

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

CUARTA EVALUACION DE TRES PRACTICAS DE CONSERVACION DE
SUELOS EN EL CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)
EN LA CUENCA DEL RIO PENSATIVO, SACATEPEQUEZ, GUATEMALA.

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

POR

PEDRO ARNULFO PINEDA COTZOJAY

En el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADEMICO DE

LICENCIADO

Guatemala, octubre de 1991

DL
01
T(1334)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

RECTOR

DR. ALFONSO FUENTES SORIA

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO:	Ing. Agr. Efraín Medina G.
VOCAL I:	Ing. Agr. Mynor Estrada R.
VOCAL II:	Ing. Agr. Waldemar Nufio R.
VOCAL III:	
VOCAL IV:	P.A. Alfredo Itzep M.
VOCAL V:	P.A. Francisco Ibarra C.
SECRETARIO:	Ing. Agr. Marco Romilio Estrada M.

Guatemala, 8 de octubre de 1991

Señores

Honorable Junta Directiva

Honorable Tribunal Examinador

Facultad de Agronomía

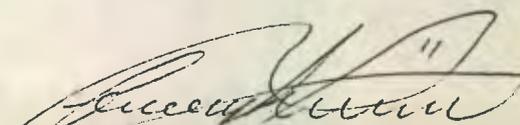
Universidad de San Carlos de Guatemala

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:

"CUARTA EVALUACION DE TRES PRACTICAS DE CONSERVACION
DE SUELOS EN EL CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.)
EN LA CUENCA DEL RIO PENSATIVO, SACATEPEQUEZ, GUATEMALA"

Presentándolo como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícola, espero merezca vuestra aprobación.

Respetuosamente.


Pedro Arnulfo Pineda Cotzójay.

ACTO QUE DEDICO

A DIOS

A MIS PADRES: Tránsito Pineda Quezada (QEPD)
Feliza Cotzojay de Pineda

A MIS HERMANOS: Juventino, Ana, Julio, Yolanda, Mirtala
y José

A MI ESPOSA: Angélica

A MIS HIJAS: Idania Karina y Angélica Estefanía

A MIS TIOS

A MIS PRIMOS

A MIS SOBRINOS

A MIS CUNADAS Y CUNADOS

A MIS AMIGOS

TESIS QUE DEDICO

A:

GUATEMALA

LA ALDEA CONCEPCION EL CEDRO

EL MUNICIPIO DE SAN VICENTE PACAYA

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

LA FACULTAD DE AGRONOMIA

EL INSTITUTO TECNICO DE AGRICULTURA

EL INSTITUTO BASICO POR COOPERATIVA DE SAN
VICENTE PACAYA

A LOS CLUBES 4-S DE GUATEMALA

A LOS CONSERVACIONISTAS DE LOS RECURSOS
NATURALES RENOVABLES

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer sinceramente a mis asesores Ing. Agr. M. Sc. Maxdelio Herrera e Ing. Agr. Hugo Tobías por su valiosa orientación en el desarrollo del presente trabajo de Tesis.

Al Ing. Agr. Aníbal Sacbajá, encargado del laboratorio de análisis de suelos de la Facultad de Agronomía, por su desinteresada colaboración en la etapa de laboratorio.

Al Instituto de Investigaciones Agronómicas por el apoyo brindado para la realización de la presente investigación.

Al Departamento de Becas al Interior de la Unidad de Formación de Recursos Humanos, del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, por el financiamiento de mi carrera universitaria.

A todas aquellas personas que de una u otra forma colaboraron en la realización de esta Tesis.

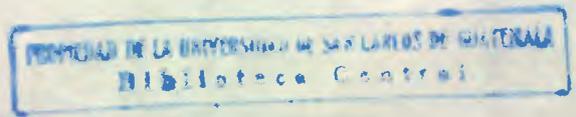
CONTENIDO

	PAG.
CONTENIDO	vii
INDICE DE FIGURAS	ix
INDICE DE CUADROS	xi
RESUMEN	xiii
1. INTRODUCCION	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
3. MARCO TEORICO	4
3.1. Marco conceptual	4
3.1.1. Factores que favorecen la erosión .	4
3.1.2. Prácticas de conservación de suelos	6
3.1.3. Estudios realizados en Guatemala	11
3.2. Marco referencial	11
3.2.1. Ubicación del área de estudio	11
3.2.2. Descripción del área de estudio	13
4. OBJETIVOS	15
5. HIPOTESIS	16
6. METODOLOGIA	17
6.1. Diseño del experimento	17
6.1.1. Tratamientos a evaluar	17
6.1.2. Diseño experimental	17
6.1.3. Unidad experimental	20
6.1.4. Manejo del experimento	20
6.1.5. Medición de las variables	22
6.1.6. Medición de la precipitación pluvial	24
6.1.7. Análisis de la información	24

7. RESULTADOS Y DISCUSION	26
7.1. Precipitación pluvial	26
7.1.1. Precipitación total mensual	26
7.1.2. Intensidad	26
7.1.3. Frecuencia de las precipitaciones	29
7.2. Escurrimiento superficial	30
7.3. Suelo erosionado y características del mismo	32
7.3.1. Cantidad de suelo erosionado	32
7.3.2. Características granulométricas	36
7.4. Correlación entre variables evaluadas	38
7.5. Rendimiento del cultivo	40
7.6. Costos de establecimiento y mantenimiento de las prácticas evaluadas	43
7.7. Análisis de rentabilidad de las prácticas evaluadas	45
8. CONCLUSIONES	50
9. RECOMENDACIONES	51
10. BIBLIOGRAFIA	52
11. APENDICE	54

INDICE DE FIGURAS

No.	PAG.
1. Ubicación del área de estudio a nivel nacional, en el departamentode Sacatepéquez y en la cuenca del río Pensativo.	12
2a. Sección transversal de los tratamientos evaluados con cultivo de frijol: acequia con barrera viva y camellón en contorno con acequia	18
2b. Sección transversal de los tratamientos evaluados con cultivo de frijol: barrera viva y testigo	19
3. Esquema de una parcela de escurrimiento establecida en el experimento	21
4. Precipitación mensual de 1988, 1990 y 10 años de registro en San Mateo Milpas Altas	28
5. Escurrimiento superficial registrado en las parcelas de escorrentía, 1990.	31
6. Suelo erosionado en las parcelas de escurrimiento en 1990 según tratamientos	33
7. Distribución del tamaño de partículas en los sedimentos según tratamientos evaluados en 1990	37
8. Concentración de fósforo en los sedimentos y en el suelo según tratamientos evaluados en 1990.	39
9. Concentración de potasio en los sedimentos y en el suelo según tratamientos evaluados en 1990.	39



10. Rendimiento en grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en las prácticas evaluadas 42
11. Costo de producción de las prácticas de conservación de suelos evaluadas en San Mateo Milpas Altas, 1990. 48
12. Rentabilidad de las prácticas de conservación de suelos evaluadas en San Mateo Milpas Altas, 1990. 49

INDICE DE CUADROS

No.		PAG.
1.	Distanciamientos recomendados para el establecimiento de barreras vivas	7
2.	Precipitación mensual registrada en 1988, 1990 y promedio del registro de los últimos 10 años para el período de estudio	27
3.	Precipitación y frecuencia para 5 clases de lluvias ocurridas en San Mateo Milpas Altas en 1990.	29
4.	Eventos de lluvia que provocaron arrastre de suelo en San Mateo Milpas Altas, 1990	30
5.	Análisis de varianza para el escurrimiento superficial registrado en el experimento	30
6.	Prueba de tukey para el escurrimiento superficial	32
7.	Análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado	34
8.	Prueba de tukey para la cantidad de suelo erosionado	35
9.	Análisis de varianza para el rendimiento del cultivo	40
10.	Prueba de tukey para el rendimiento del cultivo	41
11.	Costos de producción para una ha. de frijol en San Mateo Milpas Altas. 1990.	44
12.	Costo de producción en quetzales, y rentabilidad de las tres prácticas de conservación evaluadas y el testigo.	46

13a. Escurrimiento superficial en m ³ /ha para tratamientos y repeticiones	55
14a. Escurrimiento superficial en % para tratamientos y repeticiones	55
15a. Suelo erosionado (ton/ha) para tratamientos y y repeticiones	56
16a. Rendimiento en grano de frijol (kg/ha) para tratamientos y repeticiones	56
17a. Análisis de fertilidad al inicio del experimento para tratamientos y repeticiones en las parcelas de escurrimiento	57
18a. Análisis de fertilidad al final del experimento para tratamientos y repeticiones en las parcelas de escurrimiento	58
19a. Características físicas de los sedimentos según tratamientos en las parcelas de esorrentía	59
20a. Características químicas de los sedimentos según tratamientos en las parcelas de esorrentía	59
21a. Cantidades de elementos fertilizantes registrados los sedimentos según tratamientos	60
22a. Rendimiento en kg/ha de materia seca del zacatón utilizado en la barrera viva	60
23a. Análisis de correlación entre las principales características de los sedimentos y precipitación pluvial, San Mateo Milpas Altas, 1990.	61

CUARTA EVALUACION DE TRES PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS EN EL
CULTIVO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) EN LA
CUENCA DEL RIO PENSATIVO, SACATEPEQUEZ, GUATEMALA

FOURTH EVALUATION OF THREE SOIL CONSERVATION METHODS IN BEAN
(*Phaseolus vulgaris* L.) CROP AT THE PENSATIVO RIVER WATERSHED,
SACATEPEQUEZ, GUATEMALA

RESUMEN

La presente investigación constituye la fase IV del proyecto de evaluación de prácticas de conservación de suelos en la cuenca del río Pensativo, que impulsa la Facultad de Agronomía a través del Instituto de Investigaciones Agronómicas y la Dirección General de Investigación, realizada en la aldea San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala, Sacatepéquez. El objetivo fue evaluar la efectividad de tres prácticas de conservación de suelos en el control de la erosión hídrica. Las prácticas evaluadas fueron acequia más barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*), camellón en contorno más acequia y sólo barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*). Se compararon con respecto a un testigo, el cual fue manejado de acuerdo a la forma de cultivo tradicional que usan los agricultores de la región, sin prácticas de conservación de suelos. El trabajo consistió en cuantificar el escurrimiento superficial y el suelo erosionado, utilizando el método de parcelas de escurrimiento, para lo cual se instalaron 20 parcelas de un área de 49 m² cada una, las cuales se

distribuyeron en base a un diseño en bloques al azar con cinco repeticiones. A los valores de escurrimiento superficial, suelo erosionado y rendimiento del cultivo se les hizo un análisis de varianza y prueba de medias. Además se hizo un análisis de rentabilidad para los cuatro tratamientos. El cultivo utilizado para la investigación fue frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el cual se manejó de acuerdo a la tecnología tradicional del área.

Los resultados obtenidos indican que las lluvias iguales o mayores a 20 mm y con intensidad mayor a 16 mm/hora, son las únicas que provocaron arrastre de partículas de suelo. En cuanto al escurrimiento superficial, la acequia más barrera viva de zacatón (*Panicum maximum*), y el camellón en contorno más acequia, fueron las prácticas más efectivas para reducirlo. En lo que al rendimiento del cultivo se refiere, el valor más alto se registró en las tres prácticas de conservación de suelo evaluadas, que fueron iguales entre sí, mientras que el testigo fue el que presentó el más bajo rendimiento.

De acuerdo al análisis económico, se determinó que los mayores valores en cuanto a costos de producción, los presentaron las tres prácticas de conservación evaluadas, comparativamente al testigo, sin embargo, la rentabilidad y la relación-beneficio costo en este último son las más bajas que se obtuvieron.

1. INTRODUCCION

Los recursos naturales renovables representan la mayor parte de la riqueza con que cuenta Guatemala; dentro de éstos, el suelo es fundamental para la economía nacional, ya que la actividad principal a que se dedica la población es la agricultura, no obstante que el mayor porcentaje del territorio es de vocación forestal. Esta situación ha generado un proceso acelerado de deterioro de este recurso en áreas de minifundio, en donde las condiciones socioeconómicas de los habitantes inciden en el mal manejo del suelo.

La cuenca del río Pensativo es un área típica del altiplano central, lugar donde este problema se está desarrollando, ya que tierras susceptibles o muy susceptibles a la erosión están siendo utilizadas para la producción agrícola con cultivos que ofrecen poca protección al suelo; además que no se implementan prácticas de conservación de suelos. Esto ha ocasionado que el cauce de dicho río se asolve, dando lugar a inundaciones que afectan a la población de la parte baja de esta cuenca.

La Facultad de Agronomía desde 1987, a través del Instituto de Investigaciones Agrícolas (IIA) y en coordinación con la Dirección General de Investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala (DIGI), ha desarrollado proyectos de investigación que tienden a dar solución a la problemática antes mencionada, evaluando la eficiencia en el control de la erosión hídrica de algunas prácticas de conservación de suelos tomando en cuenta la rotación de cultivos maíz-frijol para poder recomendar a las instituciones que trabajan directamente con los agricultores del área, las que más convengan, según las condiciones prevalecientes en el lugar.

Dentro de este contexto se desarrolló la presente investigación, que

consistió en la evaluación de tres prácticas de conservación de suelos en la aldea San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala, Sacatepéquez. Esta área es considerada por investigaciones anteriores, como crítica dentro de la cuenca (3). Las prácticas evaluadas fueron acequia con barrera viva de zacatón (Panicum maximum), camellón en contorno con acequia y solo barrera viva de zacatón (Panicum maximum). El método empleado fue el de parcelas de escurrimiento, distribuyendo las mismas en el sitio experimental, de acuerdo a un diseño en bloques al azar. Las variables para determinar la efectividad de las prácticas en el control de la erosión hídrica fueron: escurrimiento superficial, cantidad de sólidos erosionados, características granulométricas y químicas de los mismos, y el rendimiento del cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.).

