de suelos en el período de 1987 a 1991 en San Mateo Milpas Alta..	61
19a	Lámina de agua precipitada, intensidad media y fecha por evento de lluvia registrado en San Mateo Milpas Altas del 22 de junio al 31 de diciembre de 1991.....	70

CUADRO.	TITULO	Pág.
20a	Esgurrimiento en m ³ /ha en los distintos tratamientos y repeticiones en San Mateo Milpas Altas (1991).....	71
21a	Porcentaje de escurrimiento superficial en los distintos tratamientos y repeticiones en San Mateo Milpas Altas (1991).....	71
22a	Sedimentos en ton/ha en los distintos tratamientos y repeticiones en San Mateo Milpas Altas (1991).....	72
23a	Características granulométricas de los sedimentos obtenidos en las parcelas de escorrentia, San Mateo Milpas Altas (1991).....	72
24a	Elementos disponibles en los sedimentos obtenidos en las parcelas de escorrentia, San Mateo Milpas Altas (1991).....	72
25a	Análisis de fertilidad al inicio del experimento para tratamientos y repeticiones en las parcelas de escorrentia, San Mateo Milpas Altas (1991).....	73
26a	Análisis de fertilidad al final del experimento para tratamientos y repeticiones en las parcelas de escorrentia, San Mateo Milpas Altas (1991).....	74
27a	Rendimiento de grano de maíz en kg/ha en los distintos tratamientos en San Mateo Milpas Altas (1991).....	75
28a	Rendimiento de materia seca de zacatón (<i>Panicum maximum</i>) en kg/m en los tratamientos de acequia con barrera viva y barrera viva en San Mateo Milpas Altas (1991).....	75
29a	Reducción de la pendiente en porcentaje (%) observado en el quinto año de evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en los distintos tratamientos y repe-	

CUADRO.

TITULO

Pág.

306

tuciones en San Mateo Milpas Altas (1991).....	75
Costo de producción para una hectárea de maíz en San Mateo Milpas Altas, 1991.....	76

EVALUACION DE TRES PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS DENTRO DE LA
SUBCUENCA DEL RIO PENSATIVO, SACATEPEQUEZ; DE 1987 A 1991.

EVALUATION OF THREE SOIL CONSERVATION METHODS IN THE PENSATIVO
RIVER WATERSHED, SACATEPEQUEZ; SINCE 1987 TO 1991.

RESUMEN.

La presente investigación constituye la fase final del proyecto de evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la subcuenca del río Pensativo, Sacatepéquez; que impulsó la Facultad de Agronomía a través del Instituto de Investigaciones Agronómicas y de la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Estas instituciones iniciaron una serie de evaluaciones de tres prácticas de conservación de suelos: barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) con acequia, camellones en contorno con acequia y sólo barrera viva de zacatón (*P. maximum*) comparadas con el manejo tradicional del área; en busca de una solución a los problemas de erosión en la mencionada subcuenca. Dichas evaluaciones se iniciaron en 1987 y para ello se instaló un experimento en un diseño bloques al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones, en San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala, Sacatepéquez; cuyas unidades experimentales fueron parcelas de escorrentía. Hasta 1990 se realizaron cuatro evaluaciones, dos en condiciones del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y dos en condiciones del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); éstos cultivos se realizaron en forma alterna.

Los objetivos de la presente investigación fueron: evaluar las tres prácticas de conservación de suelos cinco años después de su establecimiento y su efecto en el periodo de 1987 a 1991. Para el logro del primer objetivo se cuantificó el agua de escorrentía y los sedimentos producidos, así como el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.); a éstos datos se les realizó un análisis de varianza y en los casos en que se encontraron diferencias significativas se practicó una prueba de medias. En el caso de la evaluación de las prácticas de conservación en el periodo de 1987 a 1991 se realizó un análisis gráfico de los resultados de las cinco evaluaciones, así como la evaluación de

la reducción del porcentaje de pendiente media y un análisis de beneficio-costo para cada tratamiento durante el período.

Los resultados obtenidos en la quinta evaluación indican que en condiciones del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), las prácticas más efectivas para el control de la erosión hídrica fueron los tratamientos de barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) con acequia y camellones en contorno con acequia y en cuanto a rendimiento no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, aunque con el manejo tradicional se obtuvo el menor rendimiento.

En cuanto a la evaluación de las tres prácticas de conservación en el período de 1987 a 1991 se logró determinar que los tratamientos de barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) con acequia y camellones en contorno con acequia fueron efectivos para el control de la erosión hídrica desde su establecimiento mientras que la efectividad de la barrera viva de zacatón (*P. maximum*) aumentó con el transcurso del tiempo y tendió a ser igual a los dos anteriores. En cuanto a rendimiento sólo en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se manifestó una tendencia a ser superior con el uso de prácticas de conservación de suelos. Por medio del análisis beneficio-costo aplicado se encontró que el tratamiento de barrera viva de zacatón (*P. maximum*) con acequia produce mayores beneficios económicos y con el manejo tradicional del cultivo se obtienen menores beneficios.

1. INTRODUCCION.

Guatemala es un país que cuenta con gran cantidad y diversidad de recursos naturales, que el hombre puede aprovechar para la satisfacción de sus necesidades. Dentro de los recursos naturales se encuentra el suelo, el que debido a la necesidad de su utilización se ha provocado su deterioro principalmente por efectos de la erosión.

En el altiplano de Guatemala, la situación es crítica, ya que la mayor parte de la tierra es de vocación forestal sin embargo se utiliza con fines agrícolas, una de las razones por las que el 32% de los suelos del país tienen susceptibilidad a erosión. Los principales cultivos en esa región son: maíz (*Zea mays* L.), frijol (*Phaseolus vulgaris*); en la actualidad ocupan áreas de importancia hortalizas no tradicionales de exportación. Esto sucede debido a razones culturales y socioeconómicas como lo es el régimen de distribución de la tierra y de los recursos en general; lo que ha causado deterioro de los recursos naturales (25).

Dentro de los recursos naturales afectados se encuentra el suelo, ya que la presión social que se ejerce sobre éste, conjuntamente con la limitación de recursos para la instalación de prácticas de conservación de suelos, expone al mismo a la acción de la erosión hídrica, la que año tras año provoca el arrastre de grandes cantidades de sedimentos en los cauces de las distintas cuencas hidrográficas del país. Este fenómeno afecta la economía de los habitantes de la región de manera directa o indirecta, con el empobrecimiento de los terrenos, constantes desbordamientos y asolvamientos de ríos, y escasés de agua en la época seca.

El problema antes mencionado se presenta en la subcuenca del río Pensativo, Sacatepéquez; en la que las prácticas de conservación de suelos constituyen una alternativa de manejo para el control de la erosión y conservación de agua. Ante esta situación el Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) conjuntamente con la Dirección General

de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala (DIGI) iniciaron una serie de evaluaciones de tres prácticas de conservación de suelos, con el fin de encontrar una práctica de conservación adecuada a la zona.

Estas evaluaciones se iniciaron en 1987 con la instalación de un experimento ubicado en San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala, ya que esta localidad se encuentra dentro de la región crítica de la subcuenca del río Pensativo (2). El experimento consistió en un diseño de bloques al azar con cinco repeticiones y cuatro tratamientos: barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) con acequia, camellones al contorno con acequia, barrera viva de zacatón (*P. maximum*) y un testigo que consistió en la práctica tradicional de cultivo en la zona y sin prácticas de conservación de suelos. Las unidades experimentales fueron parcelas de esorrentía.

En estas evaluaciones se tomó en cuenta la rotación maíz - frijol pues éste es un aspecto tradicional de la agricultura en el área. De 1987 a 1990 se realizaron cuatro evaluaciones con los mismos tratamientos en las mismas parcelas.

En éste contexto se realizó la quinta evaluación de las tres prácticas de conservación de suelos, durante el período de junio a diciembre de 1991 en condiciones del cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

Para poder evaluar la efectividad de las prácticas de conservación de suelos se analizaron las siguientes variables: volumen de escurrimiento superficial, cantidad de suelo erosionado, características de los sedimentos, rendimiento de grano de maíz (*Zea mays* L.). Los resultados de las cinco evaluaciones se analizaron gráficamente. También se evaluó la modificación del porcentaje de pendiente por el efecto del uso de las prácticas de conservación de suelos y se realizó un análisis de beneficio-costos para cada tratamiento en el período de evaluación.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La necesidad de la utilización de los recursos naturales renovables de la parte alta y media de la subcuenca del río Pensativo, principalmente dentro de las áreas críticas, ha provocado una degradación continua del recurso suelo, debido en parte a la falta de implementación de prácticas de conservación de suelos por razones como limitación del área de los terrenos y económicas de sus habitantes.

En el periodo de 1976 a 1983 se invertían en promedio Q. 55,000.00 (a precios de 1985) para la extracción de un volumen promedio de 4000 m³ de sedimentos por año en el cauce del río que se encuentra en la entrada de la ciudad de Antigua Guatemala (2), además en años anteriores se han reportado inundaciones por el desbordamiento del río Pensativo en las calles y habitaciones de la ciudad.

Según Cabrera (2) la subcuenca del río Pensativo presenta una degradación anual de 64000 TM y se estima que se pierden 1134 kg de fósforo al año por la acción de la erosión hídrica lo que equivale a 50 quintales de triple superfosfato desperdiciados.

Debido a la situación anterior se hace necesario formular alternativas de solución al problema tendientes a reducir la cantidad de sedimentos arrastrados, las inundaciones en la parte baja de la cuenca y el empobrecimiento y pérdida física de suelo en los terrenos en la parte alta de la cuenca.

La presente investigación pretende encontrar una práctica de conservación de suelos que reduzca o minimice a la erosión hídrica y que le sea rentable al agricultor del área en base a una quinta evaluación de tres prácticas de conservación de suelos y a las cuatro evaluaciones anteriores.

3. MARCO TEORICO.

3.1. MARCO CONCEPTUAL

3.1.1. Erosión Hidrica.

La erosión hidrica es el proceso que consiste en el desprendimiento del suelo o fragmentación de roca y su arrastre, por acción del agua (5,6).

A. Procesos de la Erosión Hidrica.

La erosión consta de los siguientes procesos:

a. Separación o liberación de partículas o grupos de ellas de la masa principal del suelo.

b. Movimiento, transporte o remoción de las partículas de suelo de su posición original.

c. Sedimentación, que ocurre cuando se presentan cambios de pendiente o algún obstáculo que disminuye la velocidad de escurrimiento y así su capacidad de arrastre (5,19,24).

B. Tipos de Erosión Por el Agua.

La erosión causada por el agua puede manifestarse en distintas maneras, y dentro de ellas se tiene:

a. Chapoteo o batido.

Consiste en la dispersión de pequeñas partículas por la acción de las gotas de agua que causan desprendimiento y movimiento debido a las fuerzas y cantidad de lluvia que golpean al suelo (5,19).

b. Erosión laminar.

Es aquella que produce la eliminación o transporte de capas de suelo en forma uniforme.

c. Flujo canalizado

Esta consiste en la formación de canales que con el transcurso del

tiempo y la acción del agua se convierten en cárcavas por la concentración de agua en lugares bajos (5).

3.1.2. Factores de la Erosión y la Escorrentía.

A. Tipo de Suelo.

Cada tipo de suelo tiene un comportamiento diferente dependiendo de sus características.

Dentro de las principales características que influyen en la erosión hídrica están:

a. Profundidad del Suelo.

Los suelos poco profundos tienen poca capacidad de almacenamiento de agua y ocurre lo contrario con los suelos profundos, por lo que en los primeros se inicia más rápidamente el escurrimiento de agua y el arrastre de partículas (7).

b. Velocidad de Infiltración.

Los suelos con baja velocidad de infiltración no son capaces de absorber agua tan rápidamente como cae en él, y el exceso debe correr sobre la superficie. Los suelos de textura gruesa poseen altas velocidades de infiltración debido a su buen drenaje y alta permeabilidad, por lo que su potencial de escurrimiento es bajo; por el contrario, en los suelos de textura fina, el potencial de escurrimiento es alto. Otros factores que limitan la velocidad de infiltración son: el contenido de humedad del suelo, la estructura y el contenido de materia orgánica (5,15,19).

UNIVERSIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

B. Pendiente.

Los factores de la pendiente que favorecen la erosión del suelo son: grado y longitud.

A mayor inclinación de la pendiente existirá mayor velocidad del

agua y aumento de su capacidad de transporte (6).

Los terrenos con pendientes moderadas, de gran longitud, pueden sufrir una mayor erosión que los que tienen altos grados de pendiente y corta longitud, pues la longitud influye en la velocidad y volumen de escorrentía (6,19).

C. Precipitación Pluvial.

Las lluvias ejercen un efecto mecánico sobre los agregados del suelo, debido a su impacto se desprenden las partículas del suelo exponiéndolas a la acción de arrastre de la escorrentía. Las gotas del agua caen con una velocidad aproximada de 9.14 m/s y 1 Ha-cm de agua pesa 100 kg y es capaz de ejercer una fuerza erosiva de 414.8 kg-m de energía cinética (5).

La cantidad de escorrentía a partir de una lluvia depende de: las condiciones de humedad del suelo al comienzo de la lluvia y las características de la lluvia tales como: precipitación, intensidad y frecuencia (22).

a. Cantidad de lluvia.

Al incrementarse la precipitación en cada lluvia se inicia el escurrimiento superficial y el arrastre de partículas desprendidas por el impacto de lluvia (22).

La cantidad de lluvia necesaria para que se produzca escorrentía, varía de un lugar a otro. Apolo (1) encontró que la cantidad de agua necesaria para que exista escorrentía superficial es de 5.5 mm en ausencia de buena cobertura vegetal, en condiciones de La Suiza, Turrialba, Costa Rica. Estudios realizados en la subcuenca del río Pensativo determinaron que solo las lluvias mayores de 5 mm provocan escurrimiento (18,20).

b. Intensidad (lámina de agua por unidad de tiempo).

Es el factor pluviométrico más importante que influye en la escorrentía y la erosión (24).

Las lluvias intensas de corta duración, causan mayor escurrimiento superficial, que las lloviznas que generalmente duran mucho tiempo (6).

Revolorio (21) encontró un coeficiente de correlación lineal de 0.88 entre la intensidad promedio de las lluvias con el porcentaje de escurrimiento y la cantidad de sedimentos arrastrados, para un suelo cultivado con maíz (*Zea mays* L.) sin técnicas de conservación de suelos. En las condiciones de la subcuenca del río Pensativo, Sacatepéquez; precipitaciones mayores de 20 mm y con una intensidad media entre 15 a 16 mm/hora se produce arrastre de partículas (18,20).

c. Frecuencia.

Cuando los intervalos de tiempo entre las lluvias son cortos, aumenta el contenido de humedad del suelo, por lo que crece la probabilidad de escorrentía, incluso con lluvias de baja intensidad.

La infiltración del agua en el suelo tiene menor velocidad si los espacios capilares se han llenado con agua por una lluvia previa, y la misma no puede continuar libremente si la percolación no ha removido el agua de las capas superiores del suelo (15).

D. Cobertura Vegetal.

Los cultivos que cubren el suelo y con raíces fibrosas tienden a mantener el suelo en su lugar, reducen la erosión, debido a que la cubierta vegetal protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, y los tallos ejercen un obstáculo físico a la escorrentía superficial (7,24).

Según Sánchez (23), en una zona de pasto se tiene menor erosión (83 veces menos) y menor escurrimiento que en un lote sin cubierta

vegetal. Apolo (1), indica que por efecto de una cubierta de pasto se tiene una pérdida de sedimentos de 1900 kg/ha/año, considerada baja.

E. Factor Socioeconómico.

La erosión no solo es un problema físico, también es un problema socioeconómico, pues resulta de una inadecuada relación entre el hombre y el suelo en la mayoría de los casos. El hombre extrae del suelo en forma directa o indirecta materiales para su protección y alimentación, por lo que su relación con el territorio que habita es vital (22).

Existen diversas circunstancias como: distribución de la población y los terrenos agrícolas, la estabilidad de los precios de los productos agrícolas, el grado de educación del agricultor, las vías de comunicación, etc., que explican el uso y manejo inadecuado del suelo y como consecuencia la magnitud y características de la erosión en la región (24).

3.1.3. Prácticas de Conservación de Suelos.

Las prácticas de conservación de suelos están encaminadas a la reducción del efecto de separación y/o transporte. Cuatro son los principios fundamentales para la reducción de la erosión hídrica:

- Proteger la superficie del impacto de las gotas de lluvia.
- Evitar el escurrimiento en un conducto estrecho.
- Obstaculizar el movimiento del agua para que escurra lentamente.
- Favorecer la infiltración del agua en el suelo (5,19).

Las prácticas de conservación de suelos pueden ser culturales o mecánicas.

A. Prácticas Culturales.

Son procedimientos que tienen como objetivo obtener una cobertura

adecuada y lograr el fortalecimiento de las características deseables del suelo para reducir la erosión (24).

a. Utilización de la tierra de acuerdo a su capacidad de uso.

Escoger el uso de las distintas clases de tierra en una unidad agrícola es la primera y más importante acción que ha de ejecutarse para el laboreo y conservación de los suelos (6,7,26).

Escoger la utilización de cada lote de tierra, consiste en decidir la ubicación de ciertas plantas o cultivos en campos en que se consideren adecuados. La distribución de los cultivos debe establecerse de acuerdo a la capacidad de uso de la tierra en base a una clasificación agrológica (6,7,24).

b. Siembras en Contorno.

Las siembras en contorno consisten en colocar las hileras de siembra y verificar las labores culturales en forma transversal a la pendiente (24).

El transporte del suelo es reducido debido a que el cultivo constituye un obstáculo físico a la escorrentía y disminuye su velocidad y capacidad de arrastre (5,25).

La práctica es efectiva cuando las lluvias son ligeras y las laderas son cortas y con inclinación pequeña y uniforme (7,19).

c. Cultivos en Fajas.

El cultivo en fajas, consiste en la colocación de cultivos en fajas de ancho variable de manera que cada año se alternen cultivos que ofrezcan poca protección al suelo con otros de crecimiento denso. Puede consistir en una práctica compleja combinándola con el cultivo en contorno, rotaciones de cultivo y terrazas (5,6,24).

El ancho de las fajas varía con el grado y longitud de la pendiente del suelo, peligro a que éste sufra erosión, clase y disposición de los

cultivos en rotación, características de las lluvias y equipo agrícola empleado. En regiones húmedas se utilizan fajas de 18 a 45 m de ancho (6,7,24,26).

El cultivo en fajas se adapta a terrenos con pendientes largas y regulares (19).

d. Barreras Vivas.