El período en que se realizó la investigación fue de junio a diciembre de 1990.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La utilización de los recursos naturales renovables en la parte alta de la cuenca del río Pensativo, sin que se tomen las medidas adecuadas para su conservación, ha provocado año tras año, la erosión del suelo por efecto de la precipitación pluvial, trayendo como consecuencia que la fertilidad de este recurso se disminuya y que el mismo se pierda. Así mismo las partículas arrastradas por el agua de escorrentía han provocado el asolve del cauce del río en la parte baja, causando inundaciones en la ciudad de Antigua Guatemala.

Cabrera (1) reporta que se invertían, de 1976 a 1983, un promedio de Q55,000 para extraer 40000 m³ de sedimentos por año, de la parte del cauce que sirve como desarenador al río, en la entrada de la ciudad. También reporta que la pérdida de elementos fertilizantes de la parte alta de la cuenca es alta, ya que determinó que aquí, el fósforo se presenta en 4.56 ppm en el suelo, mientras que el análisis hecho a los sedimentos del cauce en la parte baja, reportó 15.74 ppm, y tomando en cuenta el volumen total de sedimentos, que es de 72000 tm/año, se tienen 1134 kg del elemento desperdiciados, que equivale a 50 quintales de triple superfosfato. Por la anterior situación existe la necesidad de alternativas de solución al problema, tanto por la sedimentación y consecuente inundación, como por el empobrecimiento de la fertilidad del suelo en la parte alta.

La presente investigación pretende encontrar la práctica de conservación de suelos que mejor controle la pérdida de partículas de suelo y que sea rentable para los agricultores de la región. Para la realización de la misma se ha tomado a la aldea San Mateo Milpas Altas por ser representativa de la parte alta de la cuenca del río Pensativo.

3. MARCO TEORICO

3.1. Marco conceptual

3.1.1. Factores que favorecen la erosión:

A. Tipo de suelo:

Cada tipo de suelo tiene un comportamiento agronómico diferente y requiere de un uso racional y manejo adecuado para su conservación. Según estudios realizados por Cenicafé, las cenizas volcánicas ofrecen una mayor resistencia a la erosión, mientras que esquistos pizarrosos son muy susceptibles a la misma (10). Los suelos de textura gruesa poseen altas velocidades de infiltración, pues tienen buen drenaje y alta permeabilidad, por lo que su potencial de escurrimiento es bajo, no así los suelos de textura fina, donde el drenaje superficial es lento y la velocidad de infiltración baja, por lo que poseen alto potencial de erosión (1).

B. Uso y manejo del suelo:

El uso y manejo de los suelos juegan un papel importante en la erosión, pues si se hacen técnicamente constituyen factores temperantes de la misma. En el manejo del suelo, las labores y su frecuencia, así como las herramientas que se utilizan y la profundidad a que se realicen influyen en la escorrentía. El uso del azadón promueve la infiltración y disminución de la escorrentía, pero como remueve y desmorona el suelo, éste queda en condiciones de ser arrastrado fácilmente por el agua (10).

C. Pendiente:

La pendiente tiene dos factores principales que influyen en la erosión: la inclinación (grado y longitud). A medida que aumenta la inclinación, crece el peligro de erosión, porque el agua corre más

rápidamente por la superficie y disminuye el tiempo para infiltrarse. La longitud de la pendiente influye en la velocidad y volumen del agua de escorrentía, la cual aumenta su poder erosivo a medida que aumenta la longitud (10).

D. Lluvias:

Ejercen un efecto mecánico sobre los agregados del suelo, debido al impacto de las gotas de lluvia que desprenden las partículas que son fácilmente arrastradas por el agua de escorrentía. La velocidad y volumen de escorrentía están directamente relacionadas con la intensidad y frecuencia de los aguaceros (10).

i. Intensidad:

Es la cantidad de lluvia caída en un determinado tiempo. Las lluvias con alta intensidad se presentan generalmente en períodos cortos y desarrollan mayor actividad erosiva en los suelos, mientras que las lluvias de baja intensidad se presentan en períodos más largos y su acción erosiva disminuye (1).

ii. Frecuencia:

Esta dada por los intervalos entre las lluvias. Intervalos cortos aumentan los riesgos de que se origine escorrentía aún con lluvias de baja intensidad, debido a que el contenido de humedad del suelo al comenzar éstas será alto (1).

E. Cubierta vegetal:

La cubierta vegetal es la mejor defensa natural de un terreno contra la erosión. Toda planta, desde la más minúscula hierba, hasta el árbol más corpulento, defienden el suelo de la acción perjudicial de las lluvias en forma y proporción diferentes (11). Un terreno recubierto por una vegetación permanente, prado o selva, no muestra

señales de erosión, puede haber escorrentía si la pendiente es fuerte, pero las pérdidas de tierra son nulas. El bosque protege el suelo 40 veces más que el barbecho y si un cultivo cubre bien el suelo, la erosión no sobrepasa de unas pocas toneladas por hectárea por año; en cambio si las siembras son poco densas, las pérdidas de tierra alcanzan de 8 a 15 ton/ha/año, y si los cultivos son diezmados por los insectos o las enfermedades, la erosión puede elevarse hasta 50 ton/ha/año (11).

3.1.2. Prácticas de conservación de suelos:

Son todas aquellas prácticas encaminadas a aumentar las resistencias o disminuir las fuerzas que intervienen en la erosión (11). Se pueden clasificar en técnicas biológicas y mecánicas.

A. Técnicas biológicas:

Consisten en procedimientos que tienen como objetivo la obtención de una cobertura adecuada y lograr el fortalecimiento de las características y cualidades de los suelos para hacerlos más resistentes al proceso de la erosión; a estas técnicas también se les conoce como prácticas agronómicas y culturales de conservación de suelos. Las principales son:

i. Barreras vivas:

Son hileras de plantas perennes o semiperennes de crecimiento rápido y denso, que se cultivan transversalmente a la pendiente del terreno, con determinado distanciamiento horizontal, el cual depende de la pendiente del terreno, y siguen las curvas de nivel (10).

Es deseable que las especies utilizadas para barrera viva posean características tales como ser de crecimiento rápido, enraizamiento

profundo, reacción favorable al enterrado de su base, reproducción asexual, buen amacollamiento y que sean perennes o de larga vida (11). Para la zona donde se realizó el experimento se recomienda la utilización del zacatón (Panicum maximun), porque, además de poseer las características antes mencionadas, presenta otra ventaja para los agricultores del área, ya que la utilizan como forraje para la alimentación de ganado.

En el cuadro 1 se presentan los distanciamientos recomendados por Suárez de Castro (13) para el establecimiento de las barreras vivas tanto en cultivos limpios como en cultivos densos.

Cuadro 1. Distanciamientos recomendados para el establecimiento de barreras vivas en cultivos limpios y en cultivos densos.

Pendiente del terreno en %	Distancia horizontal (m)	
	Cultivo limpio	Cultivo denso
5	20.0	25.0
10	15.0	20.0
15	10.0	18.0
20	9.0	15.0
25	8.0	15.0
30	6.5	12.0
35	6.0	12.0
40	6.0	9.0
50	-	9.0
> DE 60	-	6.0

Fuente: Suárez de Castro. Conservación de suelos.

ii. Siembra en contorno:

La siembra en contorno consiste en disponer las hileras de siembra y verificar las labores de cultivo en forma transversal a la pendiente siguiendo curvas de nivel (11).

El establecimiento de los surcos perpendiculares a la pendiente, y por ende al escurrimiento, ocasiona una fuerte disminución del proceso erosivo, por la fragmentación que causan los surcos al actuar como microdiques (11).

iii. Distribución de los cultivos:

Constituyen la base de los programas de conservación de suelos y los mismos deben establecerse de acuerdo con la capacidad de uso de la tierra; según la clasificación agrológica de la misma (11).

iv. Rotación de cultivos:

Consiste en una sucesión de diferentes cultivos en ciclos agrícolas continuos en el mismo terreno. Con buena rotación de cultivos se logrará mejorar las condiciones del suelo, lo cual se reflejará en reducciones grandes en las pérdidas de suelo y agua. Es recomendable que las exigencias alimenticias de los cultivos que se suceden en la rotación sean diferentes, no ser susceptibles a las mismas plagas y enfermedades y ofrecer grados diferentes de protección al suelo (14).

v. Cultivo en fajas:

Consiste en establecer bandas cultivadas de anchura variable sobre terrenos con pendientes del 2 al 15%, siguiendo el sentido general de las curvas a nivel, de tal forma que se alternen plantas que ofrecen poca protección al suelo con otras de crecimiento denso (10).

vi. Plantas de cobertura y abonos verdes:

Se utilizan para proteger el suelo, sobre todo contra la acción de lluvias y mejorar sus condiciones físicas y químicas para el crecimiento del cultivo posterior, y cuando esas plantas se entierran, se denominan abonos verdes, y sus efectos benéficos en el suelo son por el aumento de la materia orgánica y los efectos que ésta tiene sobre las propiedades fisico-químicas del suelo, lo cual influye en una reducción en la escorrentía y por ende en la pérdida de suelo por erosión (14).

B. Prácticas mecánicas:

Son aquellas prácticas que se realizan con implentos agrícolas y consisten en realizar movimientos de tierra, con el fin de disminuir los escurrimientos superficiales y evitar la erosión de terrenos con pendiente (14).

i. Canales de desviación:

Son estructuras que sirven para evacuar volúmenes considerables de agua. Generalmente se les da una sección trapezoidal y es necesario calcularlos y diseñarlos individualmente para las condiciones de trabajo (10).

Este tipo de obra constituye defensa de primera línea y su presencia resulta esencial al sistema de protección representado por las restantes estructuras (11).

ii. Terrazas:

Son los terraplenes formados entre los bordos de tierra, o la combinación de bordos y canales, construidos en sentido perpendicular a la pendiente del terreno, con lo cual se reduce la erosión del suelo, aumenta la infiltración del agua en el suelo,

disminuye el volumen de escorrentía y mejora la superficie de los terrenos, acondicionándolos para los labores agrícolas (10).

Revolorio (11) señala que en la región norte de Guatemala, la construcción de terrazas de banco continuas, es la práctica que representa mayor eficiencia en el control de la erosión hídrica, pero el costo de construcción es más elevado que el de las otras prácticas de conservación de suelos (14).

A continuación se presenta la fórmula para determinar las dimensiones de las terrazas de banco:

$$C = \frac{3 \times h}{4 \times p}$$

$$T = C - h$$

$$AT = C + T + B$$

en donde:

C = corte

h = espesor del horizonte A

p = pendiente en m/m

T = terraplén

AT = ancho total

b = base del talud (generalmente igual al espesor del horizonte A, cuando talud=1:1).

iii. Acequias:

Son zanjas de 0.3 m de ancho, con taludes dependientes de la textura del suelo y con profundidad y pendiente variables. Se construyen a distancias regulares de acuerdo con la pendiente y uso del terreno. A 0.15 m del borde superior de la acequia y a todo lo largo de ella, se siembra una barrera viva con el objeto de filtrar

el agua que llegue al canal y en esa forma, disminuir la cantidad de material que en él se deposite. Su construcción es aconsejable en zonas con lluvias intensas y en áreas con suelo poco permeable (10).

3.1.3. Algunos estudios realizados en Guatemala:

Hasta la fecha se han realizado dos estudios similares en Guatemala (Tesis de Grado). En uno de ellos, realizado en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), López (10) reporta que solamente lluvias mayores de 5 mm provocan escurrimiento, mientras que el arrastre de partículas se da con lluvias mayores de 20 mm con un intensidad promedio de 15 mm/hora. También indica que la práctica más efectiva en la reducción del escurrimiento es la acequia con barrera viva y en cuanto a la erosión la más efectiva fue la acequia sin barrera viva. Similares resultados reporta Revolorio (11) en un estudio que se desarrolló bajo condiciones iguales, en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

3.2. Marco referencial

3.2.1. Ubicación del área de estudio:

La investigación se realizó en la aldea San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala, Sacatepéquez, localizada a $14^{\circ} 34' 45''$ de latitud norte, $90^{\circ} 41' 46''$ longitud oeste y a 1910 metros sobre el nivel del mar (9) figura 1.

Desde el inicio de este tipo de investigaciones, el área fue seleccionada por ser representativa de las características del altiplano centro-occidental del país, y lo más importante es que se considera un área crítica de erosión dentro de la cuenca del río



Fig. 1a

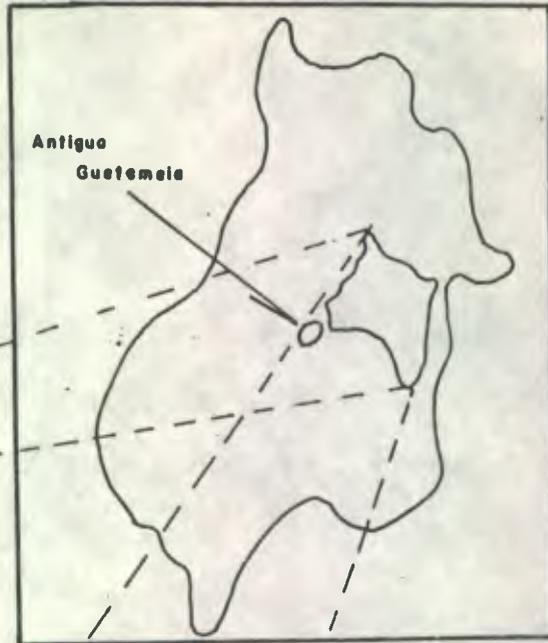


Fig. 1b

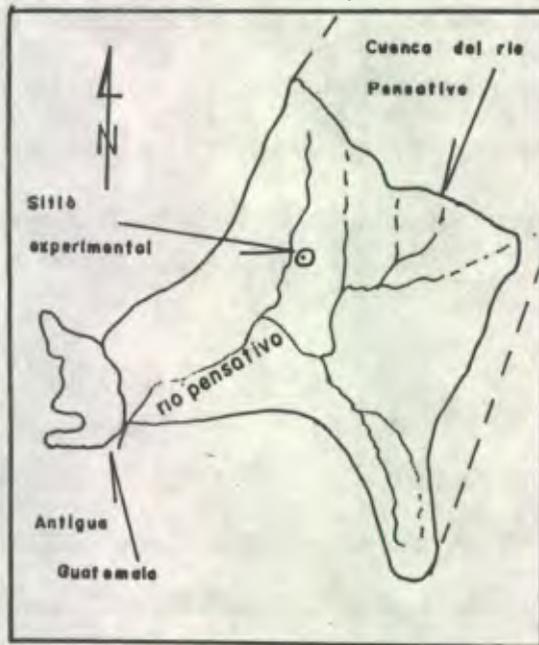


Fig. 1c

Fig. 1. Ubicación del sitio experimental: 1a) a nivel nacional; 1b) en el departamento de Sacatepéquez; 1c) dentro de la cuenca del río pensativo.

Pensativo, debido a las características del suelo y la presión demográfica sobre los recursos naturales (3).

3.2.2. Descripción del área de estudio:

La precipitación pluvial media anual es de 1000 mm, la temperatura máxima es de 22.4° C, la mínima de 12.8° C y la temperatura media anual es de 16.5° C (11). Según el Atlas Climatológico de la República de Guatemala (7), la evapotranspiración potencial por el método de Hargreaves es de 1400 mm, la humedad relativa es de 80% y el brillo solar medio mensual es de 180 horas-sol. La zona de vida a que pertenece el área es Bosque Montano Bajo Subtropical según J. de la Cruz (4).

Los suelos se clasifican taxonómicamente como (Entic eutrandspts) (3). Según Simmons, Tárano y Pinto (12), están desarrollados sobre materiales fluvio-volcánicos recientes a elevaciones medianas, en un área formada por abanicos aluviales traslapados, de material arrojado por los volcanes en época relativamente reciente.

Según Revolorio (11), 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. En los horizontes superficiales Ap y AC se encuentra una textura francoarenosa, estructura granular fina, débilmente desarrollada, consistencia suave en seco y suelta en húmedo. Poseen bajo contenido de materia orgánica, alto porcentaje de saturación de bases y capacidad de intercambio catiónico de 18.45 meq/100 ml. La pendiente promedio del terreno es de 32%, el suelo tiene un alto grado de deterioro, ya que el horizonte A casi ha desaparecido.

En cuanto a geología superficial, el área está ubicada sobre una capa

de rocas volcánicas basálticas (Tvb) que son exclusivas del Cuaternario, de tipo lajar en forma de colados de lava, con compuestos ferromagnésicos, feldespatos y menor cantidad de sílice (3).

4. OBJETIVOS

- 4.1. Determinar la efectividad de tres prácticas de conservación de suelos bajo el cultivo de frijol (Phaseolus vulgaris L.), para controlar el escurrimiento superficial y suelo erosionado, con respecto a la práctica tradicional de manejo de suelos del área.
- 4.2. Determinar la cantidad de suelo erosionado, escurrimiento superficial y las características de los sedimentos provocados por el efecto de la precipitación pluvial durante la época lluviosa del año 1990, en San Mateo Milpas Altas.
- 4.3. Determinar el efecto de las prácticas de conservación de suelos sobre el rendimiento de frijol (Phaseolus vulgaris L.).
- 4.4. Determinar la rentabilidad de las tres prácticas de conservación de suelos para compararla con la rentabilidad de la práctica tradicional de manejo de los suelos del área.

5. HIPOTESIS

- 5.1. Por lo menos una práctica de conservación de suelos, reducirá el escurrimiento superficial y el suelo erosionado, con respecto a la práctica tradicional de manejo de los suelos del área.
- 5.2. El rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se incrementa con el uso de prácticas de conservación de suelos.
- 5.3. La rentabilidad de las tres prácticas de conservación de suelos será superior a la rentabilidad de la práctica tradicional de manejo de los suelos del área.

6. METODOLOGIA

6.1. Diseño del experimento:

6.1.1. Tratamientos a evaluar: (figura 2a y 2b)

En base a las características de los suelos, la agricultura del área y características socioeconómicas de la misma, se seleccionaron los siguientes tratamientos:

- Acequia de ladera con barrera viva; se usó zacatón (Panicum maximum)
- Camellón en contorno con acequia
- barrera viva, zacatón (Panicum maximum)
- Testigo (sin práctica de conservación de suelos).

Como barrera viva, para los primeros dos tratamientos, se utilizó el zacatón (Panicum maximum) por ser un material vegetativo que evita la pérdida de suelo por su poder de amacollamiento y sistema radicular profundo, además de que los agricultores del área lo utilizan como forraje para la alimentación de ganado.

6.1.2. Diseño experimental:

Debido a que existe una gradiente de pendiente en sentido Norte-Sur, se utilizó el diseño experimental bloques al azar con cinco repeticiones y cuatro tratamientos.

Modelo estadístico:

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

En donde:

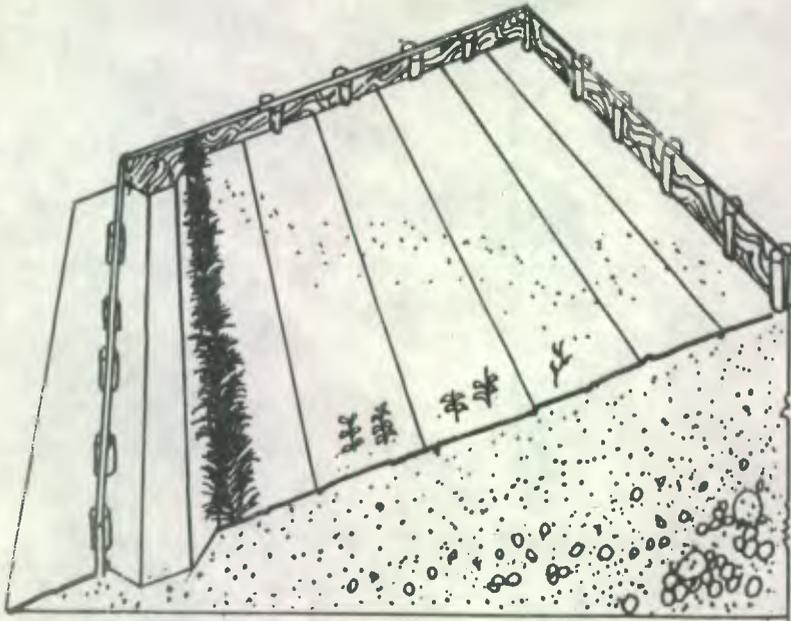
Y_{ij} = variable respuesta de la ij -ésima unidad experimental

μ = valor de la media general

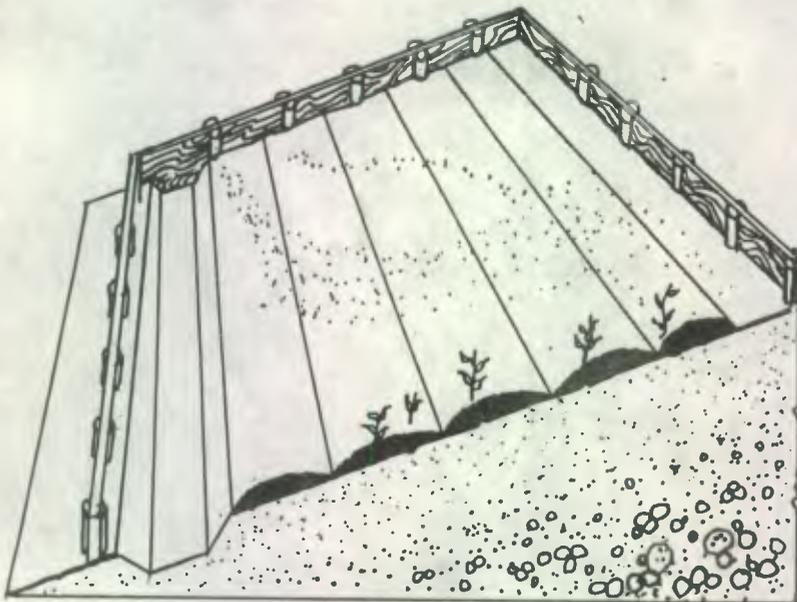
τ_i = efecto de la i -ésima práctica de conservación de suelos

β_j = efecto del j -ésimo bloque

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

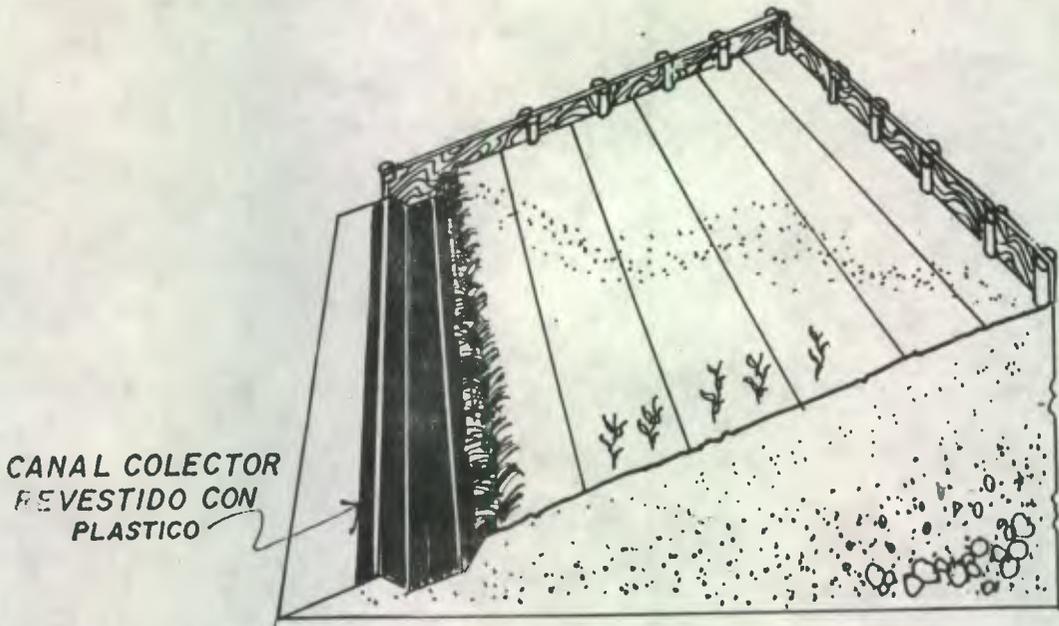


ACEQUIA CON BARRERA VIVA

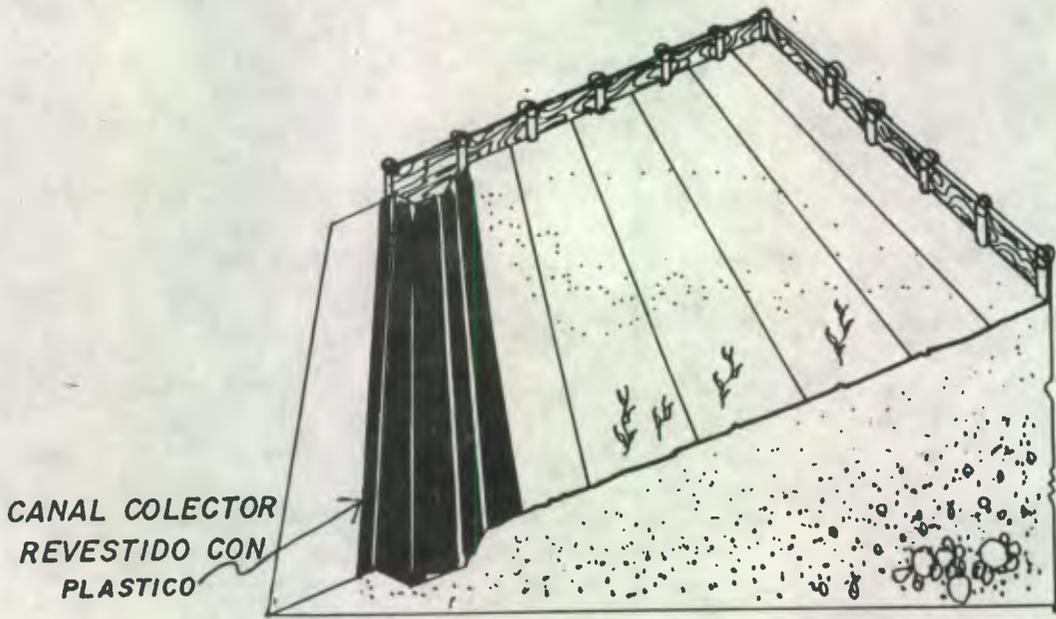


CAMELLON EN CONTORNO CON ACEQUIA

FIG. 2A SECCION TRANSVERSAL DE LOS TRATAMIENTOS



BARRERA VIVA



TESTIGO

FIG. 2b CORTE TRANSVERSAL DE LOS TRATAMIENTOS

6.1.3. Unidad experimental:

Como unidad experimental se utilizó una parcela de escurrimiento.

6.1.4. Manejo del experimento:

A. Establecimiento de las prácticas de conservación:

Consistió en la construcción de camellones en contorno, acequias de ladera y siembra de barrera viva.