Las barreras vivas son hileras de plantas perennes de crecimiento denso sembradas en contorno y a distanciamiento horizontal variable. El fin de la barrera viva es reducir la velocidad de escorrentía y detener el suelo (7).

Las barreras vivas pueden emplearse en cultivos densos, limpios o semibosque. Cuando se utilizan en cultivos limpios, deben colocarse con una separación menor que cuando se utilizan en cultivos densos o semibosque (7).

e. Rotación de Cultivos.

Es una sucesión recurrente y mas o menos regular de diferentes cultivos en el mismo terreno (5,24).

Los cultivos que se suceden en la rotación deben tener distintos requerimientos nutricionales, no poseer las mismas susceptibilidades en cuanto a plagas y a enfermedades, y ofrecer grados diferentes de protección al suelo (24).

La rotación de cultivos contribuye a la reducción de la erosión debido a que alterna cultivos limpios con cultivos que proporcionan adecuada cubierta vegetal al suelo, además las plantas de cobertura condicionan al suelo para que éste resista la erosión en cultivo limpio (7).

f. Plantas de Cobertura y Abonos Verdes.

Las plantas de cobertura se utilizan para proteger al suelo del impacto directo de las gotas de lluvia y mejorar las condiciones físicas

y químicas para el crecimiento del cultivo posterior. Cuando éstas plantas se entierran se denominan abonos verdes y contribuyen con el aumento de materia orgánica del suelo, la que favorece la agregación y capacidad de retención de humedad en el mismo (6,26).

g. Labranza de Conservación.

Se ha demostrado que el laboreo excesivo puede ser la causa de la erosión y pérdida de la humedad en el suelo. La labranza de conservación se refiere al uso de pocas operaciones, comparadas con las convencionales (5,6).

La labranza de conservación deja residuos vegetales sobre el suelo, o bien consiste en la abertura de franjas angostas en el suelo para plantar el cultivo. Esta labranza tiene las ventajas de reducir: la compactación del suelo, tiempo, energía y erosión; sin embargo posee las desventajas de aumento de problemas de malezas, plagas y enfermedades; se requiere de mas semilla por unidad de área y se adapta mejor a cultivos con semillas grandes (5,7).

En Nigeria, se comprobó que con labranza de conservación se produce un aumento de producción de garbanzo (*Vigna unguiculata*) en un 39% más que el sistema tradicional (5).

B. Prácticas Mecánicas.

Son estructuras que conllevan el uso de implementos agrícolas y el movimiento de tierra para su construcción. Se utilizan con el fin de reducir el escurrimiento superficial y evitar la erosión en terrenos con pendiente (24).

a. Canales de desviación.

Son estructuras que sirven para evacuar volúmenes considerables de agua o desviarla de su curso natural (24).

Los canales de desviación cortan el flujo de agua de escorrentía y

la conducen a lugares protegidos para evitar el daño en el terreno (24,26).

b. Terrazas.

Son terraplenes o camellones, o combinación de bordos y canales, contruidos en forma perpendicular a la pendiente, con el objetivo de interceptar y evacuar la escorrentia de tal manera que facilite sus infiltración y controle la erosión (6,7).

Existen varios tipos de terrazas y dentro de ellas se pueden mencionar:

i. Terrazas de banco: se utilizan en laderas muy inclinadas y cuando los terrenos para la producción de cultivos son muy limitados (5,6,19).

ii. Terrazas de base amplia: consiste en un bordo de tierra ancho y bajo, que cruza perpendicularmente la pendiente; la inclinación del terreno para su uso no debe pasar del 12% para la obtención de resultados efectivos (6,19).

En Estados Unidos se han reportado pérdidas mayores de suelo en terrenos con cultivos en contorno sin terrazas que en otros en que si existen terrazas en una proporción 6:1 (7).

c. Acequias.

Son zanjas de 0.30 m de ancho con taludes cuya inclinación depende de la textura del suelo y con profundidad y pendientes variables. Se construyen a distancias regulares de acuerdo con la pendiente y el uso del terreno. En el borde superior de la acequia se puede utilizar barrera viva, con el objetivo de filtrar el agua que llegue al canal y de esa manera disminuir la cantidad de material que en él se deposite (24).

La construcción de acequias se recomienda en zonas de lluvias intensas y en áreas con suelo pesado, poco permeable (24).

3.2. MARCO REFERENCIAL.

3.2.1. Ubicación del Area de Estudio.

San Mateo Milpas Altas es una aldea de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, se encuentra ubicada a 14°34'45" latitud norte y a 90°41'46" longitud oeste, a una altitud de 1910 msnm (ver figura 1) (9).

San Mateo Milpas Altas está constituida por un área representativa de las condiciones topográficas del altiplano guatemalteco y se encuentra dentro de la región crítica de erosión de la subcuenca del río Pensativo, debido a las pendientes predominantes en los terrenos y a la presión demográfica sobre los recursos (2).

3.2.2. Descripción del Area de Estudio.

A. Suelos.

Los suelos se desarrollan sobre materiales piroclásticos aéreos (Qpa) que son producto de la sedimentación eólica de pomez y cenizas con altos contenidos ferrosos (2).

San Mateo Milpas Altas se encuentra ubicada en la región fisiográfica de Tierras Altas Volcánicas, gran paisaje de las Montañas de Sumpango-Milpas Altas y paisaje de Terrazas Altas Erosionadas (2).

Según Revolorio (21) los suelos del área experimental son bien drenados, medianamente profundos, de color pardo oscuro amarillento, con horizontes en el perfil: Ap, AC, 2B y 2C. Las características de los horizontes superiores: Ap y AC son: textura franco arenosa, estructura granular fina, débilmente desarrollada; consistencia suave en seco y suelta en húmedo, con bajo contenido de materia orgánica, alto porcentaje de saturación de bases y 18.45 meq/100 ml de capacidad de intercambio catiónico. La pendiente predominante del terreno es del 32% y suelo con alto grado de deterioro ya que horizonte A ha desaparecido



FIGURA 1. Localización de la Cuenca del Rio Pensativo a Nivel Nacional y del Sitio Experimental Dentro de la Cuenca.

MAPA REPUBLICA DE GUATEMALA SIN ESCALA

CUENCA ESCALA: 1:75,000

en algunas partes.

B. Zona de Vida y Clima.

Según De La Cruz (3) el área pertenece a la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical.

La precipitación promedio anual es de 1000 mm, con una temperatura máxima 22.4°C, una mínima de 12.8°C y una media anual de 16.5°C. La evapotranspiración potencial por el método de Haergreaves es de 1400 mm, la humedad relativa del 80% y 180 horas de brillo solar medio mensual (10).

3.2.3. Descripción del Material Experimental.

A. El Experimento.

En el año de 1987 el Instituto de Investigaciones Agronómicas (IIA) en coordinación con la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala (DIGI), en busca de una solución alternativa para los problemas de erosión en la subcuenca del río Pensativo, inició una serie de evaluaciones de tres prácticas de conservación de suelos: acequia con barrera viva, camellones al contorno con acequia y barrera viva; comparadas con un testigo que consistió en el manejo tradicional del cultivo en el área.

Para poder realizar las evaluaciones se instaló un experimento en un diseño bloques al azar con cinco repeticiones y cuatro tratamientos, en el que las unidades experimentales fueron parcelas de escorrentía. El experimento se instaló en San Mateo Milpas Altas.

Hasta finales del año 1990 se realizaron 4 evaluaciones (una en cada época lluviosa) de los mismos tratamientos en las mismas parcelas de escorrentía. De las 4 evaluaciones efectuadas 2 se realizaron en condiciones del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y las otras 2 en

condiciones del cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.). Los cultivos de maíz (Zea mays L.) y frijol (P. vulgaris L.) se realizaron de forma alterna, ya que éste es un aspecto tradicional de la agricultura del área.

En 1987 se establecieron las prácticas de conservación de suelos y se evaluaron en condiciones del cultivo de maíz (Zea mays L.). En ésta evaluación las prácticas de acequia con barrera viva y camellones al contorno con acequia fueron las más eficientes para el control de la escorrentía y erosión. En cuanto a rendimiento no se encontraron diferencias significativas (21).

En 1988 se evaluaron las prácticas de conservación de suelos en condiciones del cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.). En tal evaluación las prácticas de acequia con barrera viva y camellones al contorno con acequia fueron las más eficientes para el control de la escorrentía y erosión. Sin embargo, las cantidades de agua escurrida y de suelo erosionado fueron menores, comparadas con la primera evaluación, a pesar de que la cantidad de precipitación pluvial fué mayor que 1987. En cuanto a rendimiento no existieron diferencias significativas entre los tratamientos (18).

En el año de 1989, los resultados de la evaluación en condiciones del cultivo de maíz (Zea mays L.) fueron similares a los resultados de 1987, sin embargo la cantidad de escurrimiento fué comparativamente mayor y la cantidad de sedimentos erosionados fué menor, ésto se le atribuyó a que durante la época lluviosa de ese año las precipitaciones fueron de baja intensidad pues no sobrepasaron los 9.2 mm/hora de intensidad media (13).

La cuarta evaluación de las prácticas de conservación de suelos, en 1990, se realizó en condiciones del cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.), en la que se encontraron resultados similares a la segunda

evaluación en cuanto a volumen de escorrentía y cantidad de sedimentos. En cuanto a rendimiento se encontraron diferencias significativas, y se obtuvieron mejores rendimientos en los tratamientos con prácticas de conservación de suelos, mientras que el testigo mostró el menor rendimiento, aunque en determinadas condiciones el rendimiento del testigo podría ser igual, estadísticamente, al rendimiento obtenido en el tratamiento de barrera viva (20).

B. Características del Zacatón (*Panicum maximum*).

El zacatón es una gramínea, de hábito herbáceo, matorral y perenne. Puede alcanzar de 0.8 a 2.5 m de altura. Posee raíces largas y nudosas, dichas nudosidades le confieren cierta resistencia a la sequía. Es tolerante a la sombra y al fuego. Crece en zonas entre los 1000 a 1800 msnm.

El zacatón es una planta de rápido crecimiento, y se considera un forraje excelente para bovinos, pero no para equinos. Se ha establecido con éxito en mezcla con varias leguminosas por ejemplo: *Centrosoma pubescens* y *Stilantes guianensis* (8,12).

4. OBJETIVOS

4.1. GENERALES.

4.1.1. Evaluar el efecto de tres prácticas de conservación de suelos, cinco años después de su establecimiento.

A. Objetivos Especificos.

a. Cuantificar el escurrimiento superficial, la erosión y conocer las características de los sedimentos arrastrados por la precipitación pluvial en la época lluviosa del año de 1991 en San Mateo Milpas Altas.

b. Determinar la efectividad para controlar la erosión hídrica de tres prácticas de conservación de suelos en condiciones del cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

c. Determinar el efecto de tres prácticas de conservación de suelos sobre los rendimientos del cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

4.1.2. Evaluar el efecto de tres prácticas de conservación de suelos en el periodo de 1987 a 1991.

A. Objetivos Especificos.

a. Evaluar el comportamiento del escurrimiento superficial, erosión y rendimientos de maíz (*Zea mays* L.) o frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) obtenidos en cinco evaluaciones de tres prácticas de conservación de suelos en el periodo de 1987 a 1991.

b. Evaluar las modificaciones en la pendiente del terreno por el efecto del uso de tres prácticas de conservación de suelos.

c. Evaluar el beneficio económico producido por el efecto de tres prácticas de conservación de suelos.

5. HIPOTESIS.

5.1. Quinta Evaluación de tres prácticas de conservación de suelos.

- a. El volumen de escorrentía superficial sin prácticas de conservación de suelos es igual al que se obtiene con el uso de prácticas de conservación de suelos.
- b. La erosión hídrica con el manejo tradicional de los suelos es igual a la que se obtiene con el uso de prácticas de conservación de suelos.
- c. Los rendimientos de grano de maíz (*Zea mays* L.) sin el uso de prácticas de conservación de suelos serán iguales al rendimiento que se obtiene con su uso de ellas.

5.2. Evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en el periodo de 1987-1991

- a. La pendiente media de un terreno no sufre ninguna modificación por el efecto del uso de de prácticas de conservación de suelos.

6. METODOLOGIA.

6.1. DISEÑO DEL EXPERIMENTO.

6.1.1. Tratamientos Evaluados.

Con base en las características de los suelos, características socioeconómicas de la población y agricultura practicada en el área; se seleccionaron los siguientes tratamientos (figuras 2.1 y 2.2):

- a. Acequia de ladera con barrera viva de zacatón (Panicum maximun)
- b. Acequia de ladera con camellones en contorno.
- c. Barrera viva de zacatón (Panicum maximun).
- d. Testigo (sin práctica de conservación de suelos).

Se escogió el zacatón (Panicum maximun) para establecerla como barrera viva debido a que es una planta adaptada a la región, de rápido crecimiento, buen amacollamiento y es utilizada como forraje por los agricultores del área.

6.1.2. Diseño Experimental.

Se utilizó un diseño bloques al azar con cinco repeticiones y cuatro tratamientos, debido a que existe una gradiente de pendiente nororiente-suroccidente.

Modelo Estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

En donde:

Y_{ij} = Variable respuesta de la ij-ésima unidad experimental.

μ = Efecto de la media general.

τ_i = Efecto de la i-ésima práctica de conservación de suelos.

β_j = Efecto del j-ésimo bloque.

ϵ_{ij} = Error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental.

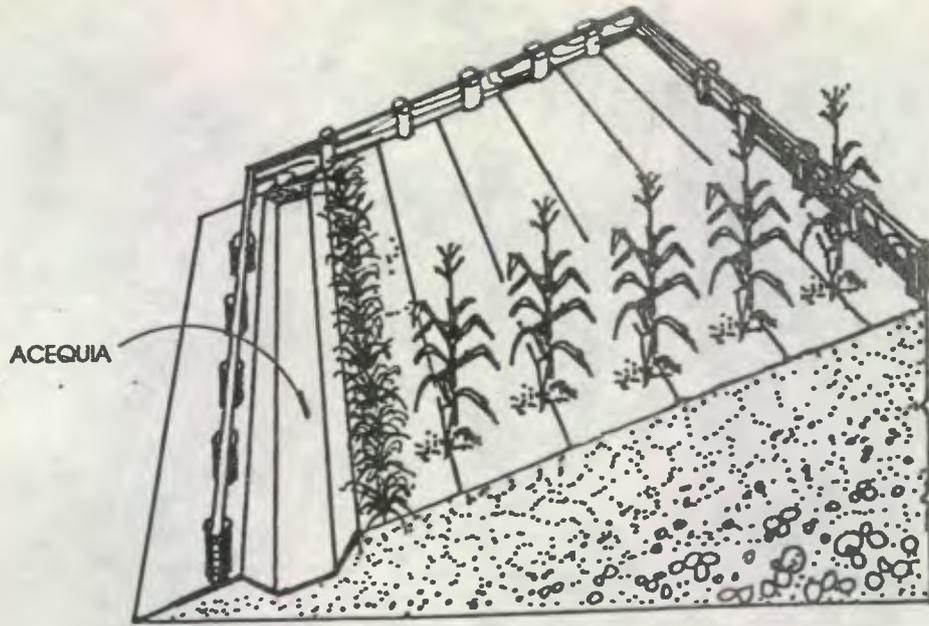


FIGURA 2.1A

Barrera Viva con Acequia



FIGURA 2.1B

Camellones en Contorno con Acequia

FIGURA 2.1 Sección Transversal de los Tratamientos Evaluados

DETALLES SIN ESCALA

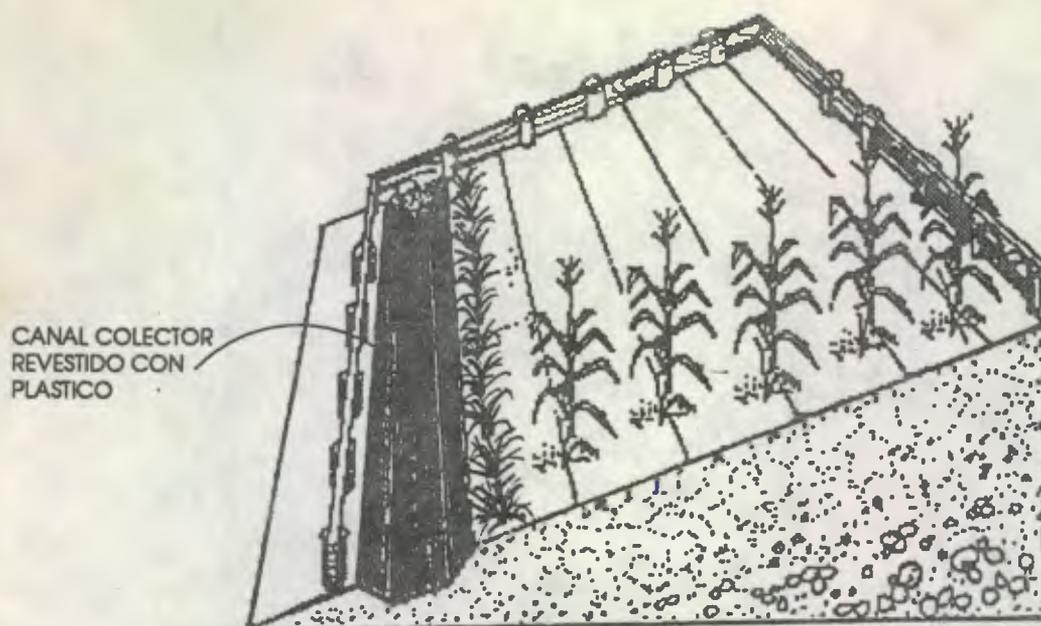


FIGURA 2.2A

Barrera Viva

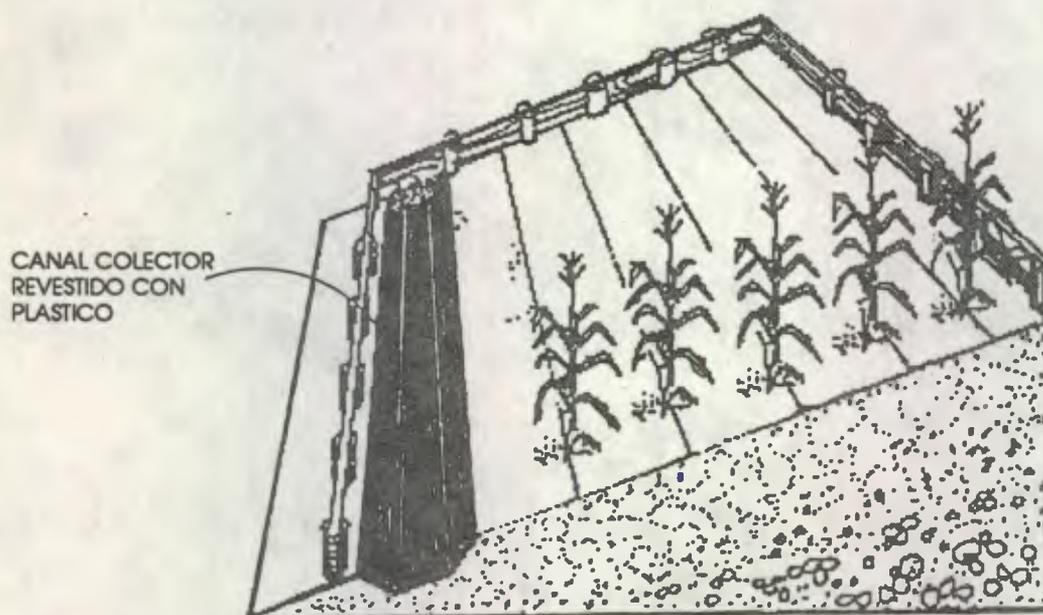


FIGURA 2.2B

Testigo

FIGURA 2.2 Sección Transversal de los Tratamientos Evaluados

DETALLES SIN ESCALA.