B. Establecimiento y mantenimiento del cultivo:

Se sembró frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), utilizando semilla de la variedad local. Se hicieron cinco surcos por parcela (camellones de 0.75 m de ancho y 0.6 m entre camellones), sobre el camellón se colocaron tres granos por postura a 0.15 m entre postura y 0.3 m entre hileras. En el testigo se utilizaron las mismas distancias pero al momento de la limpia a los 30 días después de la siembra se borró el camellón. Únicamente se aplicó una fertilización al momento de la siembra y se hizo una limpia a los 30 días después de ésta para continuar con la técnica empleada por los agricultores del área.

C. Confinamiento de parcelas:

El método utilizado para estimar el escurrimiento superficial y el suelo erosionado fue el de parcelas de escurrimiento de un tamaño de 49 m² en forma cuadrada, circundadas con tablas de madera de segunda (lepa) de 0.25 m de ancho, las cuales se introdujeron 0.15 m en el suelo para evitar la penetración de escorrentía superficial de áreas circundantes. Las tablas se fijaron con estacas de madera de 1 m de largo y 0.05 m de diámetro (figura 3).

D. Sistema colector de agua y sedimentos:

i. Canal colector:

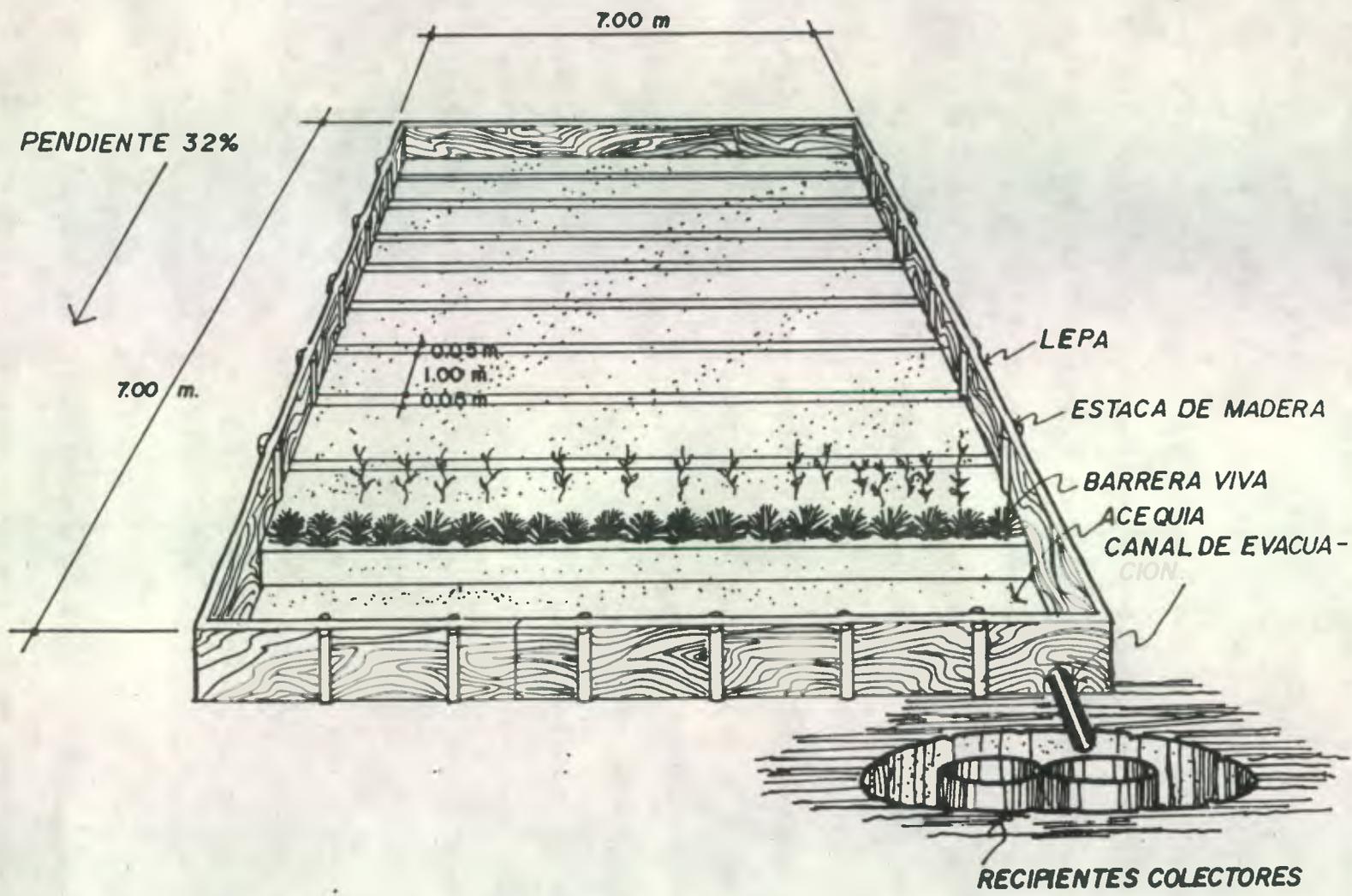


FIG.3 ESQUEMA DE UNA PARCELA DE ESCORRENTIA ESTABLECIDA EN EL ENSAYO CON
 ACEQUIA MAS BARRERA VIVA. —
 ESCALA 1:50

Se hicieron zanjas de forma trapezoidal en la parte inferior de las parcelas de escurrimiento y se cubrieron con polietileno azul en las parcelas que tenían el tratamiento barrera viva y testigo (figura 2b); para colocar el polietileno, se hizo una zanja de 10 cms. de profundidad en la parte interior de la parcela, donde se enterró el extremo del plástico enrollado en un tallo de vara de castilla (Phragmites comunis), el otro extremo del plástico se fijó a las lepas por medio de clavos en la parte exterior de la parcela. En las parcelas con los otros tratamientos no se puso polietileno para tomar en cuenta el efecto de infiltración de la acequia.

ii. Canales de evacuación:

Se hicieron canales semicirculares de lámina de 0.7 m de largo para evacuar el agua y sedimentos de los canales colectores a los recipientes colectores.

iii. Recipientes colectores:

Consistieron en toneles plásticos de 200 litros de capacidad, instalando dos toneles por cada parcela, lo cual fue determinado por Revolorio (11) en base al escurrimiento máximo posible para el área, por el método racional modificado. Cada tonel se colocó en agujeros, dejando una altura de 0.1 m abajo de la abertura del canal de evacuación. Los dos toneles de cada parcela se conectaron con tubo P.V.C. en la parte superior (figura 3).

6.1.5. Medición de las variables:

A. Escurrimiento superficial:

La medición se hizo después de cada evento de lluvia siempre y cuando hubiese escurrido agua en los recipientes colectores, por medio de una regla graduada y la utilización de tablas elaboradas para

calcular el volumen de acuerdo a la forma de cada recipiente, expresando los datos en m^3/ha . También se expresan estos resultados en porcentaje, para lo cual se tomó como 100% el volumen total precipitado en las parcelas de escurrimiento de acuerdo a la lámina total de precipitación pluvial, registrada por el pluviógrafo.

B. Suelo erosionado:

El suelo erosionado se cuantificó tomando en cuenta los sedimentos depositados en el fondo de los recipientes colectores y sólidos en suspensión.

Al igual que el escurrimiento superficial, se cuantificaron al final de cada evento que produjo erosión, a partir del 16 de julio hasta el final de la época lluviosa de 1990.

i. Sólidos en suspensión:

Para cuantificar éstos se tomó una muestra de un litro de agua de esorrentía para cada parcela, después de cada evento que arrastró sedimentos. Se filtró cada muestra y el papel filtro con los sólidos se colocó en un horno de convección a $60^{\circ} C$ por 12 horas, luego se determinó el peso de los sólidos en suspensión en cada muestra de agua.

ii. Sedimentos:

Se obtuvo el peso húmedo de todos los sedimentos depositados en el fondo de los recipientes colectores y a cada muestra se le efectuaron los siguientes análisis:

- Porcentaje de humedad, método gravimétrico (10)
- Densidad, método de la probeta (11)
- Granulometría, método del hidrómetro de Bouyoucus (10)
- Fragmentos mayores de 2 mm, método gravimétrico (11)

- Elementos extraíbles, método Carolina del Norte (11).

Estos análisis se hicieron para determinar las principales características físicas y químicas del suelo erosionado para las condiciones de estudio.

Complementarios a éstos se hicieron muestreos de suelos de cada parcela para determinar los elementos extraíbles al inicio y al final del experimento.

C. Rendimiento del cultivo:

La cantidad de grano obtenida de cada parcela neta se pesó con un porcentaje de humedad de 14%. La parcela neta fue de 10.5 m², para lo cual se eliminó un surco a ambos lados de la parcela y un metro lineal en cada extremo de la misma.

6.1.6. Medición de la precipitación pluvial:

La precipitación se midió en un pluviógrafo de sifón con banda semanal de 10 mm. Por medio de ésta se obtuvo el tiempo total de lluvia, lluvia total (mm) y la intensidad en cada uno de los eventos. Este pluviógrafo está situado a 15 m del bloque superior. Para la definición de eventos de lluvia se siguió el mismo criterio de Wischmeir y Mannering que consideran a un evento independiente como toda lluvia separada de otra por un período de 6 horas sin precipitaciones mayores a 1 mm.

La precipitación se registró desde el mes de junio al mes de diciembre de 1990.

6.1.7. Análisis de la información:

Para el escurrimiento superficial, cantidad de suelo erosionado y rendimiento del cultivo, se relizaron análisis de varianza (ANDEVA) y luego pruebas de medias con el comparador Tukey. También se realizó un

análisis de correlación simple ordenado en una matriz de correlaciones para las variables escurrimiento superficial en m³/ha, suelo erosionado en ton/ha, fracción mayor de 2 mm en los sedimentos en %, arcilla en %, limo en %, arena en %, densidad aparente en gr/cc, materia orgánica en %, P en ppm, K en ppm, intensidad media de la precipitación y precipitación total. Así mismo se efectuó un análisis de rentabilidad a los cuatro tratamientos evaluados.

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1. Precipitación pluvial:

7.1.1. Precipitación total mensual:

En el cuadro 2 se hace una comparación entre la precipitación mensual del período durante el cual se realizó la investigación, y los valores registrados en el año de 1988 durante el cual se realizó la primera investigación de las prácticas con cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Además aparecen los valores promedio de los últimos 10 años de registro en la Estación Florencia, Santa Lucía Milpas Altas. Se puede observar que durante el período de estudio llovió en el área un total de 445.4 mm. Por esto se puede decir que fue un año menos lluvioso que 1988, ya que en éste la cantidad llovida fue un 93.76% mayor. Sin embargo la precipitación de 1990 se concentró en el mes de septiembre donde se registraron las mayores intensidades, lo que provocó mayor escorrentía y arrastre de partículas de suelo, a pesar de que la cobertura del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) ya era considerable. Al comparar los datos de 1990 con el promedio para 10 años de registro, se nota que en 1990 la precipitación fue muy baja, lo cual indica que fue un año muy seco. Gráficamente se puede observar la anterior comparación en la figura 4.

7.1.2. Intensidad:

La intensidad de las lluvias varió desde 0.12 mm/hora a 31.2 mm/hora, y para hacer estas determinaciones se consideró únicamente la intensidad media.

Dentro de las precipitaciones registradas, la mayor ocurrió el 15 de septiembre y fue de 29.2 mm con una intensidad de 2.43 mm/hora.

Cuadro 2. Precipitación mensual registrada durante los años 1988, 1990 y el promedio de 10 años de registro, en los meses en que se realizaron las investigaciones en San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala.

Mes	1988 *	1990 **	Dif. 10 años ***	registro
	(mm)	(mm)	(mm)	
Junio	20.3	48.3	-28.0	230.1
Julio	131.9	113.8	18.1	188.2
Agosto	340.6	50.8	289.8	170.4
Septiembre	192.7	203.3	-10.6	212.9
Octubre	197.1	29.2	167.9	103.2
Noviembre	2.6	22.2	-19.6	30.8
Diciembre	0	0	0	7.0
Total	885.2	445.4	417.6	942.6

* Fuente: López (10)

** Valores registrados en el experimento en 1990.

*** Valores calculados a partir de la información proporcionada por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Estación Florencia, Santa Lucía Milpas Altas.

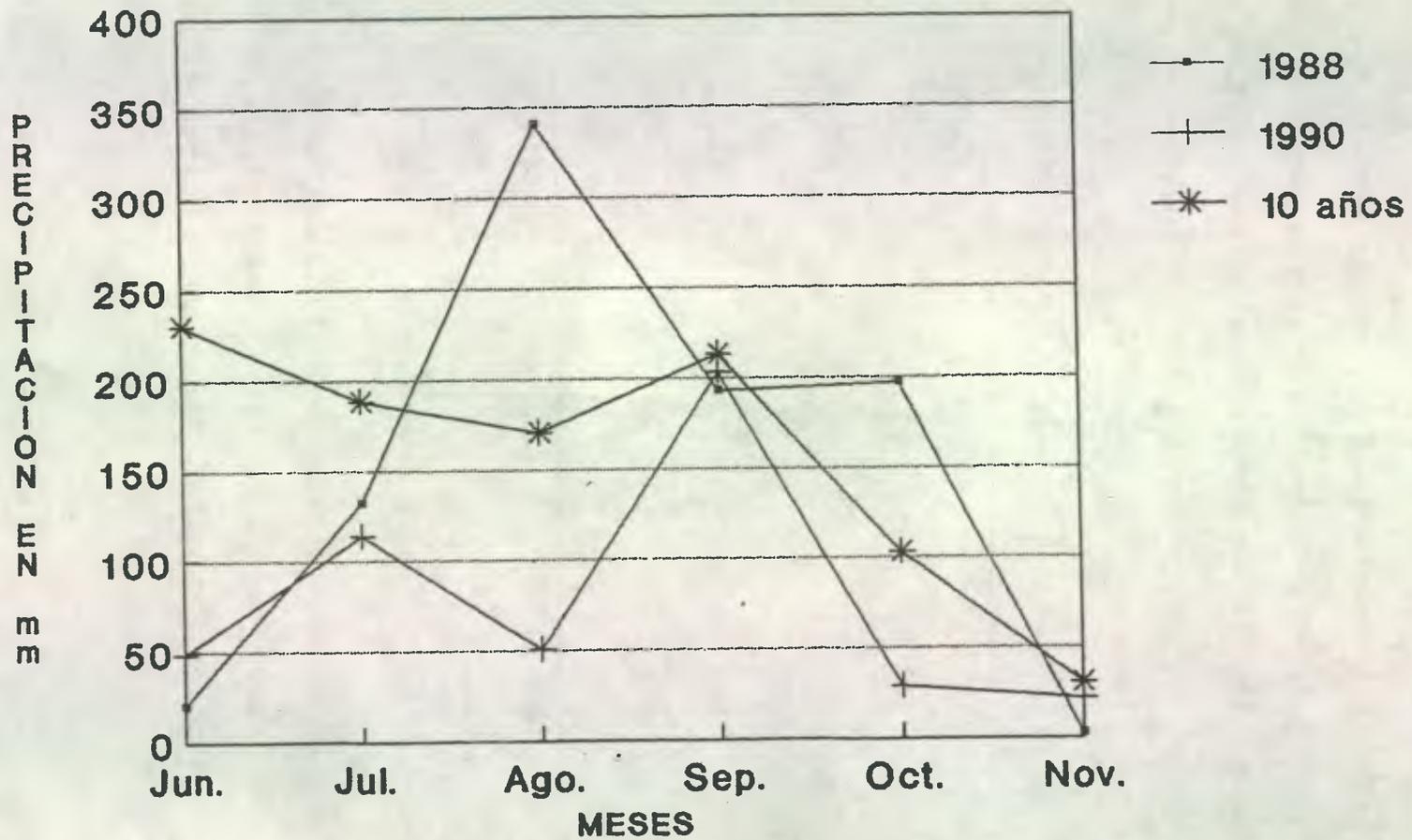


FIGURA 4. PRECIPITACION MENSUAL (mm) DE 1988, 1990 Y PROMEDIO DE 10 AÑOS, EN SAN MATEO MILPAS ALTAS.

7.1.3. Frecuencia de las precipitaciones:

Los valores de las precipitaciones durante el período de estudio y la frecuencia de los eventos de lluvia aparecen en el cuadro 3. Se ha hecho una distribución en 5 clases a intervalos de 5 mm. El total de eventos fue de 69, de los cuales 39 son menores de 5 mm y no provocaron escurrimiento superficial.

Cuadro 3. Precipitación y frecuencia para cinco clases de lluvias ocurridas en San Mateo Milpas Altas, del 10 de junio al 31 de diciembre de 1990.

Intensidad	Frecuencia	%	Lámina(mm)	%
0-5	39	56.52	244.5	54.89
5-10	14	20.29	120.2	26.99
10-15	7	10.14	35.3	7.92
15-20	4	5.80	16.9	3.79
>20	5	7.24	28.5	6.40
Total	69	100.00	445.4	100.00

Los 7 eventos mayores o iguales a 20 mm y con intensidad media mayor de 16 mm/hora provocaron arrastre de sedimentos, como se observa en el cuadro 4.

Cuadro 4. Eventos de lluvia que provocaron arrastre de suelo en San Mateo Milpas Altas, del 10 de junio al 31 de diciembre de 1990.

Volumen de suelo (ton/ha)	precipitación (mm)
0.071	17.00
0.116	26.00
0.080	40.00
0.020	19.50
0.050	20.00
0.042	21.50
0.019	18.90

7.2. Escurrimiento superficial:

La representación gráfica del volumen total de escurrimiento superficial se puede ver en la figura 5. Al realizar el análisis estadístico del cuadro de datos de escurrimiento (13a del apéndice), se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, como se puede ver en el cuadro 5., por lo que se procedió a realizar prueba de medias con el comparador Tukey cuyos resultados aparecen en el cuadro 6.

Cuadro 5. Análisis de varianza para el escurrimiento superficial registrado en San Mateo Milpas Altas, 1990.

F.V.	G.L.	suma cuad.	cuadrado medio	F.C.
bloque	4	8.47		
tratam.	3	315.31	105.10	58.78 *
error	12	21.45	1.79	
total	19	345.24		

* significativo al 0.05 de nivel de significancia
c.v. = 14.89%

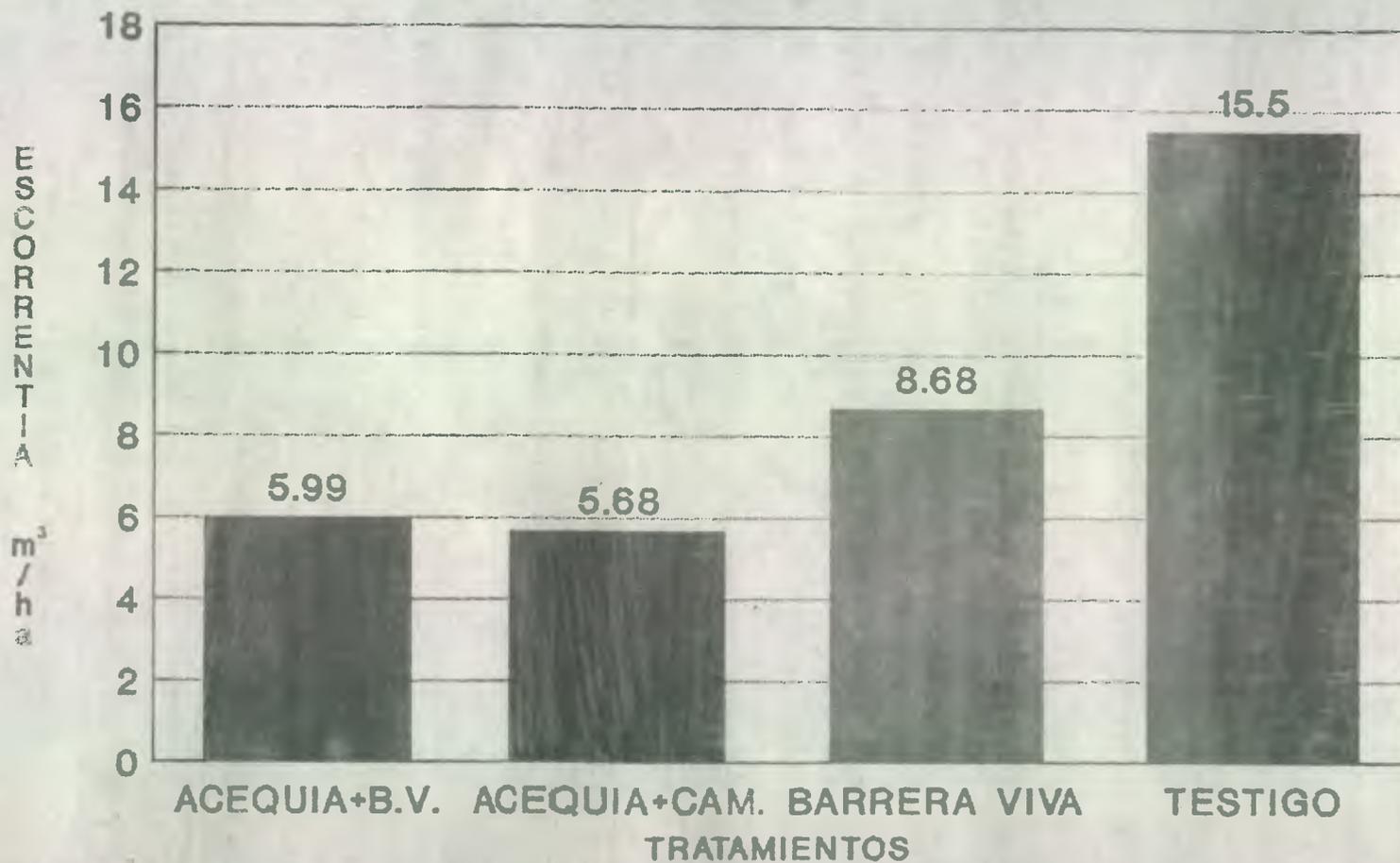


FIGURA 5. ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL REGISTRADO EN LAS PARCELAS DE ESCORRENTIA, 1990.

Cuadro 6. Prueba de tukey para el volumen de escurrimiento superficial.

tratamiento	escurrimiento (m ³ /ha)	Tukey al 0.05 de nivel de significancia
testigo	15.55	a
barrera viva	8.68	b
camellón + acequia	5.68	c
acequia + barrera v.	5.99	c

tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales.

Se establece entonces que el escurrimiento ocurrido en el testigo fue el más alto. En grado intermedio se encuentra la barrera viva. Los tratamientos camellón en contorno con acequia y acequia con barrera viva son iguales entre sí estadísticamente y presentaron los menores valores en cuanto a escurrimiento superficial. Se puede explicar lo anterior, debido a que en los últimos dos tratamientos, el efecto de la acequia influyó para que se infiltrara gran parte del volumen de agua que escurría de las parcelas.

Comparando los tratamientos correspondientes a las prácticas de conservación de suelos con el testigo (manejo tradicional de los suelos del área), todos presentaron un grado de control del escurrimiento en diferentes porcentajes.

7.3. Suelo erosionado y características del mismo:

7.3.1. Cantidad de suelo erosionado:

En el cuadro 15a del apéndice se puede observar la cantidad total por tratamiento de suelo erosionado por efecto de los 7 eventos de lluvia que causaron arrastre de partículas.

Los valores de esta variable se han presentado gráficamente en la figura 6.

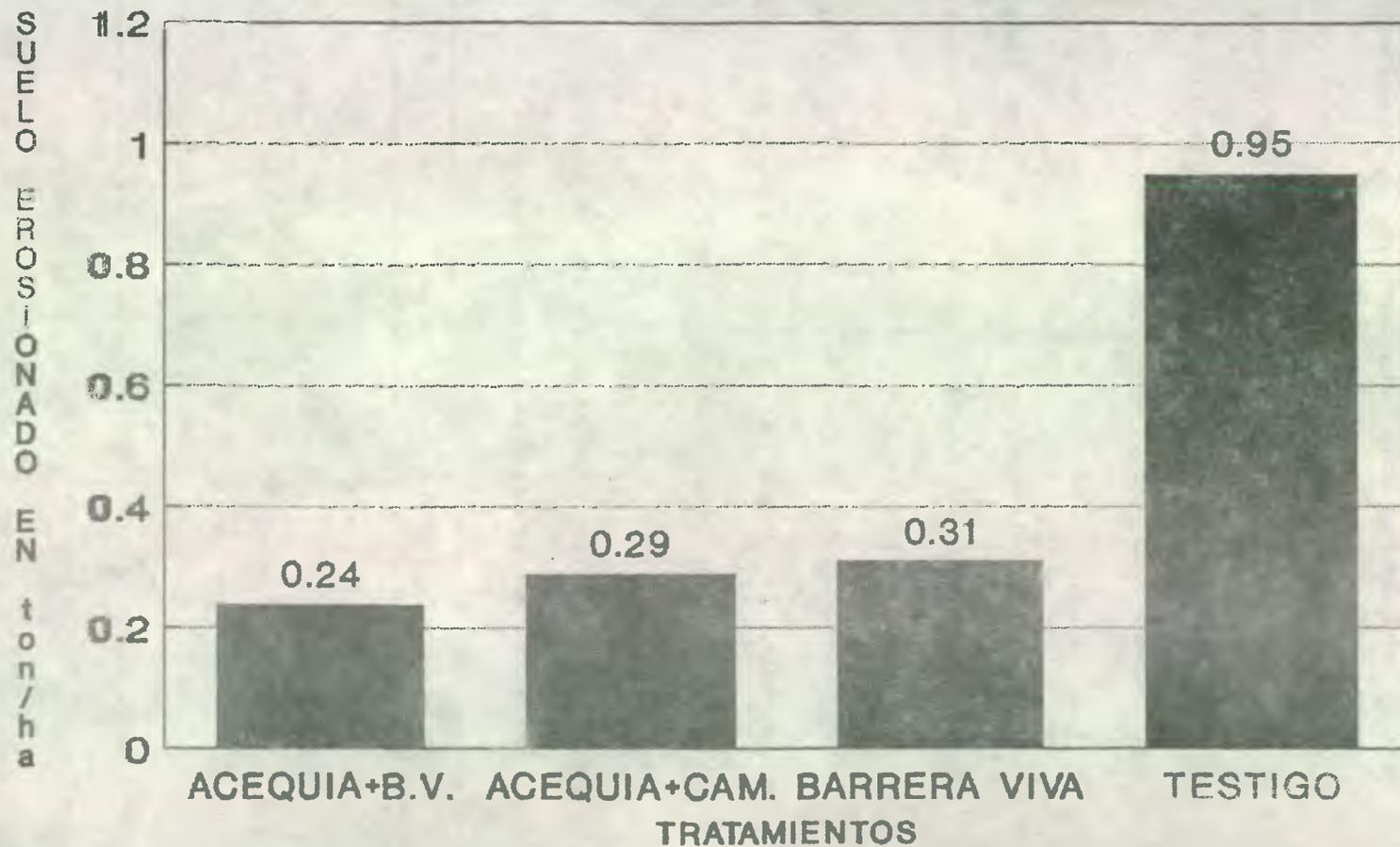


FIGURA 6. SUELO EROSIONADO EN LAS PARCELAS DE ESCURRIMIENTO EN 1990 SEGUN TRATAMIENTOS.

En cuanto a porcentajes, el suelo erosionado en la barrera viva representa un 33% del total del testigo; el tratamiento camellón con acequia le sigue, y representa un 26.31% del testigo. Acequia con barrerera viva sólo mostró un 25.26% del total del testigo.