6.1.3. Unidad Experimental.

Como unidad experimental se utilizó una parcela de escorrentía (figura 3) con un área de 49 m² (1,18,20,21).

6.1.4. Manejo del Experimento.

A. Confinamiento de las Parcelas.

Debido a que el método utilizado para estimar la escorrentía y la erosión hídrica fué el de parcelas de escorrentía, los lotes fueron aislados con tablas de madera de segunda (lepa) de 0.25 m de ancho, enterradas a una profundidad de 0.15 m. y fijadas con estacas de madera de 1 m de largo y 0.05 m de diámetro. Para la rehabilitación de las estructuras de confinamiento se reemplazaron las lepas y estacas en estado de deterioro.

B. Sistema Colector de Agua y Sedimentos.

a. Canal Colector.

En la parte inferior de las parcelas de escorrentía se construyeron zanjas trapezoidales de 0.30 m de base y 0.30 m de altura, éstas fueron recubiertas con plástico negro en los tratamientos de barrera viva y testigo, en los otros dos tratamientos la zanja funcionó como acequia por lo que no fueron recubiertas para tomar en cuenta el efecto de infiltración.

Para la colocación del plástico se abrieron zanjas pequeñas, de 0.10 m de ancho y 0.10 m de profundidad a 0.10 m abajo del tratamiento evaluado, en estas zajas se enterró el plástico enrollado en varas de madera para fijarlo en la parte superior del canal colector. El plástico se clavó en la estructura de confinamiento por medio de tachuelas para fijarlo en la parte inferior y a los lados del canal colector.

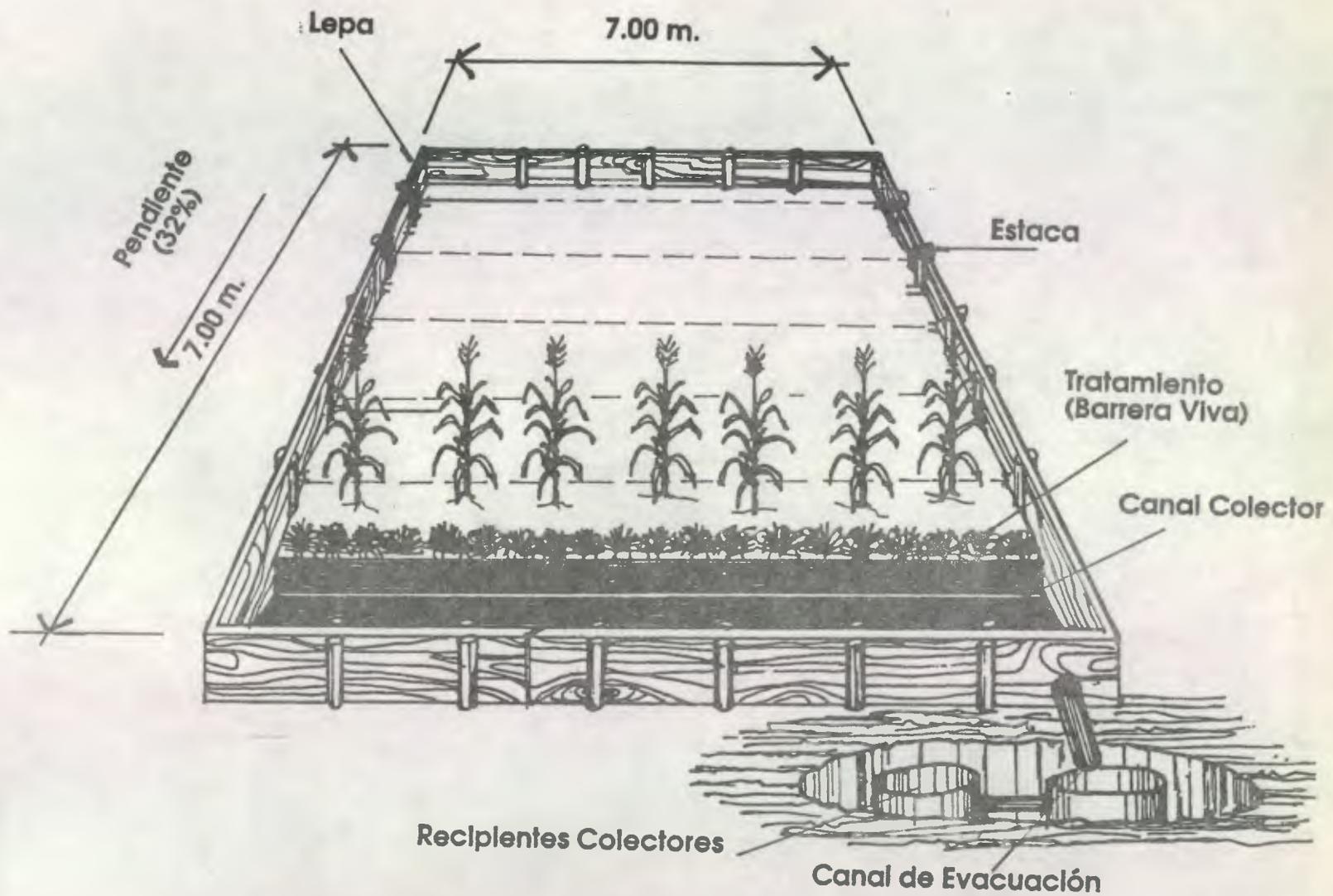


FIGURA 3. Esquema de una Parcela de Escorrentía

DETALLES SIN ESCALA

b. Canales de Evacuación.

Para conducir el agua y los sedimentos de los canales colectores a los recipientes colectores, se utilizaron canales semicirculares de lámina galvanizada de 0.70 m de largo.

c. Recipientes Colectores.

Se utilizaron dos toneles plásticos de 200 litros de capacidad por cada parcela, requerimiento determinado por Revolorio (21) en base al escurrimiento máximo posible del área por el método racional modificado. Cada tonel se colocó en agujeros y con la abertura a una altura de 0.10 m por debajo del canal de evacuación. Los toneles de cada parcela se conectaron por medio de tubo PVC en la parte superior. La rehabilitación de los recipientes colectores consistió en su vaciado y limpieza, así como el reemplazo de toneles en mal estado.

C. Establecimiento y Manejo del Cultivo.

Se sembró maíz (*Zea mays* L.) para lo que se utilizó semilla de la variedad local. Se hicieron cinco surcos por parcela. El establecimiento y manejo del cultivo se realizó de acuerdo a la tecnología empleada por los agricultores de la región, con distancias de siembra de 1 m entre surcos y 0.75 m entre posturas. Se hicieron dos limpiezas (a los 30 y a los 60 días después de la siembra) y una fertilización con fertilizante de fórmula 15-15-15 con dosis de 9 quintales por hectárea a los 60 días después de la siembra (17).

D. Rehabilitación de las Prácticas de Conservación.

Las acequias establecidas fueron de forma trapezoidal con una base de 0.30 m y una altura de 0.30 m. Para la rehabilitación de éstas estructuras se realizó una limpieza de los taludes y del fondo.

La rehabilitación de la barrera viva consistió en un corte de

zacatón (Panicum maximun) al mismo nivel en todas las parcelas con barrera viva.

Los camellones al contorno se construyeron siguiendo la curva a nivel en la fecha de la primera limpia.

6.1.5. Medición de Variables.

A. Medición de la Precipitación Pluvial.

La medición de la precipitación pluvial es de vital importancia ya que ésta es la causante de la erosión hídrica y se consideró como variable debido a que se desconoce el valor de la lámina de agua que se va a precipitar en un evento determinado; para su medición se instaló un pluviógrafo de sifón con banda semanal de 10 mm de altura a 15 metros de distancia de la parte alta del sitio experimental. Del registro del pluviógrafo se obtuvieron los datos siguientes: cantidad de precipitación (mm), tiempo de lluvia (horas), para calcular la intensidad media (mm/hora) de lluvia para cada evento registrado. Para la definición de evento se adoptó el criterio de Wishmeir y Mannering citados por Apolo (1): "evento independiente es toda lluvia separada de otra por un período de 6 horas sin precipitaciones mayores de 1 mm".

La medición de la precipitación pluvial se realizó del 22 de junio al 31 de diciembre de 1991.

B. Escurrimiento Superficial.

La medición se realizó después de cada evento de lluvia que provocó escurrimiento a los recipientes colectores por medio de una regla graduada en milímetros y tablas para calcular el volumen de acuerdo a la forma del recipiente. El escurrimiento superficial se expresó en metros cúbicos por hectárea; también se expresan los resultados en porcentaje, para lo cual se tomó como 100% el volumen total precipitado en las

parcelas de escorrentía de acuerdo a la lámina total registrada por el pluviógrafo. La medición del volumen de agua escurrido se realizó del 5 de julio al 31 de diciembre de 1991.

C. Suelo Erosionado.

El suelo erosionado se cuantificó tomando en cuenta los sedimentos depositados al fondo de los recipientes colectores y sólidos en suspensión al final de cada evento que provocó arrastre de suelo a los recipientes colectores. El material erosionado se expresó en toneladas por hectárea. La medición de ésta variable se realizó del 5 de julio al 31 de diciembre de 1991.

a. Sólidos en Suspensión.

Se tomó una muestra de 1 litro de agua en cada parcela después de cada evento que provocó el arrastre de sedimentos. La muestra de agua fue filtrada en papel filtro, el que después se colocó en un horno de convección a 60°C durante 12 horas, luego se midió el peso de los sólidos en suspensión de cada muestra.

b. Sedimentos.

Para conocer las principales características del suelo erosionado se determinó el peso seco de los sedimentos depositados en el fondo de los recipientes colectores y a cada muestra se les efectuaron los análisis siguientes:

Granulometría; por el método del hidrómetro de Bouyucos (4).

Fragmentos mayores de 2 mm; método gravimétrico (4).

Elementos Extraíbles; método de Carolina del Norte (4).

Como complemento a éstos análisis, se realizaron muestreos de suelo en cada parcela para determinar los elementos extraíbles al inicio y al final del experimento.

D. Rendimiento del Cultivo.

Se midió el peso del grano de maíz (*Zea mays* L.) a un porcentaje de humedad del 14%. La parcela neta fue de 15.75 m², para lo que se eliminó un surco a ambos lados y una planta en los extremos. El rendimiento se expresó en kilogramos por hectárea.

E. Rendimiento de Zacatón (*Panicum maximum*).

Se realizaron dos cortes de zacatón (*Panicum maximum*) en los que se tomó una muestra de 1 m² en la parte central de la barrera en los tratamientos de barrera viva con acequia y barrera viva. La muestra tomada se secó al aire y luego se tomó una submuestra de ella, la que se pesó y se llevó al horno en dónde se sometió a una temperatura de 60°C durante 24 horas para obtener el peso de materia seca. El rendimiento de zacatón (*P. maximum*) se expresó en kg/m de barrera viva.

F. Modificación de la Pendiente del Terreno.

Luego de finalizar la cosecha se realizó una nivelación compuesta en todos los tratamientos y repeticiones y para ello se utilizó un nivel de precisión, cinta métrica y estadal. Con los datos recabados se obtuvo un perfil promedio para cada tratamiento y se calculó la pendiente media final en porcentaje. Para estimar la pendiente media original, en porcentaje, se midieron las cotas de la parte alta y baja de la parte externa de cada parcela de escorrentía.

Para medir la modificación de la pendiente se calculó la diferencia entre los porcentajes de pendiente media original y de la pendiente media final.

6.2. ANALISIS DE LA INFORMACION.

Para el escurrimiento superficial, cantidad de suelo erosionado y

rendimiento del cultivo se realizó un análisis de varianza (ANDEVA). En el caso de la variable de la modificación del porcentaje de pendiente del terreno, previo al ANDEVA se realizó una transformación angular de los datos con la función arcoseno (16).

En los casos en que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, se efectuó una prueba de medias para lo que se utilizó el comparador Tukey.

Se efectuó un análisis de beneficio-costos para los tratamientos en el periodo de 1987 a 1991, para lo que se tomaron en cuenta los beneficios tangibles e intangibles y para efectos de comparación se actualizaron los beneficios tangibles a 1987 (11,14).

Los resultados de la presente investigación en los aspectos de cantidad de suelo erosionado, y escurrimiento superficial se compararon por medio de un análisis gráfico con los resultados de las cuatro investigaciones anteriores.

Los resultados del rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) de los años de 1987, 1989 y 1991 y del rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) de los años de 1988 y 1990, se analizaron gráficamente.

7. RESULTADOS Y DISCUSION.

7.1. QUINTA EVALUACION DE TRES PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS.

7.1.1. Precipitación Pluvial.

A. Precipitación Pluvial Mensual.

En el cuadro 1 se comparan las precipitaciones mensuales de los años en que se evaluaron las prácticas de conservación de suelos (de 1987 a 1991). Además aparecen los promedios de la cantidad de precipitación pluvial mensual, para los últimos diez años de registro de la estación Florencia, Santa Lucía Milpas Altas.

Se puede observar que los años de 1990 y 1991 fueron más secos, que los otros años de estudio, y en general comparados con el promedio de diez años. A diferencia de los otros años, en 1991 la precipitación se concentró en el mes de junio y en el mes de octubre y comparativamente fue menor en los meses de julio, agosto y septiembre, debido al efecto que tuvo la "Corriente del Niño" en la zona en 1991. Durante los últimos días del mes de septiembre y los primeros del mes de octubre se registraron las mayores precipitaciones e intensidades del año. La cantidad de agua precipitada difiere en los registros del mes de junio debido a que en los cinco años de evaluación éstos se iniciaron en fechas diferentes.

En la figura 4 se comparan las precipitaciones mensuales promedio de 10 años y del año 1991, allí se puede notar que en todos los meses la lámina de lluvia fue marcadamente menor en 1991 que el promedio, a excepción del mes de octubre.

Cuadro 1. Precipitación mensual registrada durante los cinco años de evaluación de las prácticas de conservación de suelos (1987 a 1991) y promedio de 10 años de registro.

M e s	A ñ o					
	1987 (mm) ¹	1988 (mm) ²	1989 (mm) ³	1990 (mm) ⁴	1991 (mm)	10 años (mm) ⁵
Junio	171.2	20.3	14.40	48.3	154.9	230.1
Julio	167.7	131.9	137.15	113.8	50.0	188.2
Agosto	63.3	340.6	177.10	50.3	49.2	170.4
Septiembre	129.7	192.7	239.20	203.3	82.6	212.9
Octubre	14.4	197.1	56.20	29.2	119.0	103.2
Noviembre	4.4	2.6	0.00	22.2	11.4	30.8
Diciembre	0.0	0.0	0.00	0.0	5.3	7.0
Total	550.7	885.2	624.05	445.4	472.4	942.6

Fuente: 1/ Revolorio (21). 2/ López (18).
 3/ Herrera (13). 4/ Pineda (20).
 5/ Valores calculados a partir de los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Estación Florencia, Santa Lucía Milpas Altas.

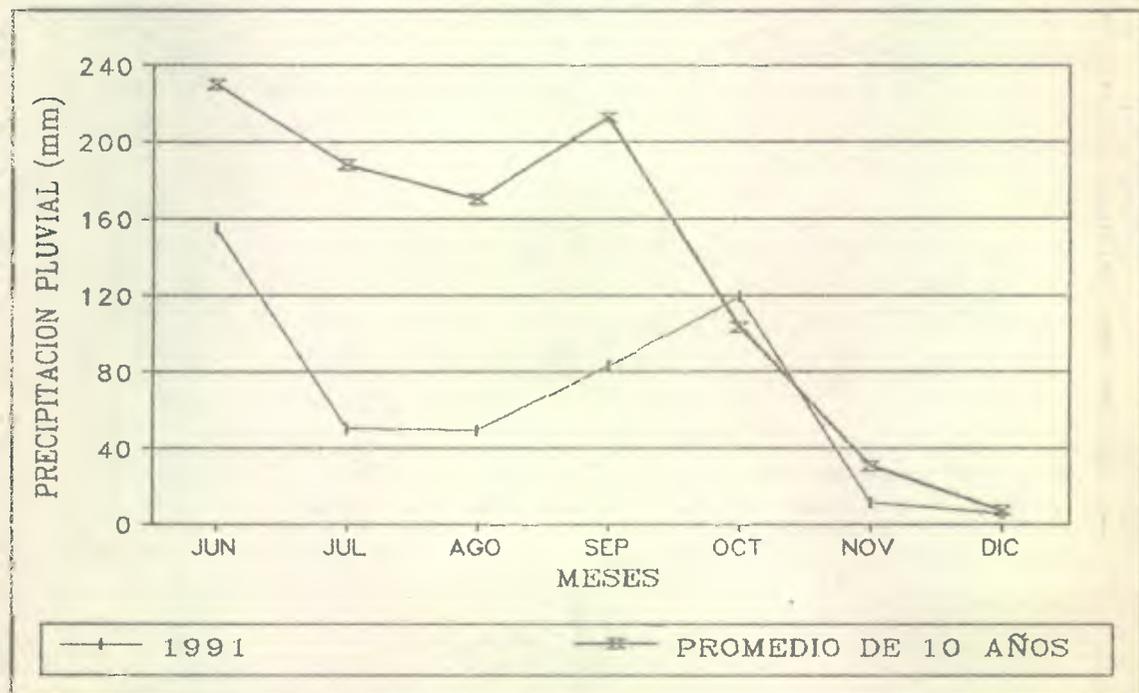


Figura 4. Precipitación Pluvial Mensual de 1991 y Promedio de 10 Años en San Mateo Milpas Altas.