Comparando los datos de erosión ocurrida en el presente estudio con los registrados por López (10) en 1988, son menores. Se puede explicar esto debido a que el año 1988 fue más lluvioso que 1990 y además los eventos de lluvia con intensidad mayor a 20 mm/hora fueron mayores, ya que en 1988 se registraron 10 eventos de este tipo y en 1990 solamente 7, lo que provocó la mayor erosión.

El análisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado en 1990 se presenta en el cuadro 7. Para la realización del mismo se tomaron los valores del cuadro 15a del apéndice.

Cuadro 7. Analisis de varianza para la cantidad de suelo erosionado (ton/ha) registrados en 1990.

F.V.	G.L.	suma cuad.	cuad. med.	F.C.
Bloque	4	0.03		
Tratam.	3	1.70	0.57	14.75*
Error	12	0.07	0.01	
Total	19	1.80		

* significativo al 0.05 de nivel de significancia

c.v.= 17.42%

En el cuadro de análisis de varianza anterior se puede ver que existen diferencias estadísticamente significativas con un grado de confianza

de 0.95, por lo que a las medias de los tratamientos se les efectuó una prueba con el comparador Tukey, cuyos resultados aparecen en el cuadro 8.

Cuadro 8. Prueba de tukey para la cantidad de suelo erosionado en los tratamientos en 1990.

tratamientos	suelo erosionado ton/ha	Tukey a 0.05 de nivel de significancia
testigo	0.95	a
barrera viva	0.31	b
camellón con acequia	0.28	b
acequia con barrera viva	0.24	b

tratamientos con igual letra son estadísticamente iguales.

En el cuadro anterior se puede ver que el testigo, que corresponde al manejo tradicional de los suelos del área, fue estadísticamente diferente a los 3 tratamientos de prácticas de conservación de suelos, superándolas en el valor de suelo erosionado.

La barrera viva, camellón con acequia y acequia con barrera viva son estadísticamente iguales entre sí y presentan los menores valores bajo las condiciones en que se realizó el experimento.

Se puede decir entonces que estas prácticas de conservación de suelos tienen la capacidad de reducir el suelo erosionado, tanto por el efecto de intersección de la barrera viva como por la deposición de partículas mayores que ocurre en la acequia.

7.3.2. Características granulométricas de los sedimentos:

A. Fracción menor de 2 mm:

Como se puede observar en la figura 7, la arena, limo y arcilla que forman parte de la fracción menor de 2 mm del suelo, se perdieron en grado descendente respectivamente para los tratamientos camellón con acequia, barrera viva y testigo, sólomente en el tratamiento acequia con barrera viva el orden en que se perdieron fue arena, arcilla y limo.

B. Fracción mayor de 2 mm:

En el testigo fue donde se dieron las mayores pérdidas de este tipo de partículas, con un 28.19%.

Las menores pérdidas se registraron en los tratamientos acequia con barrera viva y barrera viva.

Estos resultados se pueden explicar porque en el testigo no existía ninguna estructura que interrumpiera el paso a este tipo de partículas, mientras que en los tratamientos con barrera viva se evitó el desplazamiento de las mismas a los recipientes colectores. Relacionando los datos de porcentaje al valor total de los sedimentos, la arena presentó los mayores valores transportados por el agua de escorrentía, superando al 50% en todos los tratamientos; los menores correspondieron a la arcilla para 3 de los tratamientos, por debajo a 17%.

La explicación que se puede dar al hecho de que la arena haya sido la que más se erosionó, es que la pérdida de partículas está en función de la cantidad presente en el suelo, y siendo el suelo del área en la cual se realizó el estudio, de textura arenosa aumenta la probabilidad de erosión de esta partícula. Además la pendiente de

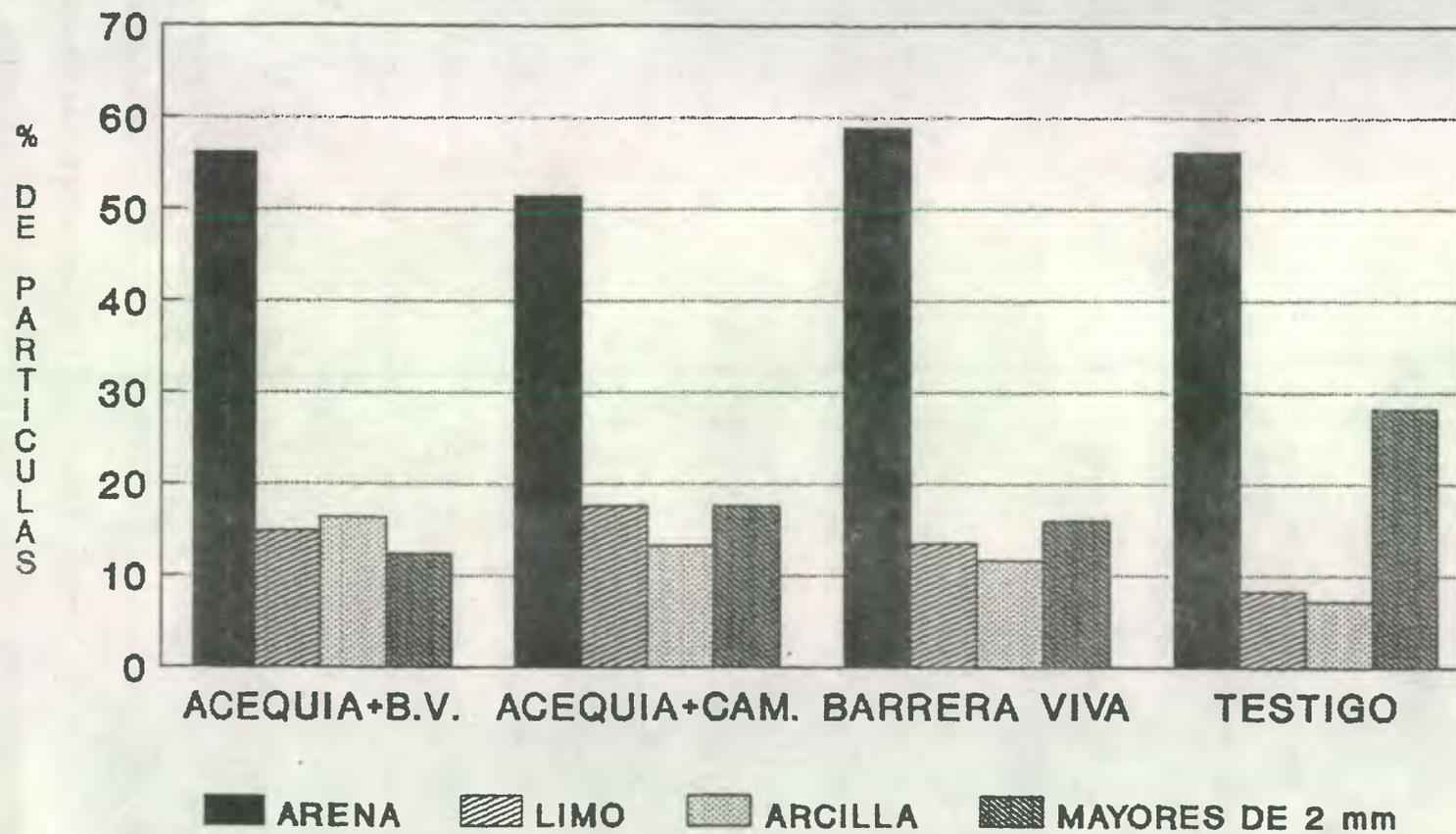


FIGURA 7. DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE PARTICULAS EN LOS SEDIMENTOS, SEGUN TRATAMIENTOS EVALUADOS EN 1990.

32% del terreno y las altas intensidades de la lluvia determinaron esta mayor pérdida.

7.4. Correlación:

Se puede resumir que el escurrimiento guarda una relación directa con la cantidad de suelo erosionado y la pérdida de partículas mayores a 2 mm, mientras que con la materia orgánica guarda una relación inversa, lo cual indica que a un mayor escurrimiento existió menor pérdida de materia orgánica, dado que esta se eliminó en las precipitaciones iniciales de la época lluviosa.

La concentración de fósforo y potasio en los sedimentos es menor que la concentración en el suelo donde se realizó el experimento. La comparación que se ha hecho de estas dos concentraciones se ilustra en la figura 8 para el fósforo y en la figura 9 para el potasio. Se puede ver que la mayor concentración en el suelo se repite en todos los tratamientos evaluados.

También se puede observar que a una mayor pérdida de suelo, las partículas mayores de 2 mm se perdieron en mayor cantidad. La pérdida de potasio será mayor cuando se pierda más cantidad de arcilla. Cuando la cantidad de arena que se perdió aumentó, el limo lo hace en menor cantidad, al igual que la materia orgánica, lo que indica que el limo y la arena están relacionados inversamente en las partículas que se erosionan. Cuando la intensidad de las lluvias se incrementó, también lo hicieron el volumen de escorrentía y la cantidad de suelo erosionado, debido a que el suelo ya no fue capaz de absorber el agua llovida que se escurrió a los recipientes colectores en un mayor volumen, aumentando la fuerza de desprendimiento de partículas, lo que ocasionó una mayor pérdida de suelo.

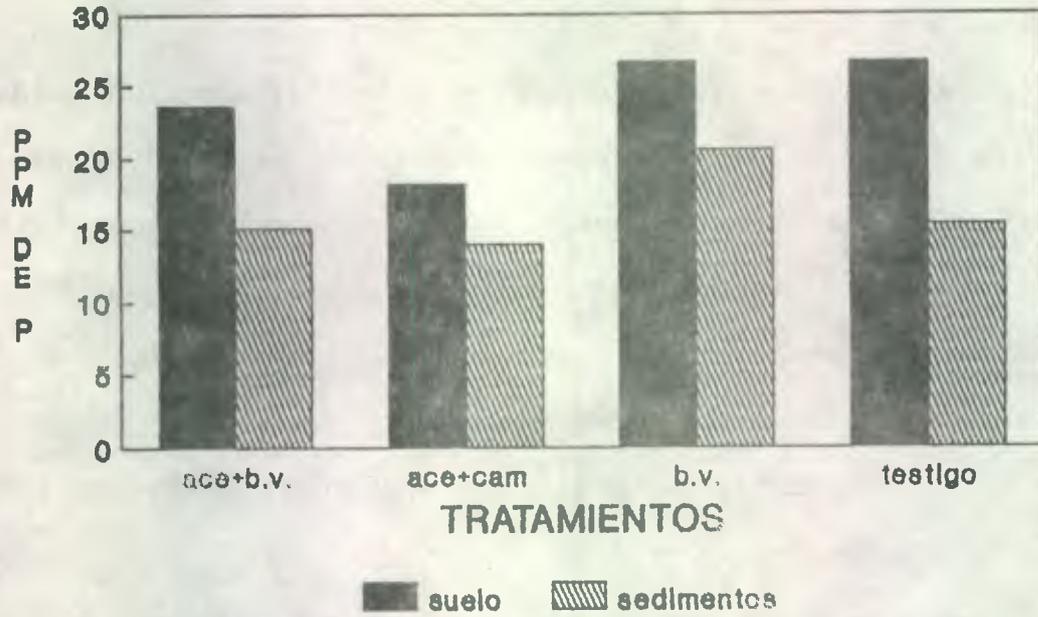


FIGURA 8. CONCENTRACION DE FOSFORO EN EL SUELO Y EN LOS SEDIMENTOS, SEGUN TRATAMIENTOS EVALUADOS EN 1980.

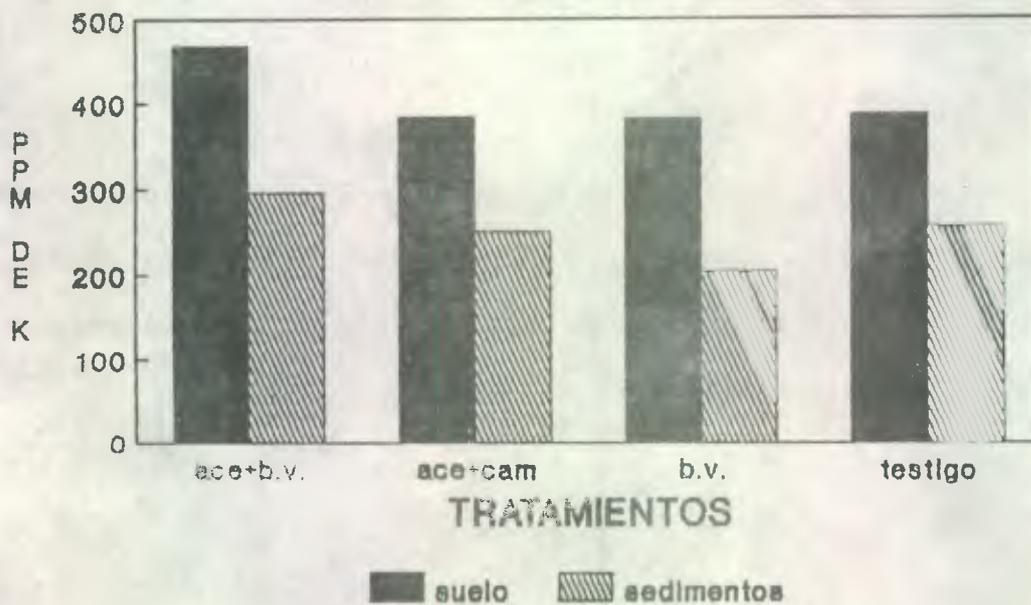


FIGURA 9. CONCENTRACION DE POTASIO EN EL SUELO Y EN LOS SEDIMENTOS SEGUN TRATAMIENTOS EVALUADOS EN 1980.