B. Intensidad.

En el cuadro 19a se presenta el listado de eventos de lluvia con sus respectivas láminas e intensidades medias, allí se puede observar que la intensidad media de las lluvias varió de 0.17 mm/hora a 14.8 mm/hora.

La mayor precipitación durante el período de medición ocurrió el 15 de octubre con 35.9 mm y una intensidad de 3.59 mm/hora.

En el cuadro 2 se agrupan los eventos de lluvia en tres clases de intensidades. De acuerdo con éste cuadro, en el año de 1991 la mayoría de eventos presentaron intensidades ligeras y moderadas (95.65%) y la menor cantidad de eventos tuvieron intensidades fuertes (4.35%) (15). Esta distribución fue influenciada por el efecto de la corriente del Niño en Guatemala.

Cuadro 2. Intensidad media y frecuencia distribuidas en tres clases, ocurridas en San Mateo Milpas Altas, del 22 de junio al 31 de diciembre.

Intensidad (mm/h)	Precipitación (mm)	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
0 - 2.5	317.5	67.21	59	85.51
2.5 - 7.6	83.8	17.74	7	10.14
> 7.6	71.1	15.05	3	4.35
T o t a l	472.4	100.00	69	100.0

C. Frecuencia de las Precipitaciones.

En el cuadro 3 se observan las cantidades precipitadas en San Mateo Milpas Altas, durante la época lluviosa de 1991, las cuales se distribuyeron en 5 clases a intervalos de 5 mm. El total de eventos fue

de 69, de los cuales 45 fueron menores de 5 mm y no provocaron escurrimiento superficial, a excepción de una precipitación de 4.4 mm que sí provocó escurrimiento en las etapas iniciales del cultivo.

En el mismo se puede observar que la mayor cantidad de precipitación (53.85%) se concentró en pocos eventos de lluvia (10.14%) y la mayor parte de eventos de lluvia (65.22%) fueron menores de 5 mm; la mayoría de eventos de lluvia se caracterizaron por su baja intensidad.

Cuadro 3. Precipitación pluvial y frecuencia distribuidas en cinco clases de lluvia, ocurridas en San Mateo Milpas Altas, del 22 de junio al 31 de diciembre de 1991.

Lámina (mm)	Precipitación (mm)	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
0 a 5	73.4	15.54	45	65.22
5 a 10	92.0	19.47	13	18.84
10 a 15	22.2	4.70	2	2.90
15 a 20	30.4	6.44	2	2.90
> 20	254.4	53.85	7	10.14
Total	472.4	100.00	69	100.00

Al realizar un análisis de correlación entre el escurrimiento de agua y la lámina precipitada, con el modelo de raíz cuadrada, se obtuvo un coeficiente de correlación de +0.95, el que resultó altamente significativo por lo que se puede decir que el escurrimiento se inició debido a la saturación del suelo. Ocho eventos provocaron arrastre de sedimentos, en el cuadro 4 se observan la cantidad de sedimentos arrastrados y la precipitación para cada caso.

Cuadro 4. Eventos de lluvia que provocaron arrastre de sedimentos en San Mateo Milpas Altas, del 5 de julio al 31 de diciembre de 1991.

No.	FECHA	DDS	pp (mm)	IM (mm/h)	CS (Ton/ha)
1.	18/07/91	48	8.0	2.00	0.1103
2.	05/08/91	66	9.2	1.02	0.0590
3.	30/08/91	91	11.0	1.29	0.0715
4.	22/09/91	114	15.2	1.23	0.3992
5.	25/09/91	117	24.1	4.02	0.0396
6.	05/10/91	127	11.2	1.24	0.0208
7.	15/10/91	142	35.9	3.59	0.3561
8.	22/10/91	149	27.9	1.99	0.1053

Referencias: DDS= Días después de la siembra.
pp = Lámina de lluvia
IM = Intensidad media
CS = Cantidad de sedimentos

En el cuadro anterior se observa que sólo precipitaciones de intensidad media ligera a moderada, pero de lámina considerable, provocaron arrastre de sedimentos. En el mismo cuadro se puede apreciar que el evento de lluvia número 1, de 8 mm, provocó una mayor arrastre de sedimentos que el evento de lluvia número 2, de 9.2 mm (ambos eventos ocurrieron en la etapa inicial del cultivo, en donde la cobertura vegetal no era considerable) lo que puede atribuirse a que el primero tuvo una intensidad media mayor que la del segundo. Por otra parte el evento 4, de 15.2 mm, provocó un arrastre mayor de suelo que el evento 8, de 27.9 mm, a pesar que la intensidad media del primero fue menor que la del segundo; esto puede atribuirse al efecto de la cobertura vegetal, ya que la precipitación de 27.9 mm ocurrió 30 días después de la de 15.2 mm y ya existía un buen desarrollo de las plantas de maíz (*Zea mays* L.) pues durante ese periodo sucedió lo que se conoce como cierre del

cultivo. El evento 7, de mayor lámina e intensidad media (luego del evento 5) provocó el mayor arrastre de sedimentos aunque ya existía un buen desarrollo vegetativo de las plantas de maíz (*Z. mays* L.).

Al realizar un análisis de correlación lineal múltiple entre la cantidad de suelo erosionado y la lámina de lluvia precipitada, la intensidad media y la cantidad de agua escurrida; se encontró un coeficiente de correlación de +0.94, de lo que se puede deducir que la erosión en el año de 1991 estuvo influida por las tres variables mencionadas en un alto grado.

7.1.2. Escurrimiento Superficial.

En la figura 5 se muestran los volúmenes de escurrimiento registrados para cada tratamiento (ver cuadro 20a), allí se observa que el testigo fue el tratamiento en donde se produjo mayor volumen de escorrentía: 94.102 m³/ha, lo que representa el 5.17% del escurrimiento superficial¹; el tratamiento que presentó menor volumen de escurrimiento fue el de barrera viva con acequia 11.124 m³/ha equivalente a 0.61% del escurrimiento superficial.

Con los resultados obtenidos, la relación en cuanto a volumen de escorrentía entre el testigo y el tratamiento de barrera viva mas acequia fue de 8.5:1. Con respecto al tratamiento de camellones al contorno con acequia la relación fue de 6.25:1 y con el tratamiento de barrera viva fue de 1.12:1.

$$1/\% \text{Escurrimiento Superficial} = \frac{\text{Cantidad de Agua Escurrida}}{\text{Cantidad de Agua Precipitada}} \times 100$$

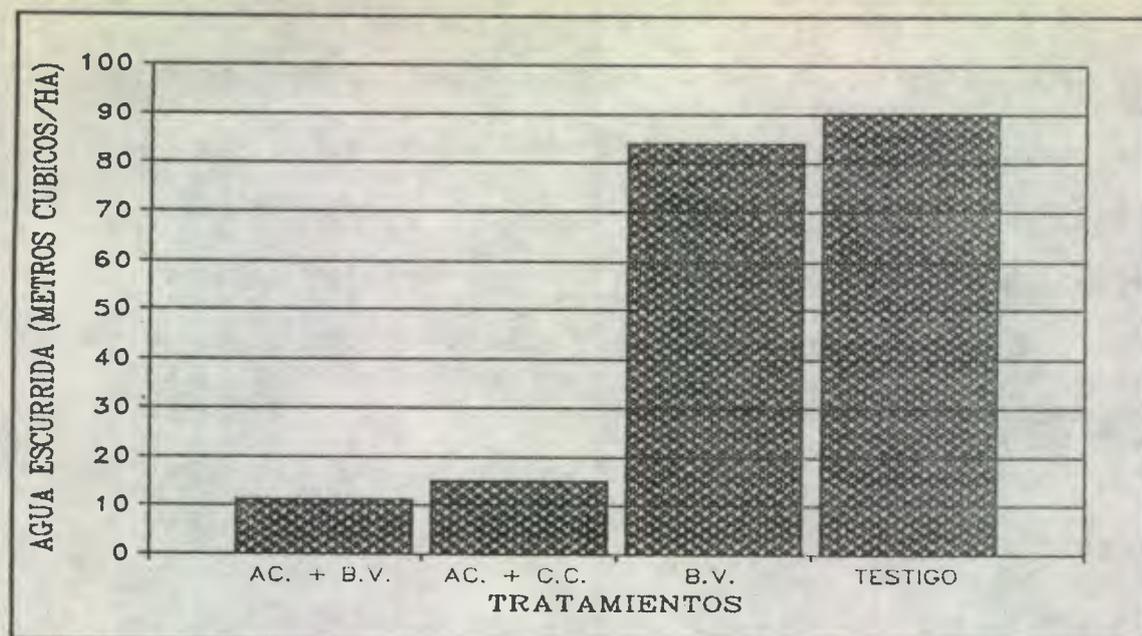


Figura 5. Cantidad de Agua Escurrida por Tratamiento.

En el cuadro 5 se presenta el análisis de varianza para los datos de escurrimiento superficial registrados en la época lluviosa de 1991 (ver cuadro 20a).

Cuadro 5. Análisis de varianza para el escurrimiento superficial (m^3/ha), 1991.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.
Bloques	4	590.9174		
Tratamientos	3	29108.9580	9702.9860	254.77**
Error	12	457.0297	38.0858	
Total	19	30156.9051		

Referencias:

**/ Significativo al 0.01 de nivel de significancia.

C. V. = 12.10%

Según el análisis de varianza existieron diferencias altamente significativas entre los tratamientos evaluados, por lo que se procedió a realizar una prueba de medias, para lo que se utilizó el comparador

Tukey cuyos resultados se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6. Prueba de Tukey para el volumen del escurrimiento superficial.

Tratamiento	Escurrimiento (m ³ /ha)	Tukey al 0.01 de nivel de significancia.
Testigo	94.102	a
Barrera Viva	83.836	a
Camellón + Acequia	15.004	b
Barrera viva + Acequia	11.124	b

Referencia: Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales.

De acuerdo con la prueba de Tukey, se establece que el escurrimiento fue mayor en el testigo, y éste fue estadísticamente igual al escurrimiento ocurrido en el tratamiento de barrera viva. El menor volumen de escurrimiento superficial lo presentaron los tratamientos de camellón con acequia y barrera viva con acequia, los que fueron estadísticamente iguales.

Los tratamientos de barrera viva con acequia y camellón con acequia controlaron el escurrimiento superficial y la barrera viva no logró un control significativo sobre el escurrimiento superficial en condiciones del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), comparados con el escurrimiento ocurrido en el testigo.

A partir del principio de igualdad de condiciones en que se manejaron los tratamientos, se puede estimar que la diferencia entre el volumen del agua escurrida en el tratamiento de barrera viva y el de barrera viva con acequia (72.712 m³/ha) fue retenido por la acequia, de la cual parte habría de infiltrarse en el suelo y otra evaporase.

7.1.3. Suelo Erosionado y Características de los Sedimentos.

A. Cantidad de Suelo Erosionado.

Los datos obtenidos de cantidad de sedimentos erosionados en el experimento, se pueden observar en el cuadro 22a y gráficamente en la figura 6.

La cantidad de suelo erosionado en el tratamiento de barrera viva con acequia, representa un 9.29% del total de la cantidad de suelo erosionado en el testigo (relación 10.75 a 1); el tratamiento de camellones al contorno con acequia presentó una erosión equivalente al 12.91% del total del testigo (relación 7.75 a 1) y en la barrera viva se tuvo una erosión equivalente al 29.43% del total del testigo (relación 3.40 a 1). Estas relaciones ilustran la diferencia entre la práctica tradicional de cultivo y el uso de prácticas de conservación de suelos.

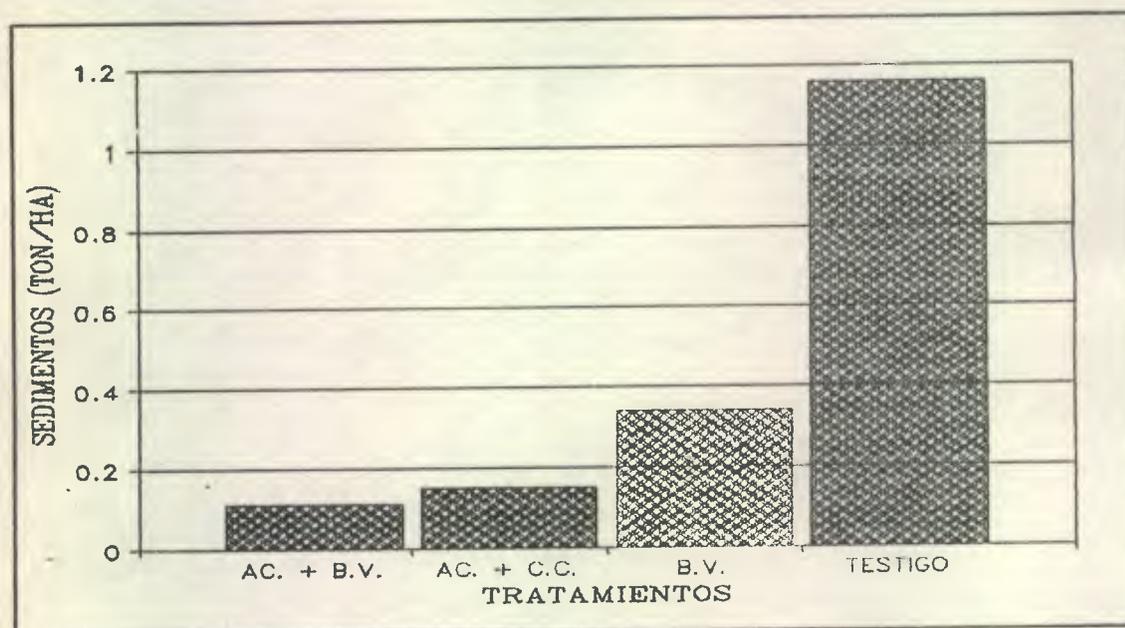


Figura 6. Cantidad de Sedimentos Arrastrados en Cada Tratamiento

El análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado, en la época lluviosa de 1991, se presenta en el cuadro 7.

Cuadro 7. Análisis de varianza para la cantidad de **suelo erosionado** (ton/ha), 1991.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.
Bloques	4	0.1487	—	
Tratamientos	3	3.625065	1.2087	151.09**
Error	12	0.09597	0.0080	
Total	19	3.736895		

Referencias:

** Significativo al 0.01 de nivel de significancia.
C. V. = 20.30%

Con base en el análisis de varianza, se establece que existen diferencias significativas entre la cantidad de suelo erosionado de los tratamientos evaluados, por lo que se procedió a efectuar una prueba de Tukey, cuyos resultados se observan en el cuadro 8.

Cuadro 8. Prueba de Tukey para la cantidad de suelo erosionado.

Tratamiento	Suelos Erosionado (ton/ha)	Tukey al 0.01 de nivel de significancia.
Testigo	1.162	a
Barrera Viva	0.342	b
Camellón + Acequia	0.150	b c
Barrera viva + Acequia	0.108	c

Referencia: Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales.

De acuerdo con el cuadro anterior, el testigo fue el tratamiento que produjo la mayor cantidad de suelo erosionado y fue diferente estadísticamente a la cantidad de sedimentos que se presentaron en los tratamientos con prácticas de conservación de suelos. El tratamiento que presentó mayor cantidad de sedimentos, después del testigo, fue el

de barrera viva el que estadísticamente puede ser llegar a ser igual al tratamiento de camellones al contorno con acequia. Los tratamientos de: camellones al contorno con acequia y barrera viva con acequia son estadísticamente iguales y presentan un control más efectivo sobre la erosión del suelo.

Aunque el tratamiento de barrera viva presentó un volumen de escurrimiento estadísticamente igual al escurrimiento ocurrido en el testigo, en el primero se registró una cantidad estadísticamente menor de suelo erosionado, gracias al efecto obstaculizante de la barrera viva sobre los sólidos por lo que se puede considerar que ésta actuó como filtro. La erosión en las acequias se inició cuando su capacidad de absorción fue sobrepasada por el escurrimiento proveniente de las parcelas y la cantidad de precipitación.

B. Características Granulométricas de los Sedimentos.

a. Sedimentos mayores de 2 mm.

Las mayores pérdidas de éstas partículas se encontraron en el testigo y representan el 14.82%, las menores pérdidas se registraron en los tratamientos con acequia: barrera viva con acequia y camellones al contorno con acequia con 11.86% y 11.59% respectivamente. Esta tendencia se observó en los cinco años de evaluación.

En el testigo se observó mayor porcentaje debido a que no existió ningún obstáculo para que redujera la capacidad erosiva del agua, como en el caso de los tratamientos con prácticas de conservación de suelos.

b. Sedimentos menores de 2 mm.

En todos los tratamientos se registraron pérdidas en el siguiente orden, de mayor a menor: arena, limo y arcilla. La anterior tendencia, también se observó en los cinco años de evaluación y se debe a que la

textura del suelo es franco arenoso y a que los limos y las arenas finas constituyen un material muy erodible, por consiguiente existe mayor probabilidad de pérdida de ésta fracción (24).

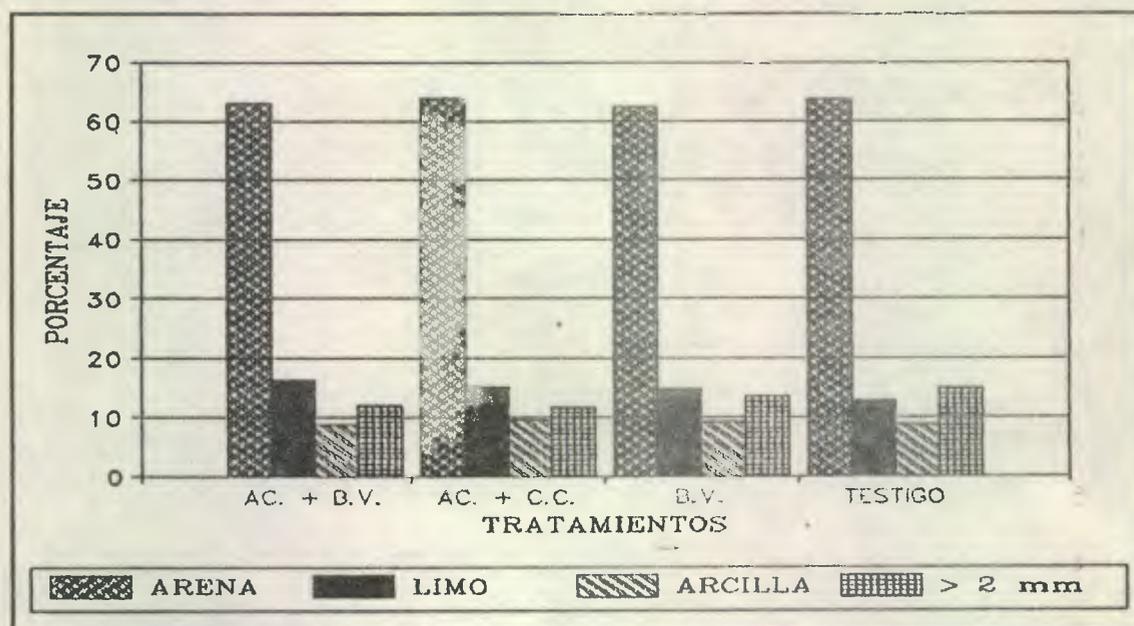


Figura 7. Características Granulométricas de los Sedimentos Obtenidos por Tratamiento.

C. Elementos Disponibles.

En el cuadro 24a se presentan las concentraciones de fósforo (P) y de potasio (K) encontrados en los sedimentos producidos en los tratamientos evaluados, de acuerdo a estos datos y la cantidad de sedimentos obtenidos por tratamiento se calcularon las pérdidas en peso de éstos elementos y de elementos fertilizantes en los sedimentos y se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro 9 Cantidad de fósforo (P), Potasio (K) y elementos fertilizantes perdidos en los sedimentos por Tratamiento en g/ha en San Mateo Milpas Altas (1991)

Tratamiento	P	K	P ₂ O ₅	K ₂ O
Barrera viva con acequia	1.63	50.54	3.72	60.88
Camellones con acequia	2.76	73.20	6.37	88.17
Barrera viva	5.09	109.44	11.69	131.82
Testigo	12.78	386.95	29.29	466.09

En el cuadro anterior se observa claramente que con el manejo tradicional existió mayor pérdida de nutrientes principales que con el uso de prácticas de conservación de suelos por lo que dicho manejo influye en el empobrecimiento de los terrenos y a largo plazo podría provocar mayores requerimientos de fertilizantes o influir en los rendimientos de los cultivos. Por otra parte, hay que tomar en cuenta que la cantidad de nutrientes principales disueltos en el agua de escorrentía no se incluyen en éste análisis por lo que estas cifras pueden ser mayores.

7.1.4. Rendimiento.

Para realizar el análisis estadístico del rendimiento de grano de maíz (*Zea mays* L.), se tomaron los datos resultantes de 19 unidades experimentales, el dato faltante se debió a que animales herbívoros domésticos destruyeron parte de las plantas de una parcela, por lo que se desechó el dato recabado en ésta por no considerarse representativo (ver cuadro 27a). En el cuadro 10 se presenta el análisis de varianza para el rendimiento de grano de maíz (*Zea mays* L.) en 1991.

Cuadro 10. Análisis de varianza para el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.), 1991.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.
Bloques	4	18782681.75		
Tratamientos	3	1586159.25	528719.75	1.0003 ns
Error	11	5800641.13	527331.01	
Total	18	26169482.13		

Referencias:

ns/ No significativo
C. V. = 13.97%

Según el análisis de varianza, no existen diferencias significativas entre el rendimiento de grano de los tratamientos evaluados. En 1990, en el análisis de varianza para el rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris*), en las mismas parcelas de escorrentía se encontraron diferencias significativas en los tratamientos. La ausencia de diferencias significativas en la evaluación de 1991 se puede deber que durante el tiempo en que se efectuó la fertilización (60 días después de la siembra) no existieron lluvias erosivas y a que los requerimientos nutricionales de éstos cultivos son distintos.

En la figura 8 se observan los rendimientos obtenidos para cada tratamiento, en ésta gráfica se observan mayores rendimientos en los tratamientos con prácticas de conservación de suelos que en el testigo y en orden decreciente fueron los siguientes: barrera viva: 5503.25 kg/ha, barrera viva con acequia: 5377.20 kg/ha, camellones al contorno con acequia 5151.10 kg/ha y testigo: 4764.40 kg/ha.

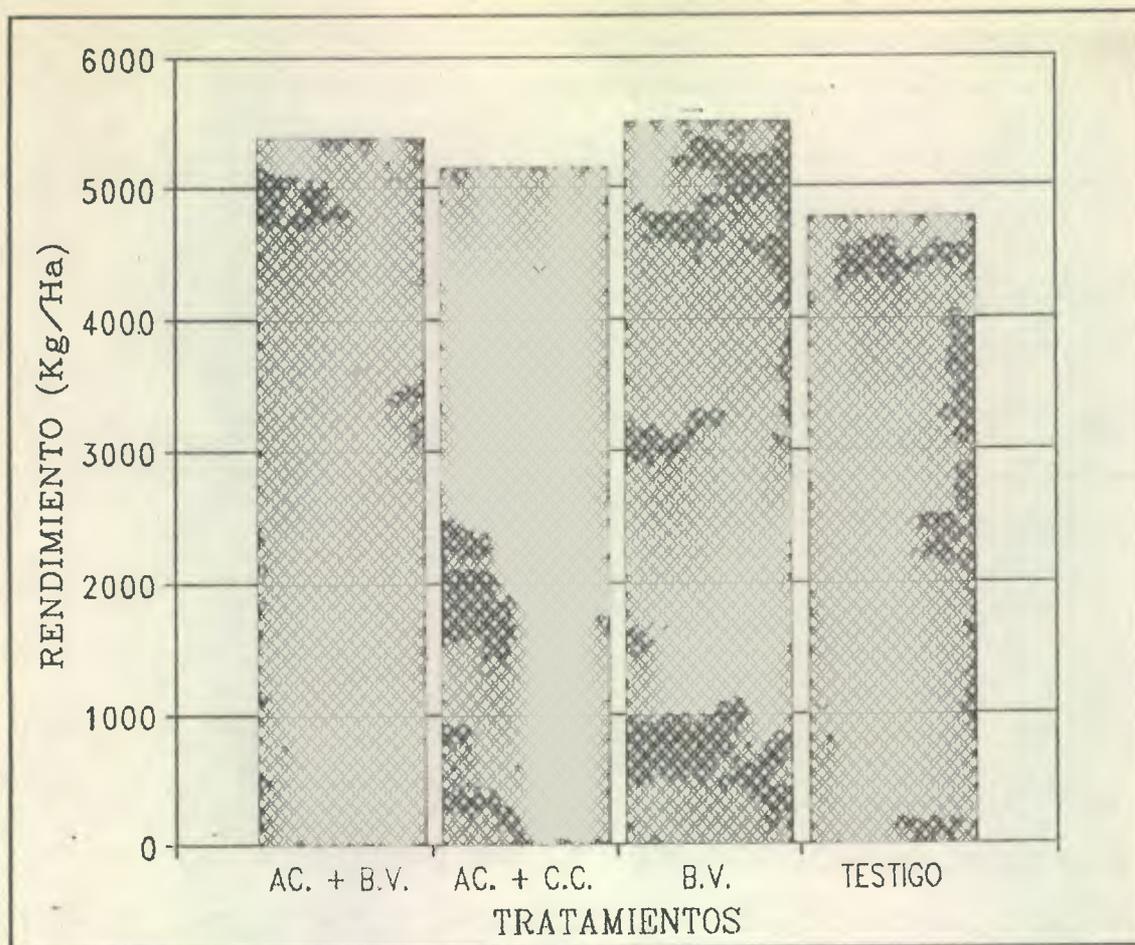


Figura 8. Rendimiento de Grano de Maíz (Zea mays L.) por Tratamiento

7.1.5. Rendimiento de Zacatón (Panicum maximun).

En el cuadro 28a se presentan los rendimientos de zacatón (Panicum maximun) obtenidos en cada una de las unidades experimentales de los tratamientos con barrera viva.

En el tratamiento de barrera viva con acequia se obtuvo un rendimiento promedio de 0.91 kg/m de materia seca y en el tratamiento de barrera viva el rendimiento fue de 0.79 kg/m de materia seca. Estos rendimientos se obtuvieron como resultado de dos cortes de zacatón a 60 días de intervalo entre sí durante la época del cultivo.

Con el rendimiento de zacatón obtenido se pueden mantener 0.93

unidades animales¹ por hectárea estabuladas durante cuatro meses de la época lluviosa para el tratamiento de barrera viva con acequia y 0.81 unidades animales por hectárea para el tratamiento de barrera viva; esto constituye un beneficio adicional de éstas prácticas de conservación de suelos para el agricultor

En los 5 años de estudio se observó que el zacatón (*Panicum maximun*), es una planta muy perseguida por la taltuza (*Geomys hispidus*) pues las nudosidades que forman las raíces le sirven de alimento.

7.2. EVALUACION DE TRES PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS EN EL PERIODO DE 1987-1991.

7.2.1. Precipitación Pluvial e Intensidad Media.

En el cuadro 11 se presentan las láminas precipitadas en los años de estudio y los rangos de intensidad media registradas para cada caso.

En ese cuadro se puede observar una tendencia decreciente de la precipitación pluvial a partir de 1988, los años de 1990 y 1991 fueron más secos que los otros años de estudio y en general, que el promedio de diez años. Por otra parte las lluvias de 1987, 1988 y 1990 fueron más intensas que las lluvias de 1989 y 1991 y de éstos dos últimos en 1989 se presentaron las menores intensidades de lluvia. En 1991 los eventos registrados, fueron en su mayoría de intensidad ligera gracias al efecto de la corriente del Niño en Guatemala.

¹/1 unidad animal = 1 animal de 454 kg. de peso vivo.

Cuadro 11. Precipitación pluvial y rango de intensidades medias registradas en los cinco años de evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en San Mateo Milpas Altas.

Año	Lámina (mm)	Rango de Intensidad Media (mm/hora)
1987 ¹	550.7	3.85 - 37.00
1988 ²	885.2	1.33 - 31.5
1989 ³	624.05	1.80 - 9.20
1990 ⁴	445.4	- 0.12 - 31.20
1991	472.4	0.17 - 14.80
Media de 10 Años ⁵	942.6	- - - - -

Fuente: 1/ Revolorio (21).

2/ López (18).

3/ Herrera (13).

4/ Pineda (20).

5/ Valor calculado a partir de los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Estación **Florencia**, Santa Lucia Milpas Altas.

7.2.2. Esguerrimiento Superficial.

Los resultados del volumen de esguerrimiento para cada tratamiento durante cinco años de evaluación se presentan en el cuadro 12 y se ilustran en la figura 9.

De acuerdo a ésta información, se puede observar que en los años de 1988 y 1990 se obtuvieron menores volúmenes de esguerrimiento, en relación con los otros años; ésto debido a que en 1988 y 1990 las evaluaciones de los tratamientos se efectuaron bajo condiciones del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el que a diferencia del maíz (*Zea mays* L.), proporciona mayor protección al suelo gracias al efecto de la cobertura que brinda el follaje del frijol (*P. vulgaris* L.), lo que permitió que existiera mayor infiltración del agua en el suelo, y se redujo así el volumen de esguerrimiento.

Cuadro 12. Esgurrimiento superficial en m³/ha registrado en cinco años de evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la subcuenca del río Pensativo.

Tratamiento.	En Condiciones de Maíz (<i>Zea mays</i> L.)			En condiciones de Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	
	1987 ¹	1989 ²	1991	1988 ³	1990 ⁴
Barrera viva + Acequia	32.22	165.88	11.12	8.86	5.99
Camellones + Acequia	34.44	133.56	15.00	12.46	5.68
Barrera viva	136.50	586.54	83.84	13.38	8.68
Testigo	179.70	648.94	94.10	17.60	15.50

Fuente: 1/ Revolorio (21). 2/ Herrera (13).
3/ López (18). 4/ Pineda (20).

En general se observa una tendencia a la reducción del volumen de escurrimiento con el transcurso del tiempo. Esta tendencia decreciente es en mayor proporción en los tratamientos con prácticas de conservación de suelos que en el testigo, esto se atribuye a que la tendencia de la precipitación pluvial de 1988 a 1991 también fue decreciente y al efecto de la estabilización de las prácticas de conservación de suelos.

También se puede observar que el volumen de agua escurrida fue menor en los tratamientos de barrera viva con acequia y camellones al contorno con acequia en los cinco años de evaluación, lo que se le atribuye al efecto de absorción de agua de la acequia. Por otra parte el tratamiento de barrera viva produjo un volumen de agua de escorrentia estadísticamente diferente al testigo y similar a los tratamientos con acequia en condiciones del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), sin embargo en condiciones del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) el volumen producido fue similar al producido por el testigo lo que puede atribuirse a la cobertura vegetal proporcionada por el frijol, la que permitió que un mayor volumen de agua se infiltrara en el suelo lo que restó energía al agua de escorrentia.

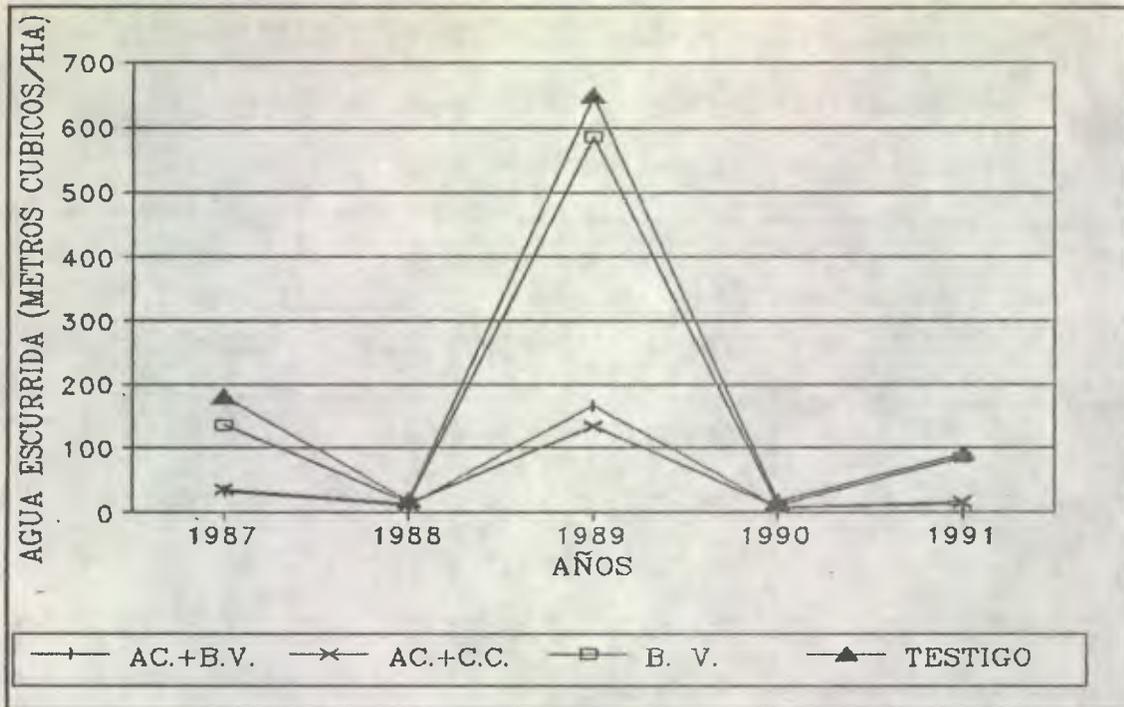


Figura 9. Cantidad de Agua Escurrida Por Año de Evaluación de Tres Prácticas de Conservación de Suelos.

7.2.3. Cantidad de Sedimentos.

El cuadro 13 muestra los valores obtenidos de la cantidad de sedimentos producidos en cada tratamiento, durante 5 años de evaluación; y en la figura 10 se presentan estos datos gráficamente.

Cuadro 13. Cantidad de suelo erosionado en ton/ha registrado en cinco años de evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la subcuenca del río Pensativo.

Tratamiento.	En Condiciones de Maiz (<i>Zea mays</i> L.)			En condiciones de Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	
	1987 ¹	1989 ²	1991	1988 ³	1990 ⁴
Barrera viva + Acequia	0.17	0.04	0.11	0.26	0.24
Camellones + Acequia	0.19	0.03	0.15	0.32	0.29
Barrera viva	1.30	0.06	0.34	0.22	0.31
Testigo	3.38	0.15	1.16	0.62	0.95

Fuente:

1/ Revolorio (21).
3/ López (18).

2/ Herrera (13).
4/ Pineda (20).

Las menores cantidades de suelo erosionado se registraron en el año de 1989, en condiciones del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), debido a que en dicho año se presentaron las intensidades medias, de la lluvia, mas bajas ya que la intensidad máxima registrada fue de 9.2 mm/hora.

En el cuadro 13 se observan resultados similares en cuanto a la pérdida de suelo en los tratamientos con acequia, lo que se debe a que la acequia en todos los tratamientos, desde su establecimiento fue efectiva para el control de la erosión para la mayoría de eventos de lluvia en condiciones de los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) o de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), a excepción de los eventos de lluvia de alta intensidad que son los responsables del inicio de la erosión en las acequias.

En los tratamientos de barrera viva y testigo, se observa una tendencia decreciente de la cantidad de sedimentos producidos, y en el caso del tratamiento de barrera viva tiende a ser igual a la producción de sedimentos de los tratamientos con acequia tanto en condiciones del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) como en condiciones del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), lo que se atribuye a la tendencia decreciente que presentó la precipitación pluvial de 1988 a 1991 y a que con el transcurso del tiempo las plantas de la barrera viva se establecieron en forma completa y la estructura provocó un proceso de estabilización en las parcelas.



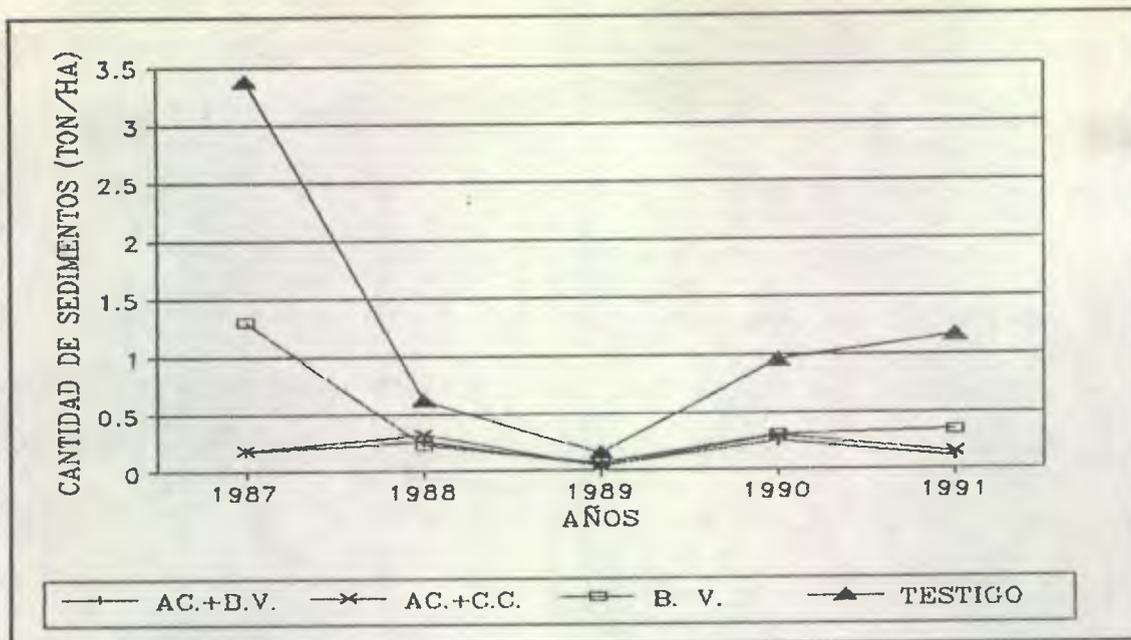


Figura 10. Cantidad de Sedimentos Producidos Por Año de Evaluación de Tres Prácticas de Conservación de Suelos

7.2.4. Rendimiento de Maíz (*Zea mays* L.) y Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) En 5 Años de Evaluación.