7.5. Rendimiento del cultivo:

Para el análisis del rendimiento de grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) se tomaron los datos de las 19 unidades experimentales del cuadro 16a del apéndice. El dato faltante se debió a que conejos de monte (*Lepus cuninicus*) se comieron las plantas de una parcela. El análisis de varianza realizado para esta variable aparece en el cuadro 9.

Cuadro 9. Análisis de varianza para el rendimiento de frijol en grano (kg/ha), de los tratamientos.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.
bloque	4	960298.68		
tratam.	3	664848.55	221616.18	4.56 *
error	11	534084.86	48553.17	
total	18	2159232.10		

* significativo al 0.05 de nivel de significancia

c.v.= 15.75%

Según el anterior análisis, existen diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos al 0.05 de nivel de significancia, por lo que se procedió a realizar prueba de medias, utilizando el comparador tukey y los resultados aparecen en el cuadro 10.

Cuadro 10. Prueba de tukey para el rendimiento de grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en kg/ha de los tratamientos.

tratamiento	rendimiento kg/ha	Tukey al 0.05 de nivel significancia
camellón con acequia	1606.08	a
acequia con barrera viva	1540.66	a
barrera viva	1436.20	a b
testigo	1106.69	b

tratamientos con igual letra son estadísticaamente iguales.

La prueba de medias demuestra que los tratamientos correspondientes a las prácticas de conservación de suelos evaluadas son estadísticamente iguales entre sí, y presentaron los mayores valores, mientras que el testigo mostró media más baja de 1106. kg/ha, y estadísticamente es diferente a los otros, aunque en determinado momento y en las mejores condiciones su rendimiento podría ser igual al de la barrera viva. La diferencia se puede explicar debido a que el presente estudio corresponde a la cuarta etapa de investigación, equivalente al cuarto año desde que se implementó el experimento de prácticas de conservación de suelos. En los tratamientos de más alto rendimiento ya se manifiesta el efecto de la menor pérdida de suelo, y por ende de nutrientes necesarios para el buen desarrollo de los cultivos, además, es lógico suponer que la retención de humedad ha sido mayor en los mismos, debido a efecto de las prácticas de conservación de suelos que han permitido que mayores volúmenes de agua de lluvia permanezcan en el terreno cultivado, ayudando a incrementar el rendimiento.

Gráficamente se pueden observar las diferencias en cuanto a rendimiento en la figura 10.

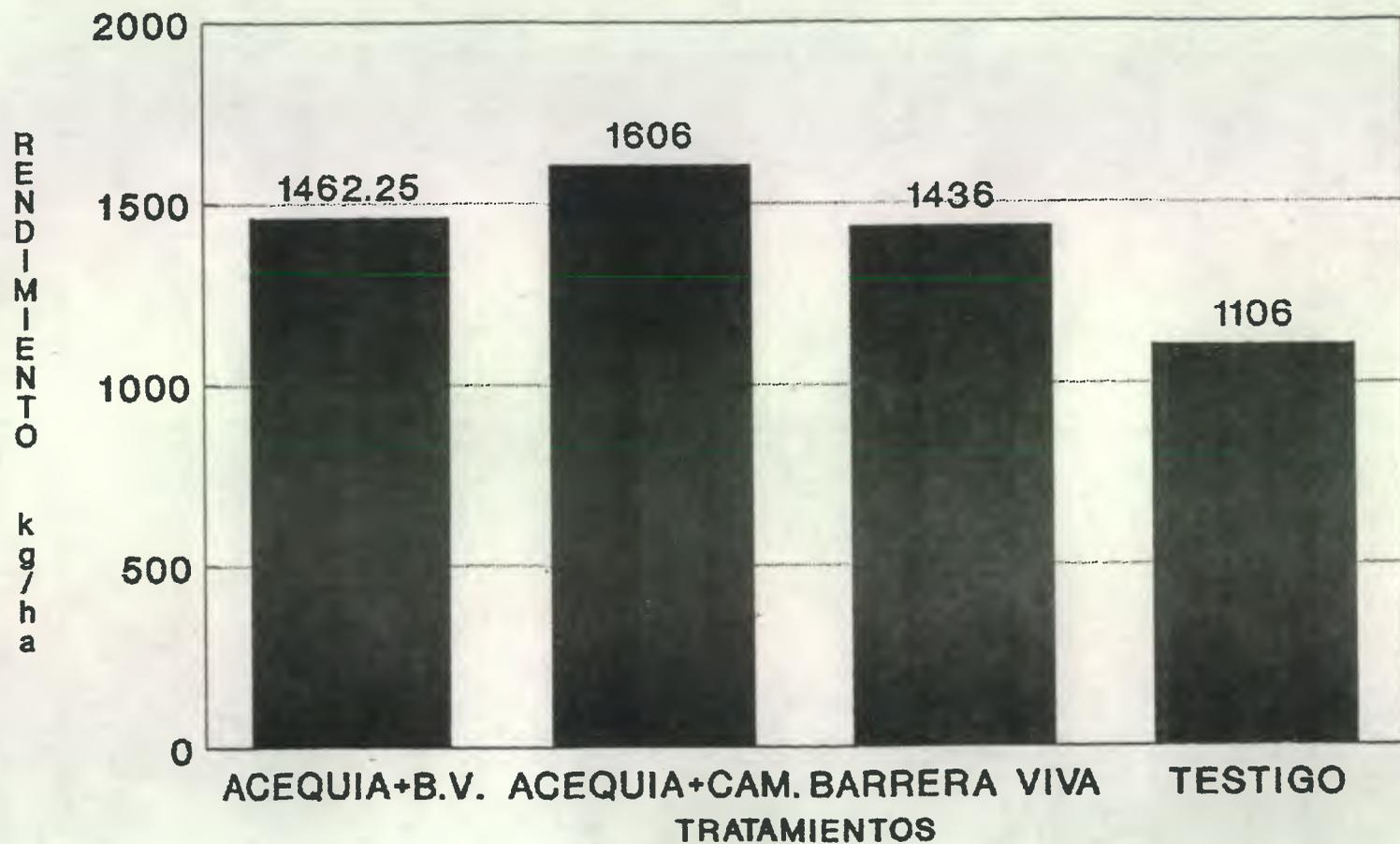


FIGURA 10. RENDIMIENTO DE GRANO DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) EN LAS PRACTICAS EVALUADAS, 1990.

7.6. Costos de establecimiento y mantenimiento de las prácticas evaluadas:

Debido a los costos que representa la implementación de cualquier práctica de conservación de suelos, es necesario realizar un análisis económico para determinar la inversión en cada una, así como su rentabilidad, de acuerdo a los ingresos por concepto de grano de frijol y forraje, en algunas.

Primeramente presentamos en el cuadro 11 los constos de producción para una ha. de frijol efectuada por medio de manejo tradicional del agricultor de la aldea San Mateo Milpas Altas. Aquí se observa que la mayor cantidad de costo está dada por la mano de obra, que en esta región la representa el propio agricultor con su familia.

Para realizar el análisis, a la mano de obra se le asignó la cantidad de Q10.00 por jornal que era el costo en la aldea al momento del estudio.

Cuadro 11. Costos de producción para una ha de frijol en San Mateo Milpas Altas, 1990.

Concepto	Unidad medida	No. unid.	Val. unit. Q	Subtot. Q	Total Q
I. Costos variables					
1. insumos					
fertil.	qq	9.00	60.00	540.00	
semilla	qq	0.90	180.00	167.00	707.00
2. mano de obra					
prepar. tierra	ha	1.00	450.00	450.00	
siembra	jornal	9.00	10.00	90.00	
limpia	jornal	18.00	10.00	180.00	
fertil.	jornal	9.00	10.00	90.00	
cosecha	jornal	18.00	10.00	180.00	
subtotal					990.00
II. Costos fijos					
administración					
5%				84.85	
interés 10% (6 meses)				84.85	
imprevistos 10%				169.70	
arrendamiento				750.00	
subtotal					1089.40
total					2786.4
III. Análisis económico					
rendimiento/ha	22 qq				
precio			Q200.00		
ingreso bruto			Q4400.00		
C.P./ha			Q2786.40		
ingreso neto			Q1613.60		
rentabilidad			57.91%		

7.7. Análisis de rentabilidad de los tratamientos evaluados:

Para el análisis de la rentabilidad se tomó como fuente de ingresos a la producción de grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), que para el momento del estudio, según entrevistas realizadas en la población del área, tenía un precio de Q4.40/kg. En los tratamientos acequia con barrera viva y barrera viva, se tomó, además el ingreso por concepto de forraje de zacatón (*Panicum maximum*) utilizado en la barrera viva, que los agricultores del área emplean para alimentación de ganado, y según entrevistas hechas a los mismos, durante la época de realización del experimento, se valoraba en Q0.07/kg de materia seca.

El rendimiento de zacatón (*Panicum maximum*) fue de 497.96 kg de materia seca/ha en la acequia con barrera viva, y 546.94 kg/ha en la barrera viva (cuadro 22a del apéndice).

Los costos en quetzales/ha, así como la rentabilidad para los cuatro tratamientos evaluados aparecen en el cuadro 12.

Cuadro 12. Costos en quetzales/ha y rentabilidad de las tres prácticas de conservación de suelos evaluadas y el testigo, en San Mateo Milpas Altas, 1990.

Concepto	Aceq+B.V.	Acequia+ Camellón	B.V.	Testigo
I. Costos				
costo prod. 1 ha	2786.40	2786.40	2786.40	2786.40
costo oportunidad *				
establecimiento	263.00	200.00	83.00	-
mantenimiento	100.00	60.00	40.00	-
costo total	3149.40	3046.40	2909.40	2786.40
II. Rendimiento kg/ha				
frijol	1501.42	1501.42	1501.42	1106.00
forraje (mat.sec.)	497.96	0.00	546.94	0.00
III. Ingreso bruto				
frijol	6606.91	6606.91	6606.91	4866.89
forraje	34.86	0.00	38.28	0.00
total	6641.77	6606.91	6645.19	4866.89
IV. Ingreso neto	3492.37	3560.51	3735.79	2080.49
V. Rentabilidad	110.89	116.88	128.40	74.66

* Pago social que otorga el proyecto de conservación de suelos en la región IV de DIGESA.

Del cuadro anterior se establece que cuando se realiza cualquiera de las 3 prácticas de conservación evaluadas, el costo de producción para una ha de frijol (Phaseolus vulgaris L.), es mayor comparativamente al testigo, como se observa en la figura 9. Esto es debido al costo de oportunidad, equivalente al pago social que otorga DIGESA, por el establecimiento y mantenimiento de las prácticas, a los agricultores como una forma de estimularlos a la realización de las mismas. Según Bishop, citado por López (10), el costo de oportunidad sería lo que el agricultor deja de percibir si no hace la estructura de conservación.

En cuanto a rentabilidad, se nota que el testigo es el que muestra el menor valor (figura 10), debido a que su ingreso neto es también el más bajo, comparativamente a las tres prácticas de conservación evaluadas. Se espera que a mediano plazo, la rentabilidad de las prácticas evaluadas aumente aún más, en relación al testigo y a los años anteriores de evaluación, dado que las condiciones del suelo se verán favorecidas por la reducción de la erosión, lo cual influirá en una mayor retención de humedad y nutrientes, necesarios para una buena producción.



FIGURA 11. COSTO DE PRODUCCION PARA UNA ha DE FRIJOL CON LAS PRACTICAS EVALUADAS EN SAN MATEO MILPAS ALTAS, 1990.

INSTITUTO DE LA INVESTIGACION Y LAS CIENCIAS
BIBLIOTECA CENTRAL

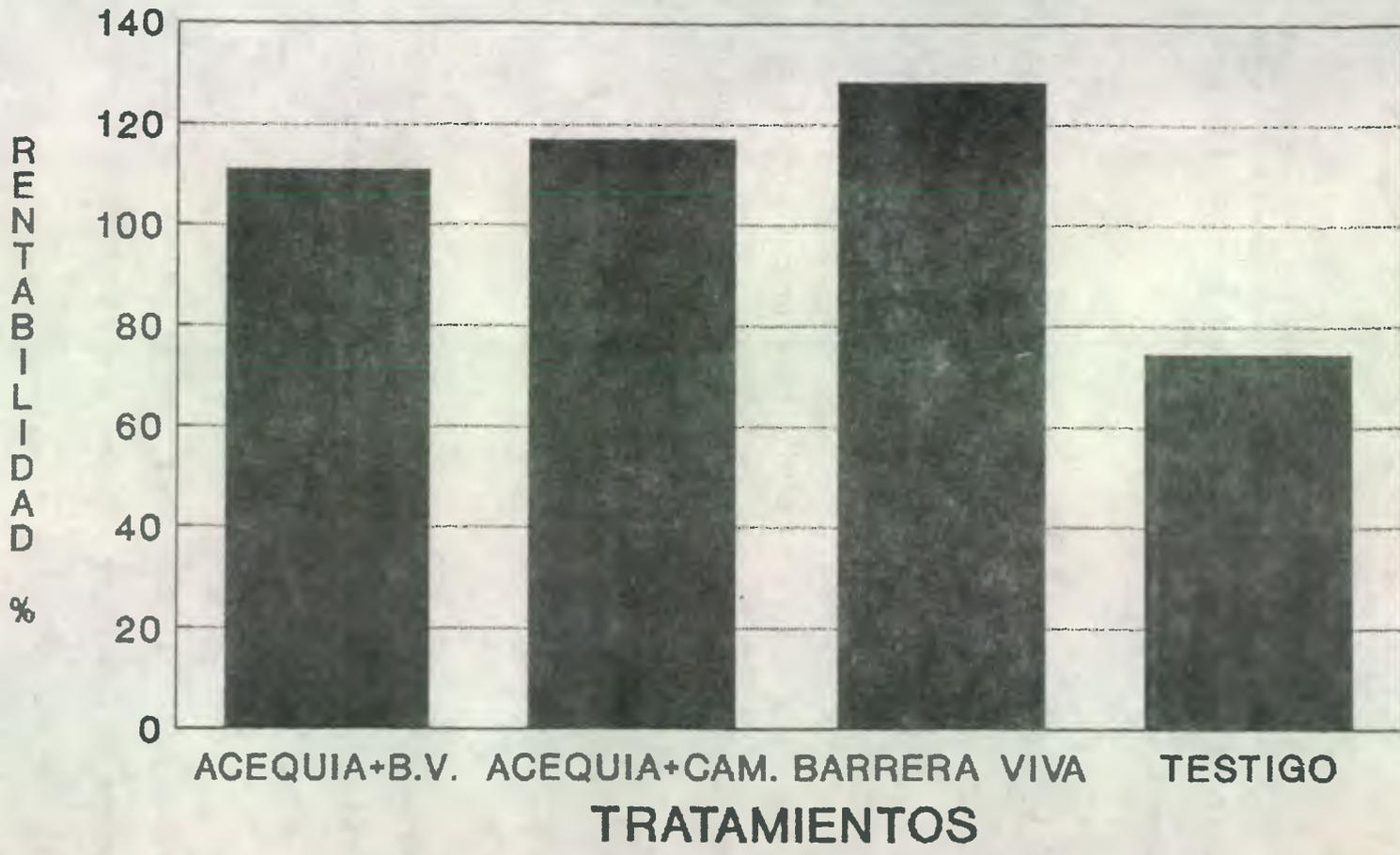


FIGURA 12. RENTABILIDAD DE LAS PRACTICAS EVALUADAS EN SAN MATEO MILPAS ALTAS, EN 1990.