En el cuadro 14 se presentan los resultados de los rendimientos de maíz (*Zea mays* L.) en los años de 1987, 1989 y 1991 y de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en los años de 1988 y 1990 para cada tratamiento.

En este cuadro se puede notar que la tendencia del rendimiento del maíz fue ascendente, fenómeno que puede atribuirse a la rotación de cultivos (maíz - frijol) de que fueron objeto las parcelas de escorrentia. Estos resultados se puede apreciar gráficamente en la figura 11. También se puede visualizar que el rendimiento del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) fue decreciente, debido principalmente a que en 1990 la precipitación pluvial fue sustancialmente menor que 1988 por lo que el cultivo se sometió a un estrés por sequía (ver figura 12).

Cuadro 14. Rendimiento del cultivo de maíz en kg/ha en los años de 1987, 1989 y 1991 y de frijol en los años de 1988 y 1990 en kg/ha en las parcelas de escorrentía en San Mateo Milpas Altas.

Tratamiento	Maíz (<i>Zea mays</i> L.)			Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	
	1987 ¹	1989 ²	1991.	1988 ³	1990 ⁴
B. V. con Ac.	3137.05	4141.32	5377.20	2013.33	1606.08
Cam. con Ac.	3228.86	3764.67	5151.10	1893.33	1540.66
Barrera viva	3214.68	3945.33	5503.25	1887.62	1436.20
Testigo	2818.34	3636.60	4762.40	1843.81	1106.69

Referencias: 1/ Revolorio (21). 2/ Herrera (13).
3/ López (18) 4/ Pinada (20)

Aunque sólo en 1990 se obtuvieron diferencias significativas en los tratamientos en cuanto a rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), se puede observar que tanto para maíz (*Zea mays* L.) y para frijol (*P. vulgaris* L.) los rendimientos más bajos se manifestaron en el testigo para todos los casos.

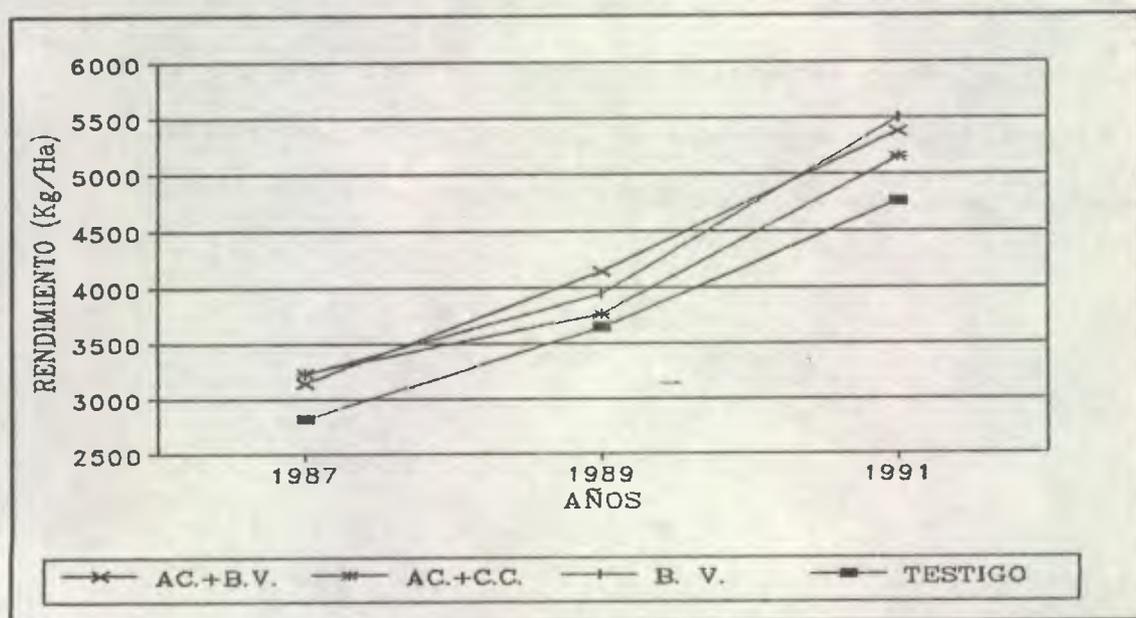


Figura 11. Rendimiento de Grano de Maíz (*Zea mays* L.) Por Año de Evaluación.

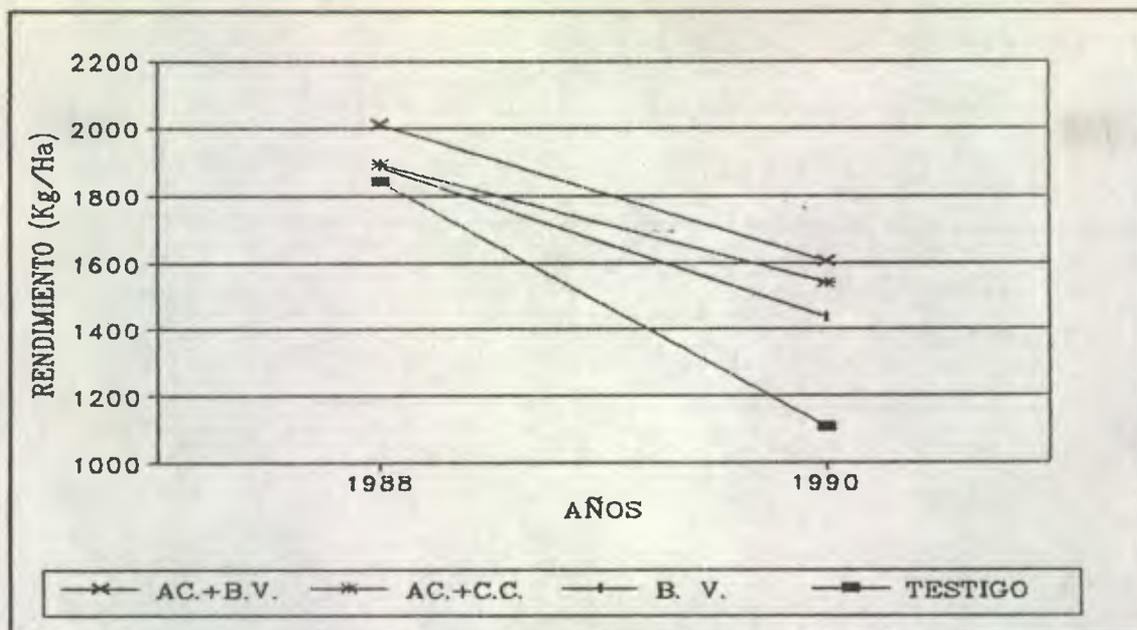


Figura 12. Rendimiento de Grano de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Por Año de Evaluación.

7.2.5. Modificación del Porcentaje de Pendiente.

En el cuadro 29a se presenta la reducción del porcentaje de pendiente para todos los tratamientos y repeticiones. Aquí se puede observar que en el tratamiento de barrera viva tuvo una mayor reducción en el porcentaje de la pendiente media que todos los tratamientos (9.91%) y la menor reducción se obtuvo en el testigo (3.5%).

El análisis de varianza de los datos transformados con la función arcoseno se presenta en el cuadro siguiente:

Cuadro 15 Análisis de varianza para los datos transformados de la reducción del porcentaje de pendiente con la función arc seno.

F. V.	G. L.	S. C.	C. M.	F. C.
Bloques	4	93.5388		
Tratamientos	3	167.4490	55.8163	5.68**
Error	12	117.8690	9.8224	
Total	19	378.8568		

Referencias:

**/Significativo al 0.01 de nivel de significancia.

C. V. = 22.65%

De acuerdo con el análisis de varianza existieron diferencias altamente significativas, por lo que se procedió a realizar una prueba de Tukey.

Cuadro 16 Prueba de Tukey para la reducción del porcentaje de pendiente.

Tratamiento	Arc seno de la reducción del % de Pendiente	Tukey al 0.01 de significancia
Barrera viva	18.246	a
Barrera + Acequia	13.598	a b
Camellones + Acequia	13.382	a b
Testigo	10.124	b

Referencia: Tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales.

De acuerdo con la prueba de medias existió una mayor reducción del porcentaje de pendiente media en el tratamiento de barrera viva, el que estadísticamente fue igual a la reducción de la pendiente media en los tratamientos de barrera viva con acequia y de camellones al contorno con acequia. El tratamiento que presentó menor reducción en el porcentaje de pendiente media fue el testigo, el que se considera diferente de los

demás tratamientos, pero podría llegar a ser igual al tratamiento de barrera viva con acequia en determinadas condiciones.

En la figura 13.1 y 13.2 se observan los perfiles de los tratamientos mostrando el nivel original y el nivel actual de la superficie.

En los tratamientos de barrera viva con acequia y barrera viva se produjo transporte de suelo, por efecto de la erosión hídrica, de la parte alta a la parte baja de las parcelas de escorrentía, donde el escurrimiento se vió obstaculizado por la barrera y provocó la sedimentación, ésto provocó un corte en la parte alta y un relleno en la parte baja lo que determinó la reducción del porcentaje de pendiente. El movimiento de tierra registrada en éstos tratamientos, después de 5 años de establecidas las prácticas de conservación de suelos, equivale a un movimiento de $950 \text{ m}^3/\text{ha}$ de suelo, para lo que se tendría que desembolsar Q. 855.00 por hectárea con el uso de maquinaria.

En el caso del tratamiento camellones con acequia, también existe un corte y un relleno, sin embargo es distinto al presentado por los tratamientos con barrera viva, pues se formó un camellón grande en la parte inferior de la parcela, lo cual se debe a que los camellones se construyeron de arriba hacia abajo, por lo que la tierra fue transportada hacia la parte baja por la labranza efectuada en cada evaluación y por el arrastre de sedimentos provocado por la erosión hídrica. Además se puede visualizar que la reducción de la pendiente en éste tratamiento no tiene implícito un aplanamiento del terreno.

El perfil del testigo exhibe únicamente área de corte, pues la mayoría del suelo transportado de la parte alta a la parte baja, se perdió por erosión y una mínima parte se sedimentó en la parte baja de la parcela, lo que propició la reducción de la pendiente media.

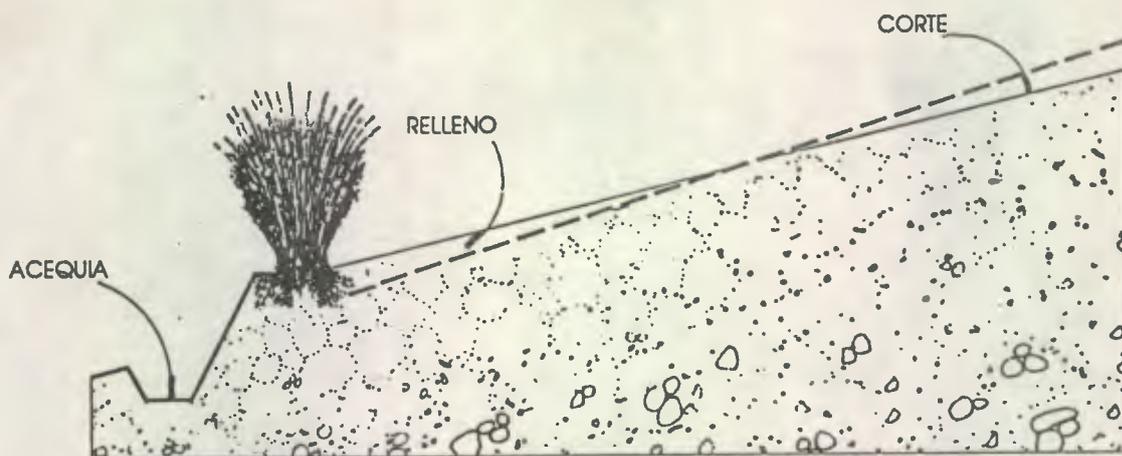


FIGURA 13.1A

Barrera viva con Acequia

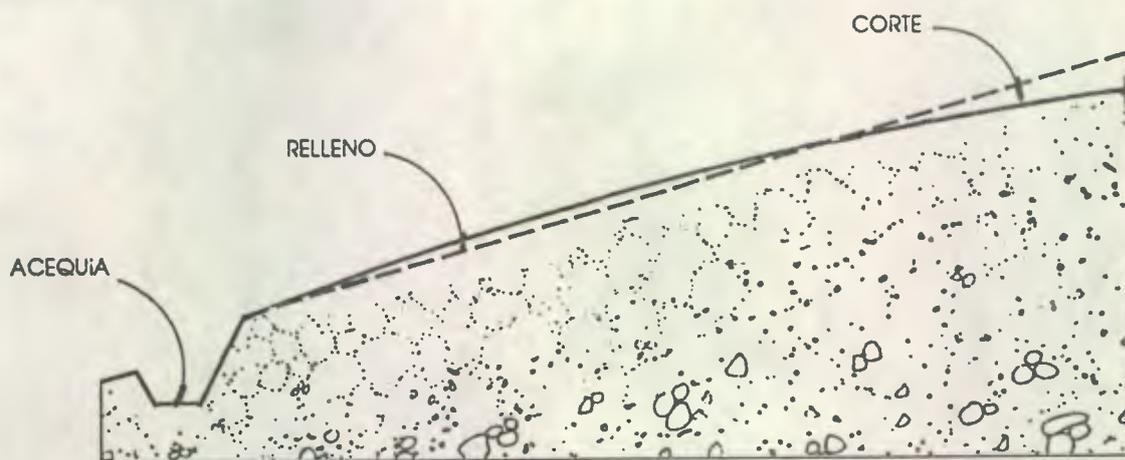


FIGURA 13.1B

Camellones al Contorno con Acequia

Referencias	
-----	NIVEL ORIGINAL DEL TERRENO
—————	NIVEL ACTUAL DEL TERRENO

FIGURA 13.1 Perfil de los Tratamientos Mostrando el Nivel Original y el Nivel Actual del Terreno.

ESCALA VERTICAL y HORIZONTAL: 1:50



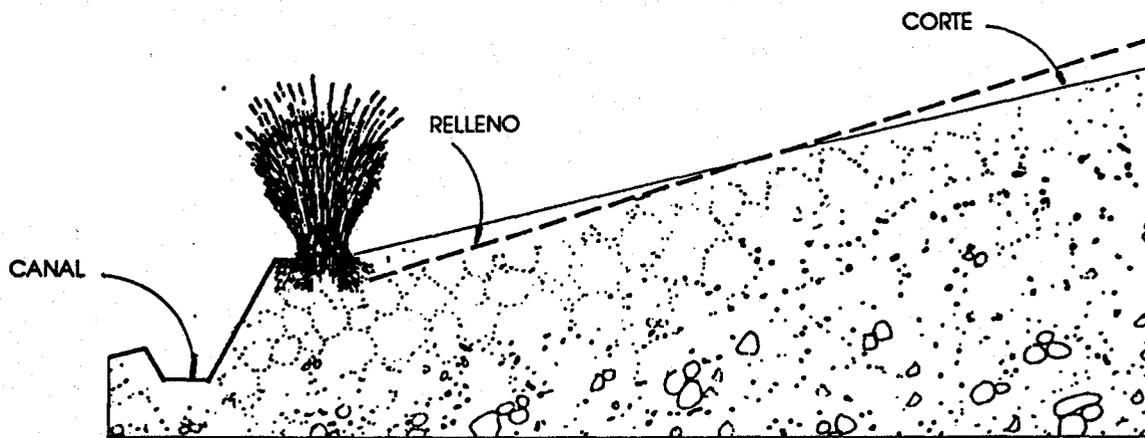


FIGURA 13.2A

Barrera viva

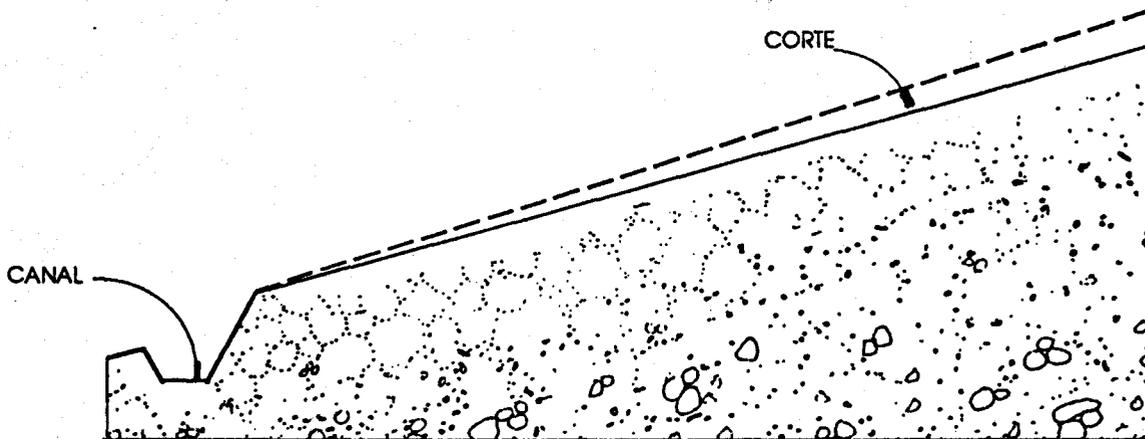


FIGURA 13.2B

Testigo

Referencias	
-----	NIVEL ORIGINAL DEL TERRENO
—————	NIVEL ACTUAL DEL TERRENO

FIGURA 13.2 Perfil de los Tratamientos Mostrando el Nivel Original y el Nivel Actual del Terreno.

ESCALA VERTICAL y HORIZONTAL: 1:50



7.2.6. Análisis Beneficio-Costo.

En el cuadro 17 se presenta el análisis de costos y beneficios tangibles para los cinco años de evaluación para cada tratamiento por hectárea. En este cuadro se puede observar que para el caso de las prácticas de conservación de suelos, solamente en 1987 los beneficios netos fueron negativos y menores que los obtenidos con el testigo, debido a que en ese año se realizaron los gastos de instalación de las prácticas de conservación de suelos. Por otra parte, los beneficios obtenidos con el manejo tradicional del cultivo fueron negativos en 1987 y 1991 y en general en los cinco años de evaluación los beneficios tangibles son menores en éste tratamiento debido a que los tratamientos con prácticas de conservación de suelos presentan beneficios adicionales tales como: mayores rendimientos, se pierden menos nutrientes por efecto de la erosión hídrica, se adquiere un valor agregado en el precio del terreno por las mejoras que las prácticas de conservación implican, se obtiene un movimiento de tierra por efectos mecánicos de la erosión hídrica y del laboreo agrícola lo que hace que el terreno tienda a aplanarse con el uso de prácticas de conservación de suelos; además en el caso de las prácticas de barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) con acequia y solamente barrera viva de zacatón (*P. maximum*) brindan el beneficio de la producción de forraje.

En la figura 14 se puede visualizar que a partir de 1988 los beneficios netos son mayores con el uso de prácticas de conservación de suelos que con el manejo tradicional de los suelos y en ellos se manifiesta una tendencia creciente con el transcurso del tiempo mientras que con el manejo tradicional a partir de 1988 se observa una tendencia decreciente de los beneficios. En el quinto año de evaluación (1991) se registraron mayores diferencias entre el beneficio neto obtenido en los tratamientos con prácticas de conservación de suelos y el manejo

Cuadro 17. Análisis beneficio-costo por hectárea de tres prácticas de conservación de suelos y del manejo tradicional del cultivo para cinco años de evaluación en San Mateo Milpas Altas.

CONCEPTO	Barrera viva con Acequia					Camellones con Acequia				
	1987 ¹	1988 ²	1989 ³	1990 ⁴	1991	1987 ¹	1988 ²	1989 ³	1990 ⁴	1991
Costo de producción del cultivo (Q.)	1674.40	1735.20	1809.00	2786.40	4525.81	1674.40	1735.20	1809.00	2786.40	4525.81
Costo de instalación de la práctica (Q.)	225.00	-----	-----	-----	-----	180.00	60.00	85.00	85.00	130.00
Costo de operación y mantenimiento (Q.)	30.00	72.00	100.00	100.00	170.00	30.00	45.00	60.00	60.00	90.00
Costos totales (Q.)	1929.40	1807.20	1909.00	2886.40	4695.81	1884.40	1845.20	1954.00	2931.40	4745.81
Costos totales actualizados a 1987 (Q.) <8>	1929.40	1585.28	1448.17	1935.04	2362.93	1884.40	1618.61	1482.30	1965.21	2388.09
Ingreso por maíz (<i>Zea mays</i> L.) (Q.)	1380.20	-----	3188.85	-----	4731.94	1420.60	-----	2891.00	-----	4532.97
Ingreso por frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) (Q.)	-----	3986.79	-----	6606.91	-----	-----	3749.17	-----	7064.64	-----
Ingreso por pasto (<i>Panicum maximum</i>) (Q.)	-----	133.60	106.40	34.86	106.40	-----	-----	-----	-----	-----
Valor de los nutrientes que se evitaron perder por efecto de la práctica de conservación (Q.) <5>	0.24	0.20	0.01	0.04	0.08	0.24	0.19	0.01	0.04	0.07
Valor agregado por mejoras al terreno (Q.) <6>	-----	-----	-----	-----	4200.00	-----	-----	-----	-----	4200.00
Ahorro por movimiento de tierra (Q.) <7>	-----	-----	-----	-----	855.00	-----	-----	-----	-----	315.00
Total de beneficios brutos (Q.)	1380.44	4120.59	3295.26	6641.81	9893.42	1420.84	3749.36	2891.01	7064.68	9048.04
Beneficios netos (Q.)	-598.46	2313.39	1386.26	3755.41	5197.61	-463.56	1904.16	937.01	4133.28	4302.23
Valor del Beneficio neto actualizado a 1987 (Q.) <8>	-598.46	2029.29	1051.65	2316.57	2615.44	-463.56	1670.33	708.60	2505.77	2164.77
Relación B/C (%)	80.06	-----	-----	-----	-----	70.52	-----	-----	-----	-----

CONCEPTO	Barrera Viva					Testigo				
	1987 ¹	1988 ²	1989 ³	1990 ⁴	1991	1987 ¹	1988 ²	1989 ³	1990 ⁴	1991
Costo de producción del cultivo (Q.)	1674.40	1735.20	1809.00	2786.40	4525.81	1674.40	1735.20	1809.00	2786.40	4525.81
Costo de instalación de la práctica (Q.)	135.00	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Costo de operación y mantenimiento (Q.)	-----	27.00	40.00	40.00	80.00	-----	-----	-----	-----	-----
Costos totales (Q.)	1809.40	1762.20	1849.00	2826.40	4605.81	1674.40	1735.20	1809.00	2786.40	4525.81
Costos totales actualizados a 1987 (Q.) <8>	1809.40	1545.80	1409.65	1894.82	2317.64	1674.40	1522.12	1372.31	1868.00	2277.39
Ingreso por maíz (<i>Zea mays</i> L.) (Q.)	1543.20	-----	3038.00	-----	4842.42	1402.80	-----	2800.35	-----	4190.91
Ingreso por frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) (Q.)	-----	3737.86	-----	6316.64	-----	-----	3651.11	-----	4866.89	-----
Ingreso por pasto (<i>Panicum maximum</i>) (Q.)	-----	157.90	92.40	38.28	92.40	-----	-----	-----	-----	-----
Valor de los nutrientes que se evitaron perder por efecto de la práctica de conservación (Q.) <5>	0.15	0.20	0.01	0.04	0.06	-----	-----	-----	-----	-----
Valor agregado por mejoras al terreno (Q.) <6>	-----	-----	-----	-----	4200.00	-----	-----	-----	-----	-----
Ahorro por movimiento de tierra (Q.) <7>	-----	-----	-----	-----	855.00	-----	-----	-----	-----	-----
Total de beneficios brutos (Q.)	1543.35	3895.96	3130.41	6354.96	9989.88	1402.80	3651.11	2800.35	4866.89	4190.91
Beneficios netos (Q.)	-266.05	2133.76	1281.41	3528.56	5384.07	-271.60	1915.91	991.35	2080.49	-334.90
Valor del beneficio neto actualizado a 1987 (Q.) <8>	-266.05	1871.73	969.00	2176.77	2709.26	-271.60	1680.64	749.66	1283.45	-168.52
Relación B/C (%)	83.11	-----	-----	-----	-----	37.57	-----	-----	-----	-----

Fuente: 1/Revolorio (21)

2/López (18)

3/Datos estimados

4/Pineda (20)

5/Datos calculados en base a precios de los fertilizantes triple superfosfato y muriato de potasio.

6/Dato obtenido en boletas de encuesta proporcionadas por el Ing. Agr. Hugo Tobías

7/Dato calculado en base al costo de movimiento de tierra con maquinaria

8/Actualización en base a tasa de interés activa.

tradicional de los suelos o sea sin prácticas de conservación de suelos.

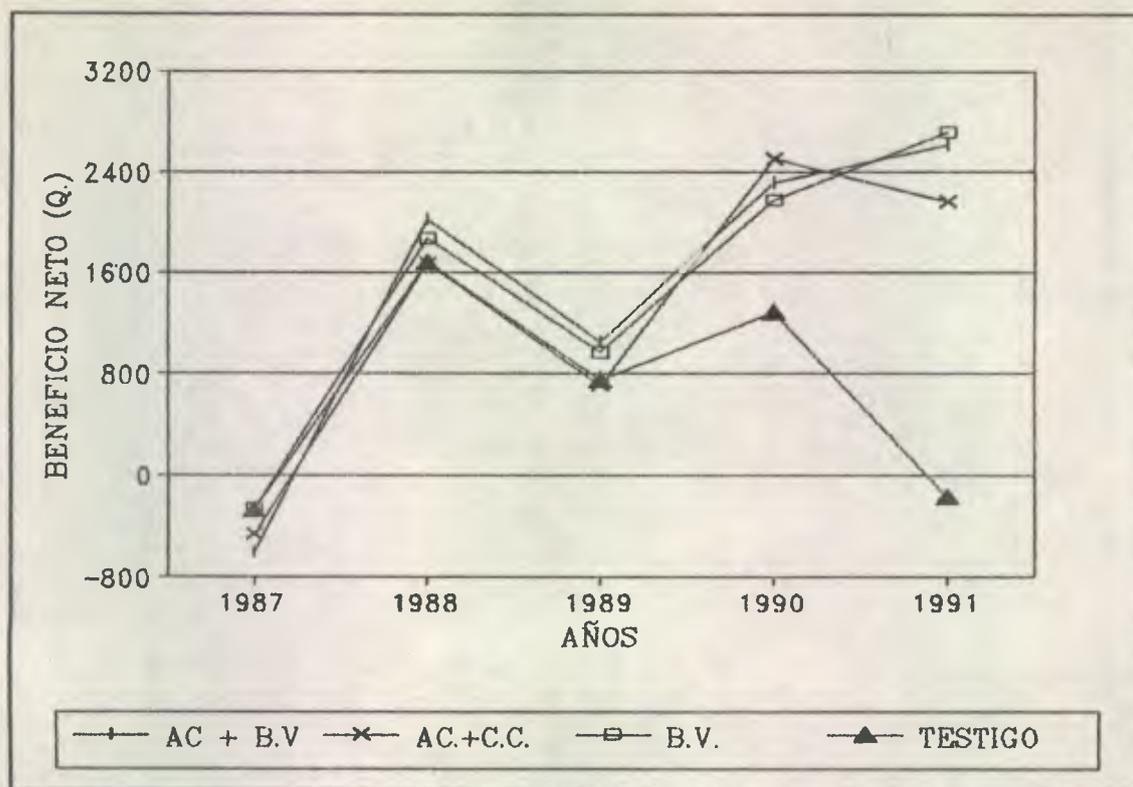


Figura 14. Beneficios Netos Actualizados a 1987 por año por Tratamiento.

Según la relación beneficio costo, se obtiene mayor rentabilidad con el tratamiento de barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) ya que presenta una relación beneficio costo de 83.11% ,lo que indica que por cada quetzal invertido se obtiene una ganancia de 0.83 quetzales; esta relación es ligeramente mayor que la obtenida en el tratamiento de barrera viva de zacatón (*P. maximum*) con acequia, que fue de 80.06%. La menor relación beneficio costo lo presentó el manejo tradicional o sea sin prácticas de conservación de suelos con 37.57% por lo que con este tratamiento se obtiene la menor rentabilidad y representa aproximadamente el 50% de la renta obtenida con el uso de prácticas de conservación de suelos tal como se ilustra en la figura 15.

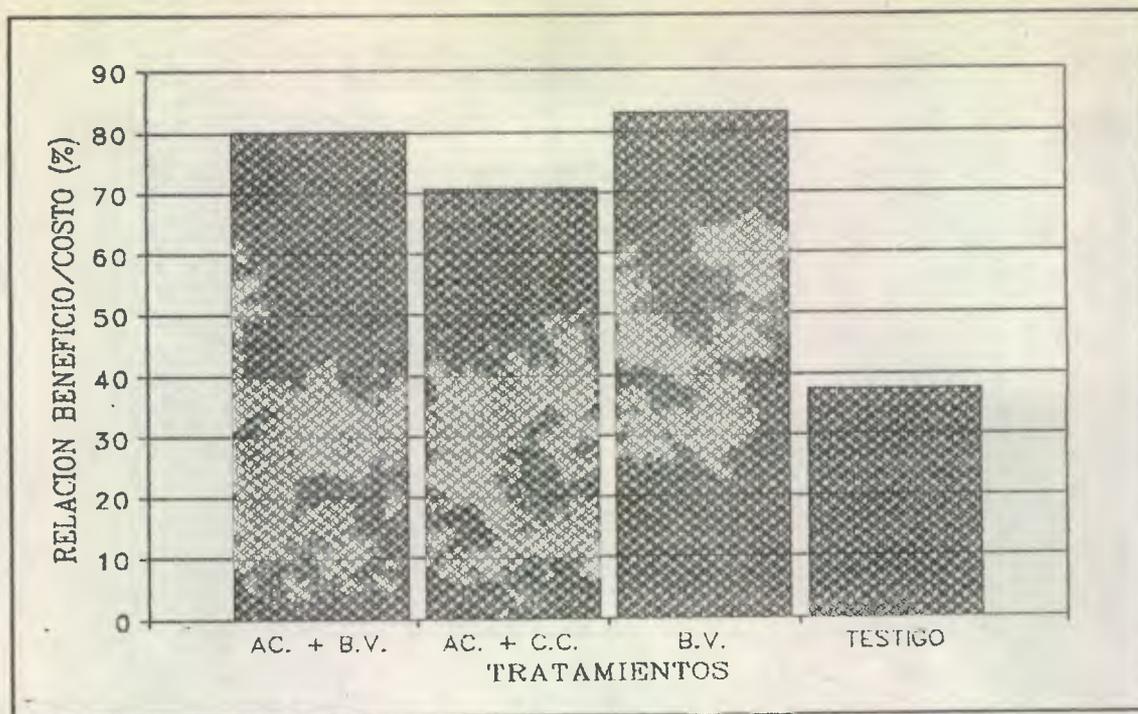


Figura 15. Relación Beneficio Costo por Tratamiento.

El análisis de beneficios tangibles constituye un análisis parcial, ya que con el uso de prácticas de conservación de suelos se obtienen otro tipo de beneficios que se consideran intangibles, pues por sus características se torna dificultoso asignarles precios por lo que solamente se identifican y cuantifican en algunos casos (9).

En el cuadro 18 se presentan las cantidades de sedimentos y de agua que se evitaron perder por el uso de cada práctica de conservación de suelos.

Cuadro 18. Cantidad de sedimentos y de agua que se evitó perder por el efecto de tres prácticas de conservación de suelos en el período de 1987 a 1991 en San Mateo Milpas Altas.

Tratamiento	Agua (m ³ /ha)	Sedimentos (ton/ha)
Barrera viva con acequia	731.97	5.44
Camellones con acequia	754.90	5.28
Barrera viva	124.10	4.03

Como puede observarse en el cuadro anterior, en cuanto a volumen de agua que se evitó perder los tratamientos con acequia fueron los que más agua retuvieron, parte de ella fue utilizada por el cultivo, otra se evaporó y el resto fue retenido por la acequia y se infiltró en el suelo para contribuir con los manantiales subterráneos de agua por lo que el uso de estas prácticas contribuyen a reducir la escasez de agua en época seca y evitan el escurrimiento de grandes volúmenes de agua en poco tiempo. Por otro lado la cantidad de sedimentos retenidos también fue mayor en los tratamientos con acequia y de esta manera se evitó la pérdida física del suelo y además se evita que el suelo sea arrastrado hacia el cauce del río y se provoquen asolvamientos que conjuntamente con el agua que se evita escurrir en poco tiempo den lugar inundaciones y a gastos por la remoción de sedimentos en la entrada principal de Antigua Guatemala (parte baja de la subcuenca).

La práctica de barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) presentó menor volumen de agua y cantidad de sedimentos retenidos, por lo que con ésta se obtienen menores beneficios intangibles que con las prácticas de barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) con acequia y camellones en contorno con acequia.

Al tomar en cuenta los beneficios tangibles y los beneficios intangibles, se nota en forma clara que con el uso de la práctica de barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) con acequia se obtienen los mayores beneficios económicos.

8. CONCLUSIONES.

- 8.1. Quinta Evaluación de tres prácticas de conservación de suelos.
- a. En el año de 1991 la causa principal del inicio de la escorrentía fue la saturación del suelo pues el análisis de correlación con el modelo de raíz cuadrada entre el volumen de agua de escorrentía y la lámina precipitada fue de +0.95.
 - b. Los principales factores que provocaron erosión en 1991 fueron: la lámina de lluvia precipitada en cada evento, la intensidad media de los eventos de lluvia y el volumen de escorrentía producido por cada evento ya que el coeficiente de correlación lineal múltiple al relacionar estas variables con la cantidad de sedimentos arrastrados fue de +0.94.
 - c. Los tratamientos de barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) con acequia y camellones al contorno con acequia, fueron los más efectivos para controlar el escurrimiento superficial en condiciones del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y la relación de volumen de agua escurrida con respecto a la práctica tradicional de cultivo fue de 8.5:1 y de 6.25:1 respectivamente por lo que se rechaza la hipótesis planteada.
 - d. Los tratamientos más efectivos para el control del arrastre de sedimentos fueron: barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) con acequia y camellones al contorno con acequia y presentaron una relación de 10.75:1 y 7.75:1 respectivamente de cantidad de sedimentos producidos con respecto a la práctica tradicional de cultivo por lo que se rechaza la hipótesis planteada.

- e. La fracción más erodada fue la de arena, debido a que el suelo en que se instaló el experimento es franco arenoso y las pérdidas de fragmentos mayores de 2 mm fueron superiores con el manejo tradicional del cultivo.
- f. No existieron diferencias estadísticamente significativas entre los rendimientos obtenidos en los tratamientos con prácticas de conservación de suelos y con el manejo tradicional del cultivo por lo que se acepta la hipótesis planteada.

B.2. Evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en el período de 1987-1991

- a. En cuanto a escurrimiento superficial, los tratamientos de barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) con acequia y camellones al contorno con acequia, son los más efectivos para controlarlo en condiciones de los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) o de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).
- b. En cinco años de evaluación, el escurrimiento superficial presentó una tendencia decreciente, en mayor grado en los tratamientos con prácticas de conservación que en el testigo, debido a la tendencia decreciente de la precipitación pluvial y a la estabilización de las prácticas de conservación de suelos.
- c. Los tratamientos de barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) con acequia y camellones al contorno con acequia manifestaron efectividad en el control de la erosión hídrica desde su establecimiento mientras que la efectividad de la barrera viva

manifestó una tendencia creciente y menor que los dos anteriores debido a que ésta depende del establecimiento de las plantas en la barrera viva y la estabilización del terreno con el transcurso del tiempo.

- d. El rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) fue mayor en los tratamientos con prácticas de conservación de suelos en tres evaluaciones, sin embargo no se detectaron diferencias estadísticas con respecto a la práctica tradicional del cultivo en ninguna evaluación.
- e. El rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) demostró una tendencia a ser superior con el uso de prácticas de conservación de suelos y diferente estadísticamente a la práctica tradicional de cultivo.
- f. El uso de barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) propicia la reducción del porcentaje de pendiente media de un terreno, gracias a su efecto obstaculizante contra la escorrentía lo que produce la sedimentación y ésto contribuye con una tendencia al aplanamiento del terreno por lo que se rechaza la hipótesis planteada.
- g. El mayor beneficio económico lo propicia el uso de barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*) con acequia y en general con el uso de prácticas de conservación de suelos se obtienen mayores beneficios económicos que con el manejo tradicional de los suelos del área.