8. CONCLUSIONES

- 8.1. En cuanto al escurrimiento superficial, los tratamientos camellón en contorno más acequia y acequia más barrera viva son los más efectivas para reducirlo.
- 8.2. Las tres prácticas de conservación de suelos evaluadas presentaron estadísticamente valores similares de suelo perdido, por lo que se consideran efectivas para controlar la erosión hídrica.
- 8.3. En relación a las características granulométricas, la partícula que más se erosionó fue la arena, debido a que el suelo del área donde se realizó el experimento posee textura arenosa, mientras que las partículas mayores de 2 mm se perdieron en mayor cantidad en la práctica de manejo tradicional de los suelos del área.
- 8.4. En las tres prácticas evaluadas se incrementó el rendimiento de grano de frijol en relación a la práctica de manejo tradicional de los suelos del área.
- 8.5. La mayor rentabilidad se presenta cuando se usa barrera viva, y la menor rentabilidad se obtiene con la práctica tradicional de manejo de los suelos del área.



9. RECOMENDACIONES

- 9.1. En los tratamientos con barrera viva se recomienda realizar estudios para determinar la eficiencia de otras especies con algún uso comercial que represente otra fuente de ingresos para el agricultor, como por ejemplo romero (*Rosmarinus officinalis*) y mirto (*Myrtus communis*).
- 9.2. Se recomienda realizar el estudio en otros cultivos, como por ejemplo hortalizas destinadas a la exportación, entre ellas: arveja china (*Pisum sativum* L.), brócoli (*Brassica oleraceae*), debido a la importancia que han tomado en los últimos años como fuente de ingreso para el agricultor del área
- 9.3. Se recomienda que estudios similares se realicen en otras áreas de la cuenca del río Pensativo para tener mayor representatividad al momento de elaborar un plan de manejo de la misma.
- 9.4. Se recomienda que para áreas con condiciones similares a las del sitio donde se realizó el experimento, se utilicen las prácticas acequia con barrera viva y camellón en contorno con acequia, ya que son las que controlan en mejor forma la erosión hídrica.

10. BIBLIOGRAFIA

1. APOLO B., 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. Turrialba, Costa Rica, Universidad de Costa Rica. 68 p.
2. CABRERA G., C. 1985. Informe general de servicios prestados a la comunidad de San Mateo Milpas Altas, Antigua Guatemala, Sacatepéquez. Informe general de servicios EPSA. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 27 p.
3. _____. 1986. Caracterización de los recursos naturales renovables de la subcuenca del río Pensativo. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. 212 p.
4. CRUZ, J.R. DE LA. 1976. Clasificación de zonas de vida en Guatemala, basada en el sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24 p.
5. FOSTER, A.B. 1967. Métodos aprobados en conservación de suelos. México, Trillas. 411 p.
6. FOTH, H.D. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. Trad. por Antonio Marino Ambrocio. México, CECSA. 433 p.
7. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. 1988. Atlas climatológico de la república de Guatemala. Guatemala. 20 p.
8. KIRKBY, M., MORGAN, R. 1984. Erosión de suelos. Trad. por José Hurtado Vega. México, Limusa. 375 p.
9. LOPEZ, H., J. 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, Facultad de Agronomía. 27 p.
10. _____. 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, Facultad de Agronomía. 56 p.
11. REVOLORIO, 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, Facultad de Agronomía. 80 p.
12. SIMMONS, C.; TARANO, J.; PINTO, J. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.

13. SUAREZ DE C, F. 1979. Manual de conservación de suelos agrícolas. México, Diana. 163 p.
14. TORRES, E. 1981. Manual de conservación de suelos agrícolas. México, Diana. 163 p.

Ug. Bo.
R. H. H. H.



11. APENDICE

Cuadro 13a. Esgurrimento superficial (m³/ha) según tratamientos y repeticiones. San Mateo Milpas Altas, 1990.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				
	I	II	III	IV	V
ACEQUIA+B.V.	5.24	6.90	7.48	4.22	6.13
CAMELLON+ACE.	4.14	5.72	6.40	7.10	5.05
BARRERA VIVA	10.16	8.45	7.99	9.34	7.47
TESTIGO	13.81	14.71	18.26	16.54	14.45

Cuadro 14a. Esgurrimento superficial (%) según tratamientos y repeticiones. San Mateo Milpas Altas, 1990.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				
	I	II	III	IV	V
ACEQUIA+B.V.	1.17	1.55	1.68	0.95	1.38
CAMELLON+ACE.	0.93	1.28	1.44	1.59	1.13
BARRERA VIVA	2.28	1.90	1.79	2.10	1.68
TESTIGO	3.10	3.30	4.10	3.71	3.24

Cuadro 15a. Suelo erosionado ton/ha según tratamientos y repeticiones. San Mateo Milpas Altas, 1990.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				
	I	II	III	IV	V
ACEQUIA+B.V.	0.25	0.30	0.18	0.22	0.24
CAMELLON+ACE.	0.30	0.28	0.32	0.25	0.27
BARRERA VIVA	0.41	0.28	0.35	0.32	0.20
TESTIGO	1.10	0.84	0.96	0.79	1.05

Cuadro 16a. Rendimiento de grano de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) (kg/ha) según tratamientos y repeticiones. San Mateo Milpas Altas, 1990.

TRATAMIENTOS	REPETICIONES				
	I	II	III	IV	V
ACEQUIA+B.V.	1311	2126	1372	1040	1853
CAMELLON+ACE.	1394	2171	1342	1664	1457
BARRERA VIVA	1151	1527	1357	1358	1786
TESTIGO	1061	1392	841	1062	1175

Cuadro 17a. Análisis de fertilidad al inicio del experimento, para tratamientos y repeticiones, en las parcelas de escorrentía, San Mateo Milpas Altas, 1990.

Tratamiento	Rep.	ppm		meg/100 ml	
		P	K	Ca	Mg
Acequia+B.V.	I	13.93	226	6.35	1.20
	II	8.21	188	6.66	1.25
	III	5.36	380	9.50	2.05
	IV	3.21	210	5.66	1.23
	V	12.86	205	7.50	1.48
Acequia+Cam.	I	13.93	2.92	7.50	1.52
	II	9.69	143	7.50	1.43
	III	6.96	166	6.54	1.20
	IV	6.96	194	6.35	1.12
	V	4.11	198	6.35	1.53
Barrera viva	I	13.93	283	8.12	1.63
	II	16.43	288	8.72	1.95
	III	0.89	269	6.90	1.46
	IV	2.14	222	6.10	1.32
	V	2.14	233	6.66	1.37
Testigo	I	10.00	188	6.90	1.54
	II	11.79	249	8.72	1.96
	III	9.69	222	7.50	1.79
	IV	5.36	194	6.35	1.45
	V	18.93	243	7.50	1.52

Cuadro 18a. Análisis de fertilidad al final del experimento, para tratamientos y repeticiones en las parcelas de escorrentía, San Mateo Milpas Altas, 1990.

Tratamiento	Rep.	ppm		mep/100 ml	
		P	K	Ca	Mg
Acequia+B.V.	I	16.75	465	12.47	2.77
	II	9.95	463	9.98	2.26
	III	13.40	493	10.60	2.21
	IV	48.00	553	9.36	1.90
	V	29.65	365	9.67	2.20
Acequia+Cam.	I	21.50	558	12.79	2.93
	II	7.20	258	10.60	2.31
	III	15.15	330	10.29	2.36
	IV	39.95	380	9.67	2.31
	V	7.20	388	9.66	2.26
Barrera viva	I	29.30	495	14.66	3.96
	II	32.00	325	8.42	2.16
	III	33.80	295	10.29	2.21
	IV	11.00	325	9.98	2.16
	V	27.60	467	9.98	2.31
Testigo	I	31.00	320	11.54	2.88
	II	22.40	363	10.60	2.57
	III	45.00	405	11.54	2.57
	IV	25.50	400	10.29	2.26
	V	8.90	440	10.29	2.30

Cuadro 19a. Características físicas de los sedimentos según tratamientos en las parcelas de escorrentía.

Tratamientos	Porcentajes				gr/cc
	arena	limo	arcilla	>2mm	d.a.
Acequia+B.V.	56.35	14.85	16.36	12.43	0.82
Acequia+Cam.	51.55	17.60	13.25	17.59	1.11
Barrera viva	58.86	13.47	11.66	16.01	1.14
Testigo	58.86	13.40	11.66	28.19	1.25

Cuadro 20a. Características químicas de los sedimentos según tratamientos en las parcelas de escorrentía, 1990.

Tratamientos	pH	%	ppm		meq/100 ml	
		M.O.	P	K	Ca	Mg
Acequia+B.V.	6.0	3.40	15.1	295	7.80	2.11
Acequia+Cam.	5.6	4.72	13.9	250	7.48	1.90
Barrera viva	5.9	2.53	20.5	203	8.42	2.05
Testigo	6.4	2.00	15.3	255	8.42	2.62

Cuadro 21a. Cantidades de elementos fertilizantes en ppm registrados en los sedimentos según tratamientos.

Tratamientos	P ₂ O ₅	K ₂ O
Acequia + B.V.	34.64	355.36
Acequia + Camellón	31.85	301.15
Barrera viva	46.37	244.53
Testigo	35.06	307.17

Cuadro 22a. Rendimiento en kg/ha de materia seca de zacatón (*Panicum maximum*) utilizado en la barrera viva en los tratamientos.

Tratamiento	Repetición				
	I	II	III	IV	V
Acequia+B.V.	408.16	571.43	306.12	653.06	551.02
Barrera viva	469.39	489.80	653.06	551.02	571.43

Cuadro 23a. Análisis de correlación entre las principales características de los sedimentos, escorrentía y precipitación pluvial, San Mateo Milpas Altas, 1990.

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12
X1												
X2	0.97											
X3	0.92	0.97										
X4	-0.6	-0.6	-0.7									
X5	-0.7	-0.5	-0.3	0.34								
X6	0.67	0.48	0.32	-0.3	-1.0							
X7	0.70	0.70	0.82	-0.9	-0.2	0.22						
X8	-0.8	-0.7	-0.5	0.45	0.98	-0.9	-0.3					
X9	0.10	-0.1	-0.2	-0.4	-0.6	0.64	0.20	-0.5				
X10	-0.2	-0.1	-0.1	0.82	0.26	-0.3	-0.6	0.26	-0.8			
X11	0.93	0.95										
X12	-0.4	-0.3										-0.6

- x1 = escurrimiento superficial m³/ha
- x2 = suelo erosionado ton/ha
- x3 = partículas mayores de 2 mm %
- x4 = arcilla %
- x5 = limo %
- x6 = arena %
- x7 = densidad aparente gr/cc
- x8 = materia orgánica %
- x9 = fósforo ppm
- x10= potasio ppm
- x11= intensidad de la precipitación mm/hora
- x12= precipitación pluvial mm.



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

Ref: 043-91

LA TESIS TITULADA: "CUARTA EVALUACION DE TRES PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS EN EL CULTIVO DE FRIJOL (Phaseolus vulgaris L.) EN LA CUENCA DEL RIO PENSATIVO, SACATEPEQUEZ, GUATEMALA."

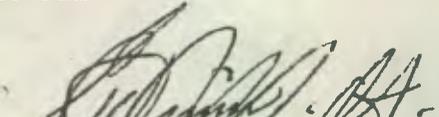
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: PEDRO ARNULFO PINEDA COTZOJAY

CARNET NO: 8511994

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Los Ingenieros Agrónomos Marco Tulio Aceituno e Isaac Herrera

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.

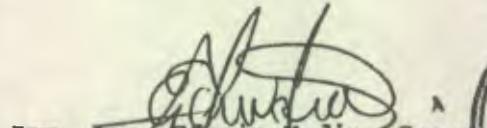

 Ing. Agr. Hugo A. Tobias
 ASESOR


 Ing. Agr. Maxdelio Herrera
 ASESOR

237

 Dr. Luis Mejía de León
 DIRECTOR DEL IIA
 DIRECCION

IMPRIMASE:


 Ing. Agr. Efraín Medina Guerra
 DECANO



/sler.