9. RECOMENDACIONES.

- a. Debido a que el tratamiento de barrera viva de zacatón (Panicum maximun) con acequia es una práctica que controla en forma efectiva la erosión hídrica y propicia mayores beneficios económicos se recomienda utilizarla en áreas con características similares a las del sitio experimental.
- b. Establecer parcelas demostrativas con el tratamiento de acequia con barrera viva de zacatón (Panicum maximun) en terrenos de agricultores o utilizar otras técnicas de extensión, con el fin de integrar esta práctica de conservación de suelos a la tecnología local.
- c. El Estado debe definir estrategias para el logro del establecimiento de prácticas de conservación de suelos en la región crítica de la subcuenca tales como: subsidio al agricultor acompañado de campañas de concientización y asistencia técnica; ya que el problema afecta a la sociedad en general.
- d. En trabajos que se realicen sobre esta materia se sugiere analizar el agua de escorrentía para cuantificar la pérdida de nutrientes en este componente.
- e. Para el desarrollo de trabajos similares a la presente investigación se debe tomar en cuenta: la disponibilidad de recursos financieros, el período de retorno de los eventos de lluvia y ~~que las diferencias en~~ ~~cuanto a~~ ~~rendimientos y~~ ~~beneficios~~ con el uso de prácticas de conservación de suelos se pueden

visualizar a mediano plazo. En base a lo anterior se recomienda un mínimo de cinco años de evaluación para este tipo de investigaciones.

- f. Realizar evaluaciones de otras especies con características adecuadas para barrera viva y que tengan algún uso comercial en la zona, tales como: romero (Rosmarinus officinalis) y mirto (Myrtus communis).

- g. Realizar el estudio en condiciones del cultivo de hortalizas no tradicionales de exportación, tales como arveja china (Pisum sativum L.) debido a la importancia que ha tomado en el área en los últimos años.

- h. Realizar este estudio o estudios similares en otros sitios de la subcuenca del río Pensativo, tales como San Miguel Milpas Altas que es considerada como otra área crítica dentro de la subcuenca.

10. BIBLIOGRAFIA.

1. APOLO BERRU, W.A. 1980. Evaluación de la escorrentía superficial y la erosión en un pastizal con árboles aislados en la Suiza, Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 69 p.
2. CABRERA GAILLARD, C.R. 1986. Caracterización de los recursos naturales renovables de la subcuenca del río Pensativo. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 82, 94, 103-106.
3. CRUZ, J.R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. p. 29-30.
4. DEWIS, J.; FRIETAS, F. 1984. Métodos físicos y químicos de análisis de suelo y aguas. Roma, FAO. 252 p.
5. DONAHUE, R.L.; MILLER, R.W.; SHICKLUNA, J.C. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Trad. Jorge Peña. Colombia, Printece Hall. p. 409-432.
6. ESTADOS UNIDOS. SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS. 1980. Manual de conservación de suelos. México, LIMUSA. p. 409-432.
7. FOSTER, A.B. 1979. Métodos aprobados de conservación de suelos. México, Trillas. p. 17-200.
8. GHOL, B. 1982. Piensos tropicales. Roma, FAO. p. 84-85.
9. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1980. Diccionario geográfico nacional. Guatemala, Tipografía Nacional de Guatemala. tomo 3, p. 435.
10. _____ INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. 1988. Atlas climatológico de la república de Guatemala. Guatemala. 20 p.
11. GUITTINGUER, J.P. 1987. Análisis económico de proyectos agrícolas. Trad. Carmelo Saavedra Arce. 2 ed. España, Tecnos. p. 61-68, 303-309.
12. HARVARD DUCLOS, B. 1968. Las plantas forrajeras. Trad. Vicente Ripoll. España, Blume. p. 96-98.
13. HERRERA DE LEON, M. et al. 1991. Evaluación de prácticas de conservación de suelos en la cuenca del río Pensativo (fase III). Tikalia (Gua.) 9(1-2):35-49.
14. KAY, R.D. 1989. Administración agrícola y ganadera. Trad. Alberto García Mendoza. México, CECSA. p. 280-283.
15. LINSLEY, E.B.; KOHLER, M.A.; PAULUS, J.L. 1988. Hidrología para ingenieros. México, Mc Graw-Hill. p. 45-79, 211-230.
16. LITTLE, T.M.; JACKSON HILLS, F. 1987. Métodos estadísticos para

la investigación en agricultura. Trad. Anatolio de Paula Crespo. México, Trillas. p. 139-143.

17. LOPEZ HERNANDEZ, J.E. 1988. Diagnóstico de la situación actual de los cultivos principales de la aldea San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala, Sacatepéquez. Diagnóstico EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 6-10.
18. _____ 1990. Segunda evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la cuenca del río Pensativo, Sacatepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 21, 25-46.
19. MILLAR, C.E.; TURK, L.M.; FOTH, H.D. 1981. Fundamentos de la ciencia del suelo. Trad. Juan Nava Díaz. México, CECSA. p. 409-432.
20. PINEDA COTZOJAY, P.A. 1991. Cuarta evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la cuenca del río Pensativo, Sacatepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 20-21, 26-51.
21. REVOLORIO QUEVEDO, A. 1989. Primera evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la cuenca del río Pensativo, Sacatepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 18, 26-27, 35-65.
22. ROJAS, R.M. 1986. Hidrología de tierras agrícolas. 3 ed. Venezuela, CIDIAT. p. 9-36, 80-81.
23. SANCHEZ MENDIA, A.Y. 1979. Determinación del escurrimiento superficial y erosión del suelo del área del proyecto de conservación de suelos Michatoya. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 49-51.
24. SUAREZ DE CASTRO, F. 1979. Conservación de suelos. 3 ed. Costa Rica, IICA. 315 p.
25. VIDES, L.A.; BRAN SHAW, R.; NAVARRO, H.F. 1986. Situación actual del uso y manejo del suelo en Guatemala y alternativas de solución técnica y jurídica. In Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (1., 1986, Guatemala). Memoria. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. p. 31-50.
26. WORDEN, E.L. 1949. Suelos agrícolas, su conservación y fertilización. México, UTEHA. p 132-156.

Patualle Vo. Co.



11. APENDICE.

Cuadro 19a. Lámina de agua precipitada, intensidad media y fecha por evento de lluvia registrado en San Mateo Milpas Altas del 22 de junio al 31 de diciembre de 1991.

No.	Fecha (Dia/Mes)	Lámina Precipitada (mm)	Intensidad Media (mm/hora)	No.	Fecha (Dia/Mes)	Lámina Precipitada (mm)	Intensidad Media (mm/hora)
1	22/06	23.2	2.11	36	19/09	0.7	0.31
2	23/06	61.6	9.62	37	21/09	0.3	0.75
3	24/06	1.1	1.10	38	22/09	15.2	1.23
4	25/06	1.0	2.00	39	23/09	1.8	0.28
5	25/06	0.3	1.00	40	23-24/09	15.2	0.84
6	26-28/06	60.9	1.15	41	25/09	24.1	4.02
7	29/06	1.0	0.33	42	26/09	2.4	2.00
8	30/06	5.8	5.80	43	28/09	0.5	0.42
9	01/07	4.1	1.86	44	02/10	2.1	8.40
10	04/07	20.8	1.49	45	02/10	3.6	0.60
11	05/07	3.0	1.00	46	03/10	6.5	0.72
12	06-07/07	6.0	0.43	47	04/10	2.0	0.36
13	07/07	1.3	6.50	48	05/10	11.2	1.24
14	08/07	0.3	0.30	49	08/10	2.1	1.40
15	14/07	0.5	0.50	50	09/10	0.5	0.25
16	17-18/07	8.0	2.00	51	10/10	2.8	1.40
17	18/07	1.6	1.00	52	11/10	7.0	2.33
18	20-21/07	4.4	0.40	53	12/10	7.4	14.80
19	02/08	7.5	0.94	54	14/10	3.8	1.27
20	03/08	9.2	1.02	55	15/10	35.9	3.59
21	05-06/08	9.0	0.31	56	17/10	0.8	0.80
22	07/08	0.2	0.40	57	18/10	1.1	0.55
23	17/08	2.7	0.54	58	19/10	0.3	0.30
24	18-19/08	2.0	0.28	59	22/10	27.9	1.99
25	19/08	0.1	0.40	60	23/10	0.9	1.80
26	20/08	0.6	0.30	61	28/10	0.6	1.20
27	23/08	0.5	0.17	62	31/10	2.5	1.25
28	24/08	5.2	1.30	63	01/11	2.5	1.25
29	25/08	1.2	1.20	64	02/11	2.3	1.15
30	30/08	11.0	1.29	65	04/11	2.0	0.80
31	02/09	5.1	2.13	66	06/11	0.5	4.00
32	07/09	1.4	5.60	67	18/11	5.9	5.90
33	07-08/09	3.7	0.77	68	03/12	2.0	0.50
34	13/09	9.4	3.36	69	04/12	3.3	1.70
35	14/09	2.8	1.40				

Cuadro 20a . Esgurrimento en m³/ha registrado en los distintos tratamientos y repeticiones en San Mateo Milpas Altas (1991)

Tratamiento	R e p e t i c i ó n					Media
	I	II	III	IV	V	
Barrera V. + Ac	9.17	10.03	9.94	11.20	15.28	11.124
Camellones + Ac	16.41	12.81	18.32	11.27	16.21	15.004
Barrera Viva	65.69	82.93	88.79	82.87	98.90	83.836
Testigo	82.40	92.18	92.29	93.29	110.35	94.102

Cuadro 21a Porcentaje de esgurrimento superficial en los distintos tratamientos y repeticiones en San Mateo Milpas Altas (1991)

Tratamiento	R e p e t i c i ó n					Media
	I	II	III	IV	V	
Barrera V. + Ac	0.50	0.55	0.55	0.62	0.84	0.612
Camellones + Ac	0.85	0.70	1.01	0.62	0.89	0.814
Barrera Viva	3.61	4.56	4.88	4.56	5.44	4.610
Testigo	4.53	5.07	5.07	5.13	6.07	5.174

Cuadro 22a Cantidad de sedimentos en ton/ha obtenidos en los distintos tratamientos y repeticiones en San Mateo Milpas Altas (1991)

Tratamiento	Repetición					Media
	I	II	III	IV	V	
Barrera V. + Ac	0.10	0.09	0.13	0.16	0.06	0.108
Camellones + Ac	0.21	0.09	0.17	0.19	0.09	0.150
Barrera Viva	0.24	0.37	0.34	0.37	0.39	0.342
Testigo	1.09	1.40	1.15	1.04	1.13	1.162

Cuadro 23a. Características granulométricas de los sedimentos obtenidos en las parcelas de escorrentía, San Mateo Milpas Altas, (1991).

Tratamiento	Distribución de Partículas			
	% > 2mm	% arena	% limo	% arc.
Barrera Viva + Ac.	11.86	63.20	16.18	8.76
Camellones + Ac.	11.59	63.91	15.08	9.42
Barrera Viva	13.49	62.54	14.76	9.21
Testigo	14.82	63.74	12.71	8.73

Cuadro 24a Elementos disponibles en los sedimentos obtenidos en las parcelas de escorrentía, San Mateo Milpas Altas (1991).

Tratamientos	ppm		meq / 100ml	
	P	K	Ca	Mg
Barrera V. + Ac	15.10	468	8.11	2.31
Camellones + Ac	18.50	488	8.11	2.21
Barrera Viva	14.90	320	8.73	2.21
Testigo	11.00	333	9.04	2.42

Cuadro 25a.

Análisis de fertilidad al inicio del experimento, para tratamientos y repeticiones, en las parcelas de escorrentía, San Mateo Milpas Altas (1991).

Tratamiento	Rep.	ppm		meq/100cc		pH
		P	K	Ca	Mg	
Barrera viva con Acequia	I	16.40	413	11.23	2.62	6.0
	II	9.45	433	12.48	2.93	6.4
	III	3.60	443	11.54	2.88	6.3
	IV	10.01	373	11.54	3.03	6.5
	V	7.40	328	9.04	2.16	6.2
Acequia con Camellones en Contorno	I	17.15	505	13.72	3.75	6.4
	II	19.45	363	11.35	3.08	6.5
	III	3.8	338	10.92	2.67	6.4
	IV	2.05	338	10.92	2.93	6.4
	V	4.10	273	8.11	1.90	6.3
Barrera Viva	I	21.00	600	13.41	3.60	6.6
	II	5.35	303	9.98	2.31	6.3
	III	6.65	220	9.36	2.16	6.2
	IV	7.95	315	10.92	2.67	6.2
	V	2.80	423	10.92	2.83	6.4
Testigo	I	10.25	325	11.85	3.39	6.3
	II	17.35	445	12.16	3.19	6.4
	III	3.85	398	10.60	2.88	6.3
	IV	3.30	308	9.67	2.62	6.2
	V	18.40	420	10.29	2.42	6.1

Cuadro 26a. Análisis de fertilidad al final del experimento, para tratamientos y repeticiones, en las parcelas de escorrentía, San Mateo Milpas Altas (1991).

Tratamiento	Rep.	ppm		meq/100cc		pH
		P	K	Ca	Mg	
Barrera viva con Acequia	I	14.65	388	11.54	2.52	6.4
	II	4.35	343	9.98	2.57	6.5
	III	6.10	510	9.67	2.72	6.5
	IV	11.25	335	9.98	2.42	6.3
	V	6.45	418	9.98	2.47	6.4
Acequia con Camellones en Contorno	I	10.40	353	11.23	2.72	6.5
	II	2.85	278	9.04	2.26	6.5
	III	2.10	340	9.98	2.42	6.4
	IV	6.30	383	9.67	2.62	6.4
	V	13.35	375	9.98	2.47	6.4
Barrera Viva	I	20.65	420	11.54	3.14	6.5
	II	10.04	275	10.60	2.93	6.4
	III	9.10	273	9.67	2.36	6.4
	IV	5.85	340	9.04	2.36	6.4
	V	11.00	520	10.29	2.67	6.4
Testigo	I	6.75	420	11.23	3.08	6.6
	II	12.10	425	11.23	3.08	6.5
	III	2.65	343	9.67	2.67	6.4
	IV	2.85	383	10.92	3.24	6.4
	V	15.75	380	9.98	2.36	6.4

Cuadro 27a Rendimiento de grano de maíz en kg/ha en los distintos tratamientos en San Mateo Milpas Altas (1991)

Tratamiento	Repetición					Media
	I	II	III	IV	V	
B. V. + Ac	6287.07	5793.44	4714.81	5266.81	4823.87	5377.20
Cam. + Ac	7067.07	4248.52	4816.22	4550.30	5073.40	5151.10
Barrera Viva	8666.05	4044.16	5373.33	4398.23	5034.46	5503.25
Testigo	6437.64	4154.20	3844.88	4340.49	5034.80	4762.40

Cuadro 28a Rendimiento de materia seca de zacatón (*Panicum maximum*) en kg/m en los tratamientos de acequia con barrera viva y barrera viva en San Mateo Milpas Altas (1991)

Tratamientos	Repetición					Media
	I	II	III	IV	V	
Barrera Viva + Ac	1.09	1.29	0.86	0.62	0.71	0.91
Barrera Viva	1.06	1.06	0.65	0.49	0.71	0.79

Cuadro 29a Reducción de la pendiente en porcentaje (%) observado en el quinto año de evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en los distintos tratamientos y repeticiones en San Mateo Milpas Altas (1991)

Tratamiento	Repetición					Media
	I	II	III	IV	V	
Barrera V. + Ac	4.10	5.80	7.28	4.80	5.90	5.60
Camellones + Ac	1.68	2.48	9.54	10.80	5.04	5.91
Barrera Viva	12.93	7.08	8.44	11.16	9.92	9.91
Testigo	0.43	1.82	4.91	5.00	5.36	3.50

Cuadro 30a. Costos de producción para 1 hectárea de maíz (*Zea mays* L.) en San Mateo Milpas Altas para el año de 1991¹.

I. COSTOS VARIABLES.

	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	SUBTOTAL	TOTAL
1. Insumos.					
Fertilizante	qq	9	76	684.00	
Semilla	qq	0.45	50	<u>22.50</u>	706.50
2. Mano de Obra.					
Preparación de tierra	Ha.	1	1350	1350.00	
Siembra	Jor.	9	10	90.00	
Primera limpia	Jor.	12	10	120.00	
Segunda limpia	Jor.	18	10	180.00	
Fertilización	Jor.	5	10	50.00	
Cosecha	Jor.	15	10	<u>150.00</u>	1940.00
II. COSTOS FIJOS.					
Arrendamiento	Ha	1	1350.00	1350.00	
Administración				132.36	
Interés				132.36	
Imprevistos				<u>264.65</u>	<u>1879.31</u>
T O T A L.....					4525.81

¹/ En 1991: Q 1.00 = U\$ 0.20



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
 FACULTAD DE AGRONOMIA
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
 AGRONOMICAS

Ref. Sem.049-92

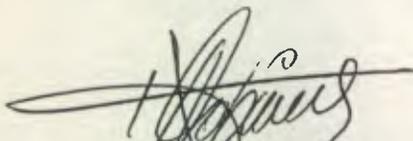
LA TESIS TITULADA: "EVALUACION DE TRES PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS DENTRO DE LA SUB-CUENCA DEL RIO PENSATIVO, SACATEPEQUEZ; DE 1987 a 1991".

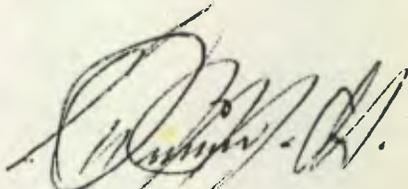
DESARROLLADA POR ELESTUDIANTE: MILTON LEONEL CHAN SANTISTEBAN

CARNET No.: 87-13276

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Isaac Herrera
 Ing. Agr. Gustavo Méndez
 Ing. Agr. José Calderón
 Ing. Agr. César Castañeda

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

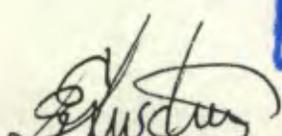

 Ing. Agr. Hugo Antonio Tobías
 ASESOR


 Ing. Agr. M. Sc. Maxdelio Herrera de León
 ASESOR


 Dr. Luis Mejía de León
 DIRECTOR DEL IIA



IMPRIMASE


 Ing. Agr. Eirain Medina Guerra
 DECANO